

**SELEÇÃO DE FAMÍLIAS DE IRMÃOS COMPLETOS DE CAPIM-  
ELEFANTE PARA FINS BIOENERGÉTICOS VIA ANÁLISE  
MULTIVARIADA E MODELOS MISTOS**

**JOÃO ESDRAS CALAÇA FARIAS**

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

**CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ  
FEVEREIRO – 2022**

**SELEÇÃO DE FAMÍLIAS DE IRMÃOS COMPLETOS DE CAPIM-  
ELEFANTE PARA FINS BIOENERGÉTICOS VIA ANÁLISE  
MULTIVARIADA E MODELOS MISTOS**

**JOÃO ESDRAS CALAÇA FARIAS**

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 – 2022

### FICHA CATALOGRÁFICA

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pelo autor.

F224

Farias, João Esdras Calaça.

SELEÇÃO DE FAMÍLIAS DE IRMÃOS COMPLETOS DE CAPIM-ELEFANTE PARA FINS  
BIOENERGÉTICOS VIA ANÁLISE MULTIVARIADA E MODELOS MISTOS / João Esdras Calaça  
Farias. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2022.

85 f. : il.

Bibliografia: 54 - 70.

Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Estadual  
do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2022.  
Orientador: Rogerio Figueiredo Daher.

1. *Pennisetum purpureum Schum.* 2. bioenergia. 3. melhoramento genético. 4.  
sustentabilidade. 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 VIA ANÁLISE  
MULTIVARIADA E MODELOS MISTOS

**JOÃO ESDRAS CALAÇA FARIAS**

“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”.

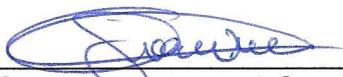
Aprovada em 21 de fevereiro de 2022

Comissão examinadora:



---

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



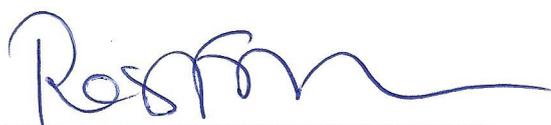
---

Prof. Geraldo de Amaral Gravina (D.Sc., Fitotecnia) - UENF



---

Dr. Flávio Dessaune Tardin (D.Sc., Produção Vegetal) - Embrapa



---

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

## **DEDICATÓRIA**

A Deus e à minha família, aos meus pais, José Arteiro e Pastora Calaça. Aos meus irmãos, Matheus e Ruth. E à minha namorada Karynne.

**Dedico**

## **AGRADECIMENTOS**

Quero agradecer primeiramente a Deus, sem ele eu não teria chegado até aqui, agradeço pela saúde e pela força que me dá a cada dia. Agradeço pela amada família que me deu e por todas as pessoas maravilhosas que colocou em meu caminho.

À minha mãe Pastora Calaça Farias, por tudo que já fez por mim, por toda a garra que sempre teve e por sempre me apoiar e me encorajar a correr atrás dos meus objetivos. Ao meu pai José Arteiro e meus irmãos Matheus e Ruth, por toda ajuda e companheirismo, contribuindo e torcendo por meu sucesso.

Agradeço à minha namorada Karynne, por sempre estar ao meu lado durante essa jornada, me apoiando, aconselhando e incentivando nos momentos mais difíceis.

Agradeço aos meus bons amigos Sydney, Rysley e Marcelo, por toda parceria, companheirismo e bons momentos de conversas e descontração.

Agradeço de forma especial ao meu orientador, Professor Dr. Rogério Figueiredo Daher, por todo apoio, incentivo e por ter confiado em mim.

Aos membros de banca examinadora, Professores Alexandre Pio Viana, Geraldo Gravina e Flávio Tardin, pela participação e pelas valiosas contribuições.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação, por toda dedicação e empenho em passar seus conhecimentos com entusiasmo e amor, principalmente nesse período desafiador de aulas remotas, pelas trocas de conhecimentos e

experiências Com certeza, vocês foram muito importantes para a minha vida acadêmica.

Aos Técnicos de Campo da PESAGRO, agradeço carinhosamente por toda a ajuda no experimento e pela amizade e atenção que sempre me deram ao longo destes dois anos, agradeço em especial a João, Dorian, Júlio Cesar, Luiz, Marcos, Fernando e Romildo.

Ao secretário do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, José Daniel Valle de Almeida, pela paciência e empenho, sempre pronto a ajudar.

À equipe de alunos do capim-elefante, Alexandre, Cleudiane, Ana Késia, Rafael, Wanessa e Maxwel, por toda ajuda na coleta de dados no campo, pela amizade e momentos de descontração. Um agradecimento especial aos queridos amigos e pós-doutorandos do grupo, Moisés Ambrósio e Grasiela Santana, por toda ajuda com o experimento e com as análises deste trabalho.

À Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro e ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, pela formação;

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (**CAPES**) Código de financiamento 001 e da Fundação Carlos Chagas de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro – FAPERJ, as quais agradeço pelas concessões de bolsas de estudo.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	x
<b>ABSTRACT</b> .....	xii
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	4
2.1 Objetivo Geral .....	4
2.2 Objetivos Específicos.....	4
<b>3 CAPÍTULOS</b> .....	5
<b>3.1 DIVERSIDADE GENÉTICA EM FAMÍLIAS DE IRMÃOS COMPLETOS DE CAPIM-ELEFANTE VIA COMPONENTES PRINCIPAIS</b> .....	5
<b>3.1.1 INTRODUÇÃO</b> .....	5
<b>3.1.2 REVISÃO</b> .....	8
3.1.2.1 Aspectos Gerais da Cultura capim-elefante .....	8
3.1.2.2 Importância econômica da cultura .....	9
3.1.2.3 Capim-elefante como fonte alternativa de energia.....	10
3.1.2.4 Análise multivariada .....	12
<b>3.1.3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	13
3.1.3.1 Material genético.....	13
3.1.3.2 Local, instalação e delineamento experimental.....	14
3.1.3.3 Características morfoagronômicas avaliadas.....	16
3.1.3.4 Análises estatísticas.....	17
<b>3.1.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	18

3.1.5	<b>CONCLUSÕES</b>	25
3.2	<b>SELEÇÃO DE FAMÍLIAS DE IRMÃOS COMPLETOS DE CAPIM-ELEFANTE VIA MODELOS MISTOS</b>	26
3.2.1	<b>INTRODUÇÃO</b>	26
3.2.2	<b>REVISÃO</b>	29
3.2.2.1	Melhoramento genético de capim elefante	29
3.2.2.2	Melhoramento genético de capim-elefante da UENF para fins bioenergéticos	31
3.2.2.3	Seleção de genótipos via modelos mistos (REML/BLUP)	32
3.2.3	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b>	35
3.2.3.1	Material genético	35
3.2.3.2	Local de instalação e delineamento experimental	36
3.2.3.3	Características morfoagrômicas avaliadas	37
3.2.3.4	Análise de Deviance e Teste da Razão da Verossimilhança (LTR) via modelos mistos	39
3.2.4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	41
3.2.4.1	Avaliação genética das 11 famílias de irmãos completos de capim-elefante via modelos mistos	41
3.2.5	<b>CONCLUSÕES</b>	53
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	54

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Temperaturas e precipitação ocorridas durante o experimento de capim-elefante. Campos dos Goytacazes, 2020-2021..... 15
- Figura 2** - Screeplot da variância representada por componentes principais para as famílias de irmãos completos de capim-elefante.....21
- Figura 3** - Contribuições (%) para variabilidade dos indivíduos de características morfoagrômicas em três componentes principais. ....21
- Figura 4** - Dispersão dos 220 indivíduos de famílias de irmãos completos em dois componentes principais PMS= Produção de matéria seca, %MS=Porcentagem de matéria seca, NP= número de perfilhos, AL= altura e DC= diâmetro de colmo. CP 1 e CP 2. ....23
- Figura 5** - Dendrograma de dissimilaridade genética obtido pelo método UPGMA utilizando a distância generalizada de Mahalanobis, (Coeficiente de correlação cofenético= 0,73). ....24
- Figura 6** - Temperaturas e precipitação ocorridas durante a vigência do experimento de capim-elefante. Campos dos Goytacazes, 2019-2021.....37

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Famílias de irmãos completos obtidas de cruzamentos dirigidos.....	14
<b>Tabela 2</b> - Estatística descritiva para características morfoagronômicas de 220 indivíduos pertencentes a onze famílias de irmãos completos de capim-elefante. Campos dos Goytacazes, 2021. ....	19
<b>Tabela 3</b> - Loadings, autovalor, variância relativa e variância acumulada nos componentes principais de cinco características morfoagronômicas em famílias de irmãos completos. Campos dos Goytacazes, RJ, 2021.....	20
<b>Tabela 4</b> - Famílias de irmãos completos obtidas de cruzamentos dirigidos.....	36
<b>Tabela 5</b> - 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 53 genótipos de capim-elefante. Campos dos Goytacazes, RJ, 2021.....	43
<b>Tabela 6</b> - Componentes de variância obtidos pelo REML individual 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 famílias de irmãos completos de capim-elefante. Campos de Goytacazes, RJ, 2021.....	46

**Tabela 7** - Ordenamento, ganho predito e a nova média para as características produção de matéria seca (PMS), porcentagem de matéria seca (%MS), número de perfilhos (NP), altura (ALT) e diâmetro de colmo (DC) das 11 melhores famílias de irmãos completos de capim-elefante, Campos dos Goytacazes, RJ, 2021. ....48

**Tabela 8** - Novas médias preditas e ganho genético estimados via REML/BLUP de 30 indivíduos provenientes de 11 famílias de irmãos completos de capim-elefante para as características produção de matéria seca (PMS), porcentagem de matéria seca (%MS), número de perfilhos (NP), altura (ALT) e diâmetro de colmo (DC) dos 30 melhores indivíduos, Campos dos Goytacazes, RJ, 2021. ....51

## RESUMO

FARIAS, João Esdras Calaça; M.Sc. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Fevereiro de 2022. Seleção de famílias de irmãos completos de capim-elefante para fins bioenergéticos via análise multivariada e modelos mistos. Orientador: Prof. Rogério Figueiredo Daher. Conselheiros: Prof. Geraldo de Amaral Gravina e Prof. Alexandre Pio Viana.

Um dos desafios do setor energético é a busca por recursos alternativos que tenham menor impacto danoso ao meio ambiente e que sejam economicamente viáveis. Diante deste cenário, estudos vêm sendo desenvolvidos pela Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF com a finalidade de comprovar a capacidade de uso do capim-elefante para geração e produção de bioenergia. Deste modo, este estudo teve como objetivo estudar a diversidade genética entre genótipos de famílias de irmãos completos, bem como selecionar os melhores indivíduos entre e dentro de famílias, buscando maximizar os ganhos genéticos em capim-elefante para fins bioenergéticos. Para isso, foram feitos cruzamentos dirigidos entre acessos de capim-elefante para obtenção das combinações híbridas entre genótipos promissores. Vinte acessos de capim-elefante pertencentes ao Banco de germoplasma da Universidade Estadual do Norte Fluminense-UENF foram utilizados para a escolha dos genitores femininos e masculinos. A partir dos cruzamentos, foram obtidas onze famílias de irmãos completos, que foram submetidas a um ensaio experimental a campo em delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições, sendo cada bloco composto por cinco plantas por família, totalizando 220 indivíduos. As

características morfoagronômicas avaliadas foram: Produção de matéria seca (PMS), Porcentagem de matéria seca (%MS), Altura de plantas (ALT), Diâmetro de colmo (DC), Número de perfilhos (NP). No primeiro capítulo, foram feitas análises de componentes principais e agrupamento, o qual foi feito a partir da matriz de dissimilaridade, com base na distância de Mahalanobis, e para construção do dendrograma, foi utilizado o método de ligação UPGMA. Estas análises foram feitas com auxílio do software R. No segundo capítulo, foram feitas a análise de deviance, a estimação dos parâmetros genéticos e a predição dos ganhos entre e dentro das famílias pela metodologia REML/BLUP. No primeiro capítulo, os resultados apresentam importantes informações sobre as características analisadas, podendo, dessa forma, auxiliar na seleção direta de uma característica em detrimento de outra no processo de avaliação de indivíduos dentro do programa de melhoramento genético de capim-elefante. Na análise de agrupamento, o dendrograma obtido permitiu a distinção dos indivíduos em 20 grupos. Oito grupos apresentaram simultaneamente alta produção de matéria seca e altura, além de valores de números de perfilhos acima da média geral, o que indica o potencial para a seleção de genótipos superiores. No segundo capítulo, com base nos resultados, foram identificados cinco indivíduos promissores para todas as características avaliadas. Para a principal característica de interesse no melhoramento de capim-elefante com fins bioenergéticos, produção de massa seca, para os 30 indivíduos selecionados, a média foi superior à média geral dos indivíduos, variando de 42,09 a 35,77 t.ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, o que evidencia a eficiência da seleção dos indivíduos via REML/BLUP.

**Palavras-chave:** *Pennisetum purpureum* Schum; bioenergia; melhoramento genético; sustentabilidade

## **ABSTRACT**

FARIAS, João Esdras Calaça; M.Sc. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. February of 2022. Selection of elephant grass full-sibs families for bioenergetic purposes via multivariate analysis and mixed models. Advisor: Rogério Figueiredo Daher. committee members: Geraldo de Amaral Gravina and Alexandre Pio Viana.

One of the challenges of the energy sector is the search for alternative resources that have less impact on the environment and that are economically viable. Given this scenario, studies have been developed in order to prove the ability to use elephant grass for the generation and production of bioenergy. Thus, this study aimed to study the genetic diversity among genotypes of full-sib families, as well as to select the best individuals among and within families, seeking to maximize genetic gains in elephant-grass for bioenergetic purposes. Directed crosses between elephant grass accessions were carried out to obtain hybrid combinations between promising genotypes. Twenty elephant-grass accessions belonging to the germplasm bank of Universidade Estadual do Norte Fluminense-UENF were used as a basis for choosing female and male parents. After the crossings, eleven families of complete siblings were obtained, they were taken to the field in an experimental design in randomized blocks, with four replications, with each block composed of five plants per family, thus, totaling 220 individuals. The morphoagronomic characteristics evaluated were: Dry matter production (DMP), Dry matter percentage (%DM), Plant height (PH), Stem diameter (SD), Number of tillers (NT). In the first chapter, principal component analyzes and clustering were

performed, this was done from the dissimilarity matrix, based on the Mahalanobis distance and for the construction of the dendrogram the UPGMA binding method was used. These analyzes were carried out with the aid of the R software. In the second chapter, the deviance analysis, the estimation of genetic parameters and the prediction of gains between and within families were performed using the REML/BLUP methodology. In the first chapter, the results present important information about the analyzed characteristics, being able, in this way, to help in the direct selection of a characteristic to the detriment of another in the process of evaluating individuals within the elephant grass genetic improvement program. In the cluster analysis, the dendrogram obtained allowed the distinction of individuals in 20 groups. Eight groups simultaneously presented high production of dry matter and height, in addition to values of number of tillers above the general average, which indicates the potential for the selection of superior genotypes. In the second chapter, through the analyses, five promising individuals were identified for all the characteristics evaluated. For the main characteristic of interest in improving elephant grass for bioenergetic purposes, dry matter production, for the 30 selected individuals, the average was higher than the general average of individuals, ranging from 42.09 to 35.77 t.ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> which shows the efficiency of the selection of individuals via REML/BLUP.

**Key-words:** *Pennisetum purpureum* Schumach; Mixed models; bioenergy; multivariate analysis; plant breeding; sustainability.

## 1 INTRODUÇÃO

O capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) é uma gramínea forrageira cultivada e explorada em regiões de clima tropical, subtropical e também em regiões de clima semiárido do Brasil. É uma espécie utilizada comumente como capineira, sendo também muito utilizada pelos pecuaristas para ensilagem e pastejo. O capim-elefante tem alta produtividade de matéria seca, tendo registros de  $59,26 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  (Pereira et al., 2017; Silva et al., 2020)

Além disso, estudos vêm sendo desenvolvidos com a finalidade de mostrar a capacidade de uso dessa planta para geração e produção de bioenergia. Por ser uma planta que tem alta eficiência fotossintética, o capim-elefante apresenta grande acúmulo de biomassa seca e características qualitativas que tornam possível seu estudo para geração de bioenergia (Alves et al., 2018).

Atualmente, a demanda de energia tornou-se um problema global, e a busca por fontes alternativas de energia é cada vez mais crescente (Rossi et al., 2014). Um dos desafios do setor energético é a busca por recursos alternativos que tenham menor reflexo no meio ambiente e que sejam economicamente viáveis. No Brasil, para que haja um avanço sustentável que incorpore eficiência econômica e ambiental é preciso explorar fontes renováveis de energia. Dessa forma, a biomassa deve ser considerada através de uma análise de longo prazo, não apenas como medidas paliativas tendo em vista a necessidade de

estabelecer políticas governamentais mais claras e eficientes, conforme análise de Oliveira (2015).

Nesta perspectiva, o capim-elefante é uma ótima alternativa, pois tem características que beneficiam a qualidade da biomassa, como maior capacidade de acumulação de matéria seca, elevado teor de fibras, alta relação C/N e alto poder calorífico (Rocha et al., 2015).

Apesar de sua alta capacidade de produção de matéria seca, a maior parte dos programas de melhoramento de capim-elefante está direcionada a seu uso como forrageira, selecionando quanto ao conteúdo de proteína e baixos níveis de fibra. Para o uso como fonte de bioenergia, o melhoramento de capim-elefante com essa finalidade requer uma mudança na seleção de genótipos (Flores et al., 2013). Para a formação de energia por meio da biomassa, é importante que a qualidade seja favorável a essa produção, identificada pelos valores de fibra, lignina, cinza e baixo nível de água (Mckendry, 2002; Quesada, 2005).

Nessa conjuntura, a Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) há mais de 10 anos começou a desenvolver um programa de melhoramento genético de capim-elefante visando a obter genótipos com potencial de uso para bioenergia, tendo obtido êxito na seleção de materiais superiores (Lima et al., 2011; Barbé, 2012; Rossi et al., 2014; Daher et al., 2014; Menezes et al., 2014; Oliveira et al., 2014; Santos et al., 2014; Rocha et al., 2015; Sousa et al., 2016; Freitas et al., 2018; Silva et al., 2020).

Para selecionar indivíduos com desempenhos produtivos superiores, é importante conhecer o grau de divergência genética entre os genitores (Menezes et al., 2016). Para isso, a determinação da diversidade genética é fundamental, sendo feita pela diferença entre indivíduos ou grupos de indivíduos e até entre populações, podendo ser analisado por método específico ou por uma combinação de métodos (Moura et al., 2010).

Nesse sentido, um importante método de seleção é a análise multivariada via componentes principais (PCA), que consiste em uma técnica multivariada de transformação de um conjunto de variáveis originais em outro conjunto de variáveis de mesma dimensão, denominadas de componentes principais (PC), sendo dessa forma uma combinação linear de todas as variáveis originais,

ortogonais e estimadas com o propósito de reter, em ordem de estimação, o máximo da variação total contida nos dados (Hongyu, 2015).

Outro método promissor para a seleção no melhoramento são os modelos mistos, que vêm sendo de grande aplicabilidade na seleção de genótipos superiores (Laviola et al., 2010). Este método permite a estimação de componentes de variância e a predição dos valores genotípicos via máxima verossimilhança restrita (REML) e melhor preditor linear não viciado (BLUP), respectivamente (Viana e Rezende, 2014). Os modelos mistos contemplam simultaneamente as informações de família e de indivíduo com elevados valores genotípicos, apresentando dessa maneira maior probabilidade de seleção de clones potenciais (Xavier et al., 2014).

As principais vantagens do REML/BLUP são a possibilidade de correção simultânea dos efeitos ambientais, a possibilidade de comparar indivíduos ou variedades ao longo do tempo e espaço, a possibilidade de trabalhar com estruturas complexas de dados, estimação de componentes de variância, predição de valores genéticos, aplicabilidade de dados desbalanceados e a geração de estimativas e de predições mais concisas (Viana e Resende, 2014).

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

Avaliar a diversidade genética de famílias de irmãos completos de Capim-elefante, bem como selecionar os genótipos que apresentem características superiores para produção de energia.

### 2.2 Objetivos Específicos

Estudar a estrutura de correlação entre as características morfoagronômicas;

Estimar a divergência genética com base na divergência genotípica multivariada via componentes principais (PCA);

Analisar os genótipos com base na divergência genotípica multivariada via agrupamento hierárquico;

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); e

Indicar os melhores genótipos e famílias de irmãos completos de capim-elefante para fins bioenergéticos via modelos mistos (REML/BLUP).

### **3 CAPÍTULOS**

#### **3.1 DIVERSIDADE GENÉTICA EM FAMÍLIAS DE IRMÃOS COMPLETOS DE CAPIM-ELEFANTE VIA COMPONENTES PRINCIPAIS.**

##### **3.1.1 INTRODUÇÃO**

Nas últimas décadas, o dilema das grandes potências mundiais tem sido o crescimento econômico vinculado à sustentabilidade, nesse sentido, a questão energética ganha destaque, pois para muitos países, o crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) acarreta também aumento do consumo de energia, tendo como referência dois aspectos centrais: o aumento da produção e o crescimento da população. Em virtude do crescimento na produção, faz-se necessário um maior uso de insumos, como maquinários, os quais, por sua vez, necessitam de energia para funcionar (Nong et al., 2020; Topcu et al., 2020).

Como efeito, o crescimento econômico vem acompanhado de preocupação com os efeitos secundários do desenvolvimento acelerado. Tais efeitos (como o alto nível de produção de gás carbônico) se tornaram realidade e serviram como incentivo e exemplo para a realização de debates internacionais e para a concretização de acordos ambientais com foco na redução de emissão de gases poluentes. Entre eles, podem ser citados os promovidos pela

Organização das Nações Unidas (ONU), desde 1972, pela criação do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), na conferência de Estocolmo, que foi a primeira conferência ambiental, e mais recentemente, em 2015, a criação da agenda 2030, na qual foram estabelecidos os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (ONU, 2015; David e Do Vale, 2018; Shalaeva et al., 2020).

Somado à questão econômica, o aumento populacional, de certo modo, leva a um deslocamento na demanda e gera aumento no consumo de energia interna. Estima-se que a população mundial se aproximará de 9 bilhões em 2040 e para atender a essa demanda, em comparação com o consumo de 2010, será necessário um aumento próximo a 35% na oferta total de energia. Isto exigirá maior diversificação de recursos energéticos e inovações tecnológicas mais eficientes e confiáveis para o meio ambiente e assim tornar a matriz energética mundial mais sustentável (IEA, 2015).

Nesse contexto, o uso de biomassa surge como uma alternativa ao incremento de energia limpa da matriz energética nacional e mundial. Com as crescentes possibilidades de utilização nos diversos setores da indústria e a alta demanda por biomassa, muitas instituições têm direcionado suas pesquisas para culturas com alto índice de produtividade de biomassa (Marafon et al., 2012). Entre as espécies tropicais, o capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) é uma das que apresentam uma alternativa de biomassa para utilização como insumo energético por ter características que beneficiam a qualidade da biomassa, incluindo maior capacidade de acumulação de matéria seca, elevado teor de fibras, alta relação C/N e alto poder calorífico (Daher et al., 2014; Menezes et al., 2015; Rocha et al., 2015).

Dentro desta perspectiva, a Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) desenvolve um programa de melhoramento genético de capim-elefante para fins bioenergéticos há 10 anos, e durante esse período vem alcançando resultados promissores, selecionando indivíduos superiores (Lima et al., 2011; Barbé, 2012; Rossi et al., 2014; Daher et al., 2014; Menezes et al., 2014; Oliveira et al., 2014; Santos et al., 2014; Rocha et al., 2015; Sousa et al., 2016; Freitas et al., 2018; Silva et al., 2020).

É importante destacar que para o sucesso de um programa de melhoramento é fundamental fazer a caracterização dos indivíduos que serão a

base de trabalho (Vieira et al., 2007), pois se sabe que a falta de documentação, de descrição e de avaliação adequada, resulta em uma baixa utilização dos recursos genéticos vegetais disponíveis (Nass e Paternani, 2000). Desta forma, estudos mais aprofundados sobre a identificação e avaliação dos indivíduos são necessários para selecionar genótipos com as melhores características de interesse dentro dos programas de melhoramento genético (Cavalcante e Lira, 2010).

Nesse sentido, as técnicas de análises multivariadas são importantes ferramentas na seleção de genótipos com base nas suas características principais. Entre as técnicas multivariadas, a análise de componentes principais (CP) é uma técnica poderosa que reduz o conjunto de características agronômicas dos genótipos estudados, criando eixos ortogonais que são combinações lineares das variáveis originais, chamados componentes principais (Leite et al., 2016).

Na técnica biplot, gerada a partir do componente principal da matriz, diversas variáveis e os genótipos de estudo são considerados simultaneamente em uma análise precisa, robusta e integrada (ACP-biplot) (Maia et al., 2016). Desta forma, a técnica multivariada se torna de grande importância para a seleção de indivíduos superiores na cultura do capim-elefante, uma vez que a análise gráfica identifica, de forma prática, os indivíduos com melhor desempenho para as características avaliadas, permitindo uma seleção mais rigorosa, obtendo, assim, ganhos desejáveis.

Dessa forma, diversas técnicas de análise multivariada têm sido muito utilizadas no melhoramento genético de várias culturas, entre elas, mamão (Santana et al., 2021a), feijão (Paramesh et al., 2016), manga (Maia et al., 2016), feijão-de-vagem (Oliveira et al., 2018), pimentas aromáticas (Abu Ngozi et al., 2011) e capim-elefante (Gravina et al., 2020). As análises têm sido aplicadas auxiliando na identificação das relações entre características, avaliação dos genótipos com base em múltiplas características e também para identificar as divergências entre os genótipos.

Diante do exposto, o presente estudo tem por objetivo analisar a diversidade genética via componentes principais e agrupamento hierárquico de 220 indivíduos provenientes de 11 famílias de irmãos completos de capim-elefante para fins bioenergéticos.

### 3.1.2 REVISÃO

#### 3.1.2.1 Aspectos Gerais da Cultura capim-elefante

O capim-elefante é considerado uma das forrageiras mais importantes, sendo cultivado em quase todas as regiões tropicais e subtropicais do mundo. A espécie se destaca pelo alto potencial de produção de biomassa, qualidade da forragem, vigor e persistência. É usada principalmente como capineira, mas também pode ser usada para ensilagem e pastejo (Pereira et al., 2017).

A África Tropical é apontada como o centro de origem e diversidade do capim-elefante, que foi descoberto pelo coronel Napier em 1905, chegou ao Brasil em 1920 vindo de Cuba e se difundiu em todas as regiões tropicais e subtropicais do país (Rodrigues, 2001).

O nome científico do capim-elefante é *Pennisetum purpureum* Schum, pertence à família Poaceae, subfamília Panicoideae, tribo *Paniaceae*, gênero *Pennisetum* L. Rich. *Pennisetum* é um gênero pertencente à tribo *Paniaceae*, que engloba outros gêneros de grande importância forrageira como *Panicum*, *Melinis*, *Acroceras*, *Setaria*, *Brachiaria* e *Axonopus* (Tcacenco; Botrel, 1997; Atlas Of Florida Vascular Plants, 2014).

Esta forrageira pertence ao gênero *Pennisetum*, um dos mais importantes gêneros em termos de representatividade da família Poaceae, que tem cerca de 650 gêneros e 9000 espécies, sendo encontrados no Brasil cerca de 180 gêneros e 1500 espécies (Souza Sobrinho et al., 2005). Entre elas, espécies forrageiras, ornamentais e cereais. Entre as plantas forrageiras, o capim-elefante tem grande destaque (Brunken, 1977).

O capim-elefante é uma forrageira com alta produtividade, com colmos de 3,0 a 4,5 m de altura, mas é possível encontrar plantas de menor porte (1,0 a 2,0 m), tem vários colmos por touceira, que podem ser eretos ou geniculados na base. O capim-elefante apresenta sistema radicular profundo e vigoroso, folhas lineares, de várias tonalidades de verde e roxo, maciças ou não, glabras ou com pêlos, tendo em média 0,85 a 1,30 m de comprimento por 2 a 5 cm de largura. Ele apresenta inflorescência com panícula contraída e sedosa, podendo ser solitária ou aparecendo em conjunto no mesmo colmo. A panícula tem, em média, 15 cm de comprimento, formada por espiguetas envolvidas por um tufo de cerdas de

tamanhos desiguais e de coloração amarelada ou púrpura (Alcântara; Bufarah, 1983).

O capim-elefante é um alotetraploide com número básico de cromossomos  $x=7$  ( $2n = 4x = 28$ ), com comportamento diploide normal e genomas A'A'BB (Martel et al., 1996). Predominantemente alógama, protogínica e com taxa de polinização cruzada que depende da época de florescimento dos genótipos. O intervalo médio de tempo decorrido entre o aparecimento dos estigmas e a abertura das primeiras anteras é de 3 a 4 dias. A variação deste intervalo entre genótipos permite classificá-los em precoces, intermediários e tardios (Pereira, 1994).

As espiguetas se apresentam com 5 a 7 mm de comprimento, bifloras com duas glumas herbáceas de tamanho menor que o da espiguetas, flor inferior estaminada ou neutra, flor superior hermafrodita. Os estames se apresentam em número de três com anteras glabras ou com poucos pelos apicais, dois estiletos soldados, às vezes, em um só, dois estigmas lineares, plumosos. O fruto é do tipo cariopse formado, ao que tudo indica, por fecundação cruzada obrigatória (Alcântara; Alcântara; Almeida, 1980).

O principal método de reprodução é por propagação vegetativa, e isso possibilita isolar e propagar plantas superiores que são resultantes de cruzamentos para testes e possíveis lançamentos. No entanto, a produção de sementes no capim-elefante é inconsistente e apresenta baixa viabilidade (Holm et al., 1977). A depressão endogâmica decorrente deste processo seria um dos principais fatores responsáveis pela baixa germinação das sementes e plantas de baixo vigor no capim-elefante propagado por sementes (Pereira et al., 2001).

### **3.1.2.2 Importância econômica da cultura**

O capim-elefante é uma espécie que apresenta alto potencial de produção de biomassa, qualidade da forragem, vigor, persistência e grande eficiência fotossintética, sendo esta uma característica típica das gramíneas tropicais que crescem rapidamente e otimizam o uso da água do solo e da energia solar (Urquiaga et al., 2004). No Brasil, tem sido há muito tempo explorado de forma comercial, sendo capaz de produzir  $60 \text{ t.ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$  de matéria seca, sob condições ideais de crescimento (Silva et al., 2020).

Atualmente, é possível encontrar uma grande diversificação de cultivares de gramíneas que apresentam características que tornam a sua produção mais viável ao agricultor. Neste sentido, o capim-elefante tem características importantes como o elevado potencial nutritivo e sua notória adaptação às diferentes condições edafoclimáticas predominantes no território brasileiro, que contribuem para a sua difusão (Cóser et al., 2006).

Apesar de a maioria dos programas de melhoramento de capim-elefante voltar a atenção para seu uso como forrageira, essa espécie tem boas propriedades para uso energético, como baixo teor de cinzas, altas relações carbono/nitrogênio no colmo e altos teores de carbono e hidrogênio (Paterlini, et al., 2013). O capim-elefante tem despertado o interesse do setor de geração de energia, após as recentes pesquisas científicas evidenciarem sua elevada produtividade e, por consequência, seu potencial como fonte alternativa para geração de energia.

O capim-elefante apresenta maior potencial energético que outras plantas fontes de biomassa. Enquanto o eucalipto, espécie mais explorada no país para produção de celulose e carvão vegetal, produz até 20 t de biomassa seca por hectare ao ano, o capim-elefante é capaz de produzir, pelo menos, de 30 a 40  $\text{tha}^{-1}\text{ano}^{-1}$  (Marafon et al., 2012). Além disso, o eucalipto necessita de sete anos para atingir um tamanho conveniente para o corte, enquanto o capim-elefante pode ser colhido duas vezes ou mais por ano, em razão do seu rápido crescimento (Mazzarella, 2010).

### **3.1.2.3 Capim-elefante como fonte alternativa de energia**

Durante décadas, o petróleo foi a matriz energética do mundo. Somente na década de 70, com a crise petrolífera, é que surgiu um novo padrão ideal de consumo e geração de energia, com o surgimento de fontes renováveis para a produção de energia. A partir desse momento, surgem novos conceitos de desenvolvimento sustentável, social e econômico. Outro problema evidenciado ao longo dos anos é o fato de energias oriundas de fonte fóssil liberarem grande quantidade de óxido de enxofre, o que acarreta chuvas ácidas, acidificação de rios e lagos, além disso a queima de energia de fonte fóssil libera  $\text{CO}_2$ , intensificando o efeito estufa no planeta (Paterlini et al., 2013). A China, país mais

populoso do planeta, tem matriz energética predominantemente de fontes não renováveis, sendo que no ano de 2019 o carvão e o petróleo totalizaram quase 80% de toda sua geração de energia. Em relação à matriz energética mundial, a biomassa representa 9,3% do total (EIA, 2020).

O Brasil tem clima favorável à produção de energia sustentável por meio de biomassa vegetal, principalmente de plantas que apresentam metabolismo C4, o que facilita o crescimento de massa vegetal em um período de tempo pequeno. As poáceas merecem destaque já que apresentam uma alta produção de massa quando comparada com outros vegetais, como, por exemplo, com as plantas que têm metabolismo C3 (Danalatos et al., 2007).

Programas de produção de energia através da biomassa vegetal de espécies perenes não são atuais, mas se intensificaram a partir dos anos de 1980, em que a finalidade energética consistiu na combustão direta em fornos (Flores, 2009). No Brasil, os estudos iniciais com o objetivo de avaliar a potencialidade do capim-elefante para fins energéticos foram conduzidos por Quesada et al. (2000), Quesada (2001) e Quesada et al. (2003). Sabe-se que a lignina mostra ser uma variável de grande importância para seleção de genótipos visando a essa finalidade, visto ser uma característica que apresenta diferenças significativas entre os genótipos (Oliveira, 2013).

Entre as principais vantagens do uso de biomassa como fonte alternativa, destaca-se a sustentabilidade. Além de possibilitar o reaproveitamento de resíduos, todo o CO<sub>2</sub> produzido é absorvido durante a fotossíntese, o conhecido ciclo do carbono. Nesse processo da decomposição ou queima de matéria orgânica, há liberação de CO<sub>2</sub> e água, e as plantas transformam o CO<sub>2</sub> e a água em produtos que irão compor sua biomassa e liberar oxigênio pela fotossíntese (Goldemberg, 2009). Dessa forma é possível chegar à conclusão de que o uso de biomassa não modifica a composição média da atmosfera ao longo do tempo, desde que não seja conduzido de forma irracional.

Segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética, órgão vinculado ao Ministério de Minas e Energia, no Brasil a biomassa atualmente é uma das principais fontes de energia renovável no país (Brasil, 2018).

A Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) tem desenvolvido várias pesquisas com o capim-elefante, sendo uma das linhas de pesquisa a obtenção de genótipos superiores para produção de bioenergia.

Rodrigues et al. (2017), seguido por Vidal et al. (2019), utilizando dez genótipos de capim-elefante previamente selecionados com base em estudos para produção de biomassa (Oliveira et al., 2014), agregando algumas características como florescimento tardio, produção de matéria seca, diâmetro do colmo, número de perfilhos, bem como na distância genética (Lima et al., 2011; Oliveira et al., 2017), fizeram cruzamentos controlados em delineamento genético dialélico circulante para obtenção de uma população com o objetivo de selecionar híbridos de capim-elefante via modelos mistos (REML/BLUP) para produção de bioenergia.

Silva et al. (2020), seguido por Cassaro (2018), também fizeram cruzamentos dirigidos entre acessos de capim-elefante para obtenção das combinações híbridas entre genótipos promissores. Em ambos os trabalhos, foram encontrados, a partir dos cruzamentos dialélicos, combinações híbridas que superaram os genitores. Os híbridos mais promissores encontrados em ambos os trabalhos estão compondo o primeiro ensaio de Valor de Cultivo de Uso (VCU) do programa de melhoramento do capim-elefante para fins energéticos da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF).

#### **3.1.2.4 Análise multivariada**

A análise de componentes principais é uma técnica multivariada de modelagem da estrutura de covariância ou da estrutura de correlação. A técnica foi inicialmente descrita por Pearson (1901) e uma descrição de métodos computacionais práticos veio muito mais tarde com Hotelling (1933, 1936), que usou com o propósito determinado de analisar as estruturas de correlação.

Essa técnica transforma um conjunto de variáveis originais em outro conjunto de variáveis não correlacionadas de mesma dimensão e arranjadas em ordem decrescente de variância, sem perda de informações, denominada de componentes principais (Yin e Huang, 2010; Barshan et al., 2011; Prieto-Moreno et al., 2015).

Os componentes principais apresentam propriedades importantes. Cada componente principal é uma combinação linear de todas as variáveis originais, são independentes entre si e estimados com o propósito de reter, em ordem de

estimação, o máximo de informação, em termos da variação total contida nos dados. O objetivo principal da análise de componentes principais é explicar a estrutura da variância e covariância de um vetor composto de p-variáveis aleatórias, por meio de combinações lineares das variáveis originais (Johmson; Wichern, 1998; Regazzi, 2000; Hongyu et al., 2016).

Segundo Regazzi (2000), apesar de as técnicas de análise multivariada terem sido desenvolvidas para resolver problemas específicos, elas podem ser utilizadas para resolver outros tipos de problemas como redução da dimensionalidade das variáveis, agrupar os indivíduos (observações) pelas similaridades, em diversas áreas do conhecimento, por exemplo, agronomia, fitotecnia, zootecnia, ecologia, biologia, psicologia, medicina, engenharia florestal etc.

Couto et al. (2013) demonstraram que as técnicas de PCA foram eficientes para selecionar clones de *Eucalyptus* para fins bioenergéticos e observaram similaridades entre os grupos para produção de biomassa. A eficiência da análise multivariada foi comprovada em diferentes estudos com diferentes culturas como mamão (Santana et al., 2021a), feijão (Paramesh et al., 2016), arroz (Samonte et al., 2013), manga (Maia et al., 2016), espinafre (Sabaghnia et al., 2015), canola (Dehghani et al., 2008), feijão-de-vagem (Oliveira et al., 2018), pimentas aromáticas (Abu Ngozi et al., 2011), mangaba (Santana et al., 2021b) e também com capim-elefante (Gravina et al., 2020), para identificar as relações entre características, avaliar os genótipos com base em múltiplas característica e para inferir sobre a divergência entre os genótipos.

### **3.1.3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1.3.1 Material genético**

Foram feitos cruzamentos dirigidos entre acessos de capim-elefante, para obtenção das combinações entre genótipos promissores de famílias de irmãos completos. Vinte acessos de capim-elefante pertencentes ao Banco de germoplasma da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro-

UENF formaram a base para a escolha dos genitores femininos e masculinos. Estes genitores foram selecionados com base em estudos para potencial de produção de biomassa (Oliveira et al., 2013, Rocha et al., 2015) e em estudos de diversidade genética (Lima et al., 2011).

Os cruzamentos manuais foram dirigidos de modo que os grãos de pólen dos genótipos de capim-elefante (genitor masculino) fossem coletados em sacos de papel, sendo então levados aos genótipos genitores femininos no momento quando suas inflorescências, devidamente protegidas com saco de papel, apresentassem os estigmas receptivos. Os cruzamentos foram efetuados no horário entre 8 e 10 horas da manhã.

Após o cruzamento manual entre genitores, foram obtidas 11 famílias de irmãos completos (Tabela 1), tendo as sementes sido recolhidas dos genótipos. No dia 06 de outubro de 2020, foi feita a semeadura em bandejas de isopor com 128 células, preenchidas com substrato florestal. O transplântio das plântulas para o campo foi feito quando elas atingiram 20 cm de altura, cerca de 40 dias após a germinação.

**Tabela 1** - Famílias de irmãos completos obtidas de cruzamentos dirigidos.

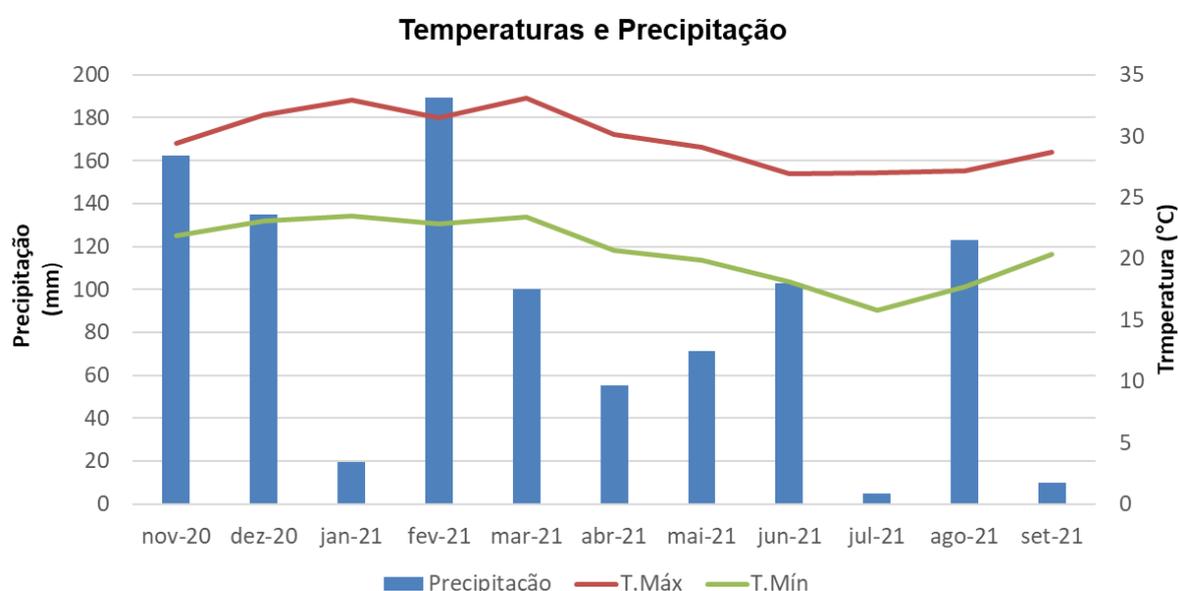
Famílias		Cruzamentos			
1	Três Rios (G11)	♀	X	♂	IJ 7136 cv EMPASC 307 (G09)
2	Australiano 903-77 (G08)	♀	X	♂	Cuba-115 (G05)
3	CAC-262 (G06)	♀	X	♂	Gigante de Pinda (G02)
4	Cuba-115 (G05)	♀	X	♂	King Grass (G18)
5	King Grass (G18)	♀	X	♂	Gigante de Pinda (G02)
6	Gigante de Pinda (G02)	♀	X	♂	P241 Piracicaba (G13)
7	King Grass (G18)	♀	X	♂	P241 Piracicaba (G13)
8	CAC-262 (G06)	♀	X	♂	Cuba-115 (G05)
9	Gramafante (G10)	♀	X	♂	Três Rios (G11)
10	Gramafante (G15)	♀	X	♂	Australiano 903-77 (G08)
11	Napierzinho (G20)	♀	X	♂	Gigante de Pinda (G02)

### 3.1.3.2 Local, instalação e delineamento experimental

No dia 18 de novembro de 2021, o experimento foi instalado na Estação Experimental do Centro Estadual de Pesquisas em Agroenergia e Aproveitamento

de Resíduos (PESAGRO-RIO), situada a 21° 19' 23" Sul e 41° 19' 40" Oeste, numa altitude média de 25 m, município de Campos dos Goytacazes, região Norte do Estado do Rio de Janeiro.

O clima da região Norte Fluminense é do tipo Aw, tropical quente e úmido, com período seco no inverno e chuvoso no verão (Köppen, 1948), com precipitação anual média em torno de 1.053mm. A Figura 1 mostra a temperatura e as precipitações ocorridas em cada mês durante o experimento.



**Figura 1** - Temperaturas e precipitação ocorridas durante o experimento de capim-elefante. Campos dos Goytacazes, 2020-2021.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, com quatro repetições, sendo cada bloco composto por onze famílias de irmãos completos (FIC). A parcela foi composta por cinco plantas espaçadas de 1 m entre e dentro das linhas. Foi feito um corte de avaliação aos 10 meses de crescimento, período em que a produtividade de biomassa é mais elevada (Freitas, 2018).

De acordo com a análise química do solo e com o manual de adubação do Estado do Rio de Janeiro – RJ (Almeida et al., 1988), foi feita a adubação no plantio com 100 kg.ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Superfosfato Simples). Após o segundo mês de crescimento, foi feita adubação de cobertura utilizando 25 kg.ha<sup>-1</sup> de N (sulfato de amônio) e 25 kg.ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (cloreto de potássio).

### 3.1.3.3 Características morfoagronômicas avaliadas

Foram mensuradas as características morfoagronômicas em famílias de irmãos completos na avaliação do corte com 10 meses de crescimento no campo, conforme descrição a seguir:

#### A) Altura das plantas (ALT)

Foram tomadas as medidas de todos os indivíduos de cada parcela, obtidas pela medição com régua graduada e expressa em metros;

#### B) Diâmetro do colmo (DC)

Utilizando um paquímetro digital, foram medidos os diâmetros do colmo de três plantas, ao acaso, de cada parcela, cerca de 10 cm do solo, e os resultados expressos em centímetros;

#### C) Número de perfilhos por metro linear (NP)

Foi feito pela contagem individual do número de perfilhos nas cinco plantas dentro da parcela;

#### D) Produtividade de matéria seca (PMS)

Em  $t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ : estimada pelo produto do peso da matéria verde das plantas integrais (kg), obtido em balança digital suspensa, provenientes de cada área útil ( $1m^2$ ), pela percentagem de matéria seca (%MS) obtida da amostragem destas plantas.

Foram pesados ainda, na área experimental, os perfilhos provenientes das cinco plantas individuais. Após a pesagem, foram coletadas amostras de dois perfilhos, passados em picadeira e embalados em sacos de papel. Os materiais (folhas e colmos) de cada parcela pesados e devidamente identificados foram submetidos à secagem em estufa de ventilação forçada a  $65^{\circ}C$  por 72 horas. Em seguida, as amostras foram novamente pesadas para obtenção da amostra seca ao ar (ASA), de acordo com a metodologia descrita por Silva e Queiroz (2002). O material seco (folha e colmo) foi moído em moinho tipo Willey com peneira de 1 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  $105^{\circ}C$  por 12 horas e, posteriormente, novamente pesados. A partir disso, foram obtidas as seguintes variáveis:

#### E) Porcentagem de massa seca (%MS)

Obtida pela multiplicação dos valores da amostra seca ao ar e da amostra seca em estufa.

#### F) Produção de matéria seca (PMS)

Estimada pela porcentagem de matéria seca e pelo peso de perfilhos de cada planta individual dentro da parcela. Os resultados obtidos foram transformados em  $t \cdot ha^{-1}$ .

### 3.1.3.4 Análises estatísticas

Para a estatística descritiva, foram utilizadas as cinco características morfoagronômicas relacionadas à produção de energia avaliadas em 220 genótipos pertencentes a onze famílias de irmãos-completos de capim-elefante. O valor mínimo, valor máximo, desvio padrão e o coeficiente de variação (CV%).

Foram feitas análises dos componentes principais (PCA) e de agrupamento. Foram utilizadas as médias de cinco características morfoagronômicas relacionadas à produção de biomassa para geração de energia. Para realização da PCA, os dados foram submetidos aos testes de Bartlett e índice de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), que indicam a adequação dos dados e confirmam a significância das correlações existentes entre as características avaliadas. A análise foi feita pela decomposição do valor singular (SVD), considerando o seguinte modelo:

$$SVD = \frac{(T_{ij} + \beta_j)}{S_j} = \sum_{n=1}^2 \lambda_n \xi_{in} \eta_{jn} + \epsilon_{ij} = \sum_{n=1}^2 \xi * i_n \eta * j_n + \epsilon_{ij}$$

Em que  $T_{ij}$  é o valor médio do genótipo  $i$  para a característica  $j$ ;  $\beta_j$  é o valor médio de todos os genótipos para a característica  $j$ ;  $S_j$  é o desvio padrão da característica  $j$  entre as médias dos genótipos;  $\lambda_n$  é o valor do componente principal  $n$  (CP $n$ );  $\xi_{in}$  e  $\eta_{jn}$  são as pontuações para o genótipo  $i$  e característica  $j$  no CP $n$ , respectivamente; e  $\epsilon_{ij}$  é o resíduo associado ao genótipo  $i$  na característica  $j$ . Para análise de agrupamento, foi obtida a matriz de dissimilaridade, com base na distância generalizada de Mahalanobis ( $D_{ii'}$ ) seguindo a equação a seguir:

$$D_{ii'} = \delta' \varphi^{-1} \delta$$

Em que:

$D_{ij}$ : distância generalizada de Mahalanobis entre os genótipos  $i$  e  $i'$ ;

$\varphi^{-1}$ : matriz de variância e covariâncias residuais;

$\delta'$ :  $[d_1 d_2 \dots d_n]$  sendo;  $d_j = X_{ij} - X_{in}$  ; e

$X_{ij}$  : média do  $i$ -ésimo genótipo em relação à  $j$ -ésima variável.

Com a matriz de distância foi utilizado o método UPGMA (*Unweighted Pair-Group Method using Arithmetic Averages*) para agrupamento e construção do dendrograma.

A determinação do número ótimo de grupos foi feita pelo método de Mojena, adotando  $k= 1,25$  como regra de parada, baseado no tamanho relativo dos níveis de fusão do dendrograma, como sugerido por Milligan e Cooper (1985).

Todas as análises para estimação de diversidade foram feitas no software R. Os pacotes psych, FactoMineR e factoextra foram utilizados para a PCA, e para a análise de agrupamento, a função nativa hclust e o pacote circlize.

### 3.1.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise descritiva mostrou que os maiores coeficientes de variação (CV%) encontrados foram para as características número de perfilhos (NP) com 31,72% e produção de matéria seca (PMS) com 31,09%, seguido por diâmetro de colmo (DC) apresentando CV% de 14,29%. Os valores de CV% obtidos nas variáveis porcentagem de matéria seca (MS) com 11,06% e altura de planta (ALT) com 11,45% foram considerados médios (Tabela 2).

Os altos valores de CV% e desvios padrão obtidos para NP e PMS indicam ampla variabilidade ambiental, ou seja, existe um alto nível de diversidade fenotípica entre os genótipos para estas características.

**Tabela 2** - Estatística descritiva para características morfoagronômicas de 220 indivíduos pertencentes a onze famílias de irmãos completos de capim-elefante. Campos dos Goytacazes, 2021.

Características morfoagronômicas	Unidade	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação (%)
PMS	t.ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	10,48	58,35	28,07	8,73	31,09
MS	%	18,98	44,95	31,79	3,52	11,06
NP	Perfilhos	8,00	52,00	22,08	7,00	31,72
ALT	m	1,70	4,50	2,66	0,30	11,45
DC	cm	0,57	1,80	1,21	0,17	14,29

PMS: Produção de matéria seca; %MS: Porcentagem de matéria seca; ALT: Altura de plantas; DC: Diâmetro de colmo; NP: Número de perfilhos

Por meio da análise de componentes principais, foi possível obter dois componentes significativos (Tabela 3). Tais componentes são ortogonais e obtidos pela combinação linear das variáveis originais para discriminar e maximizar o entendimento da estrutura de correlação existente entre as características morfoagronômicas avaliadas (Abdi e Willians, 2010; Silva e Sbrissia, 2010). Os dois primeiros componentes da análise explicam 61,90 % da variabilidade acumulada. Conforme Yang et al. (2009), em uma análise gráfica biplot pelo menos 60% da variação dos dados deve ser explicada pelos dois primeiros CPs. A significância dos componentes foi considerada pelo critério da raiz latente (Hair Jr et al., 2009). Este critério retém os componentes que apresentam autovalor > 1. As cargas fatoriais mostram correlação entre a variável e o componente, indicando a qualidade da representação, consideradas as mais relevantes quando apresentaram valores acima de 0,57.

A Tabela 3 apresenta detalhadamente as características que mais contribuíram para a discriminação dos acessos, sendo estes os descritores que apresentam maiores autovalores para os respectivos componentes. A característica produção de matéria seca (PMS) apresentou a maior importância para a discriminação dos genótipos (0,92), seguida de altura de plantas (ALT) (0,66) no CP1, que é o de maior importância, pois explicou 35,11% da variação total. Al Naggar et al. (2020) destacam que a importância de um CP é dada de acordo com a variância total explicada por este componente.

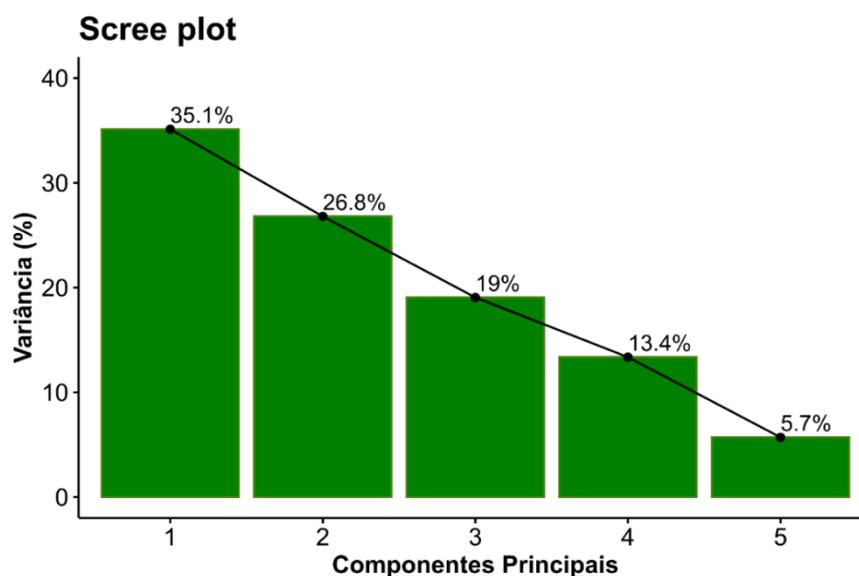
**Tabela 3** - Loadings, autovalor, variância relativa e variância acumulada nos componentes principais de cinco características morfoagronômicas em famílias de irmãos completos. Campos dos Goytacazes, RJ, 2021.

Características	Componentes				
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
PMS	0,92 <sup>a</sup>	-0,05	-0,10	0,07	-0,38
%MS	0,37	-0,43	0,76 <sup>a</sup>	0,28	0,12
ALT	0,66 <sup>a</sup>	-0,48	-0,46	-0,11	0,30
DC	0,48	0,57 <sup>a</sup>	0,34	-0,55	0,10
NP	0,33	0,76 <sup>a</sup>	-0,14	-0,51	0,16
Autovalores	1,75 <sup>b</sup>	1,33 <sup>b</sup>	0,95	0,66	0,28
% Variância	35,11	26,80	19,04	13,40	5,70
% Var. Acumulada	35,11	61,90	81,00	94,30	100,00

<sup>a</sup>Cargas > 0.57 são significativas; <sup>b</sup> autovalores > 1 são significativos. PMS: Produção de matéria seca; %MS: Porcentagem de matéria seca; ALT: Altura de plantas; DC: Diâmetro de colmo; NP: Número de perfilhos.

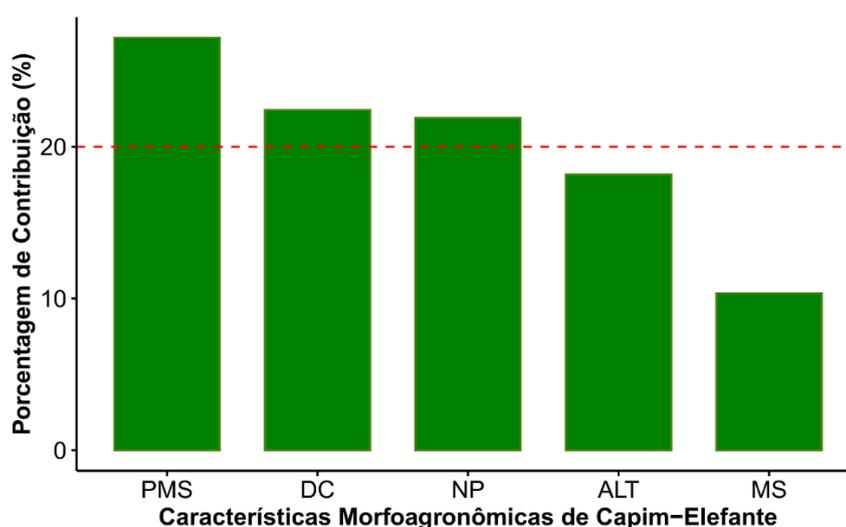
O CP2 explicou 26,80 % da variância, neste componente, as características número de perfilhos (NP) (0,76) e diâmetro de colmo (DC) (0,57) foram as que se destacaram. No CP3, apenas a característica porcentagem de matéria seca (PMS) (0,76) contribuiu para a variância do componente, apesar de não ser considerada significativa, sua contribuição é relevante. Deste modo, a análise dos componentes principais permitiu reduzir a dimensionalidade das variáveis inter-relacionadas, mostrando ser eficaz para facilitar a seleção dos genótipos com base nas características de interesse (Maia et al., 2016).

A variância do conjunto de indivíduos está apresentada em um screeplot contendo os cinco componentes principais obtidos (Figura 2). A partir do terceiro componente, a variação se tornou mais estável com diminuição da contribuição para o total da variabilidade entre as famílias, dessa forma, apenas os dois primeiros componentes podem ser usados na discriminação dos genótipos e, conseqüentemente, auxiliar no procedimento de seleção. As características representadas nos componentes de maior variância foram aquelas relacionadas ao PMS, podendo ser usadas no melhoramento genético como estratégia para diferenciação dos genótipos sob análise.



**Figura 2** - Screeplot da variância representada por componentes principais para as famílias de irmãos completos de capim-elefante.

A partir da análise de componentes principais, foi possível obter a porcentagem de contribuição das características morfoagronômicas para a variabilidade dos indivíduos nos três primeiros componentes (Figura 3). Todas as características apresentaram contribuição acima de 10% na avaliação da variabilidade entre os indivíduos. As características PMS, DC e NP apresentaram contribuição acima da média de 20%.



**Figura 3** - Contribuições (%) para variabilidade dos indivíduos de características morfoagronômicas em três componentes principais.

A análise gráfica dos genótipos por características, baseada no método descrito originalmente por Yan and Rajcan (2002), representou 61,9 % da variação total dos dados nos dois primeiros componentes principais. Nessa situação, a variação total de 61,9% reflete a variabilidade na relação entre as características dada nos CPs. Esta abordagem pela análise biplot tem sido feita para examinar as relações de múltiplas características, bem como para selecionar genótipos de acordo com as variáveis correlacionadas em diversas culturas, como trigo (Dehghani et al., 2012), milho-pipoca (Santos et al., 2017), feijão (Oliveira et al., 2018), mamão e mangaba (Santana et al., 2021a, 2021b).

O gráfico biplot, Figura 4, tem como função a caracterização dos genótipos, dividindo-os em vários setores, facilitando a visualização das relações existentes entre e dentro das características avaliadas, assim como os genótipos.

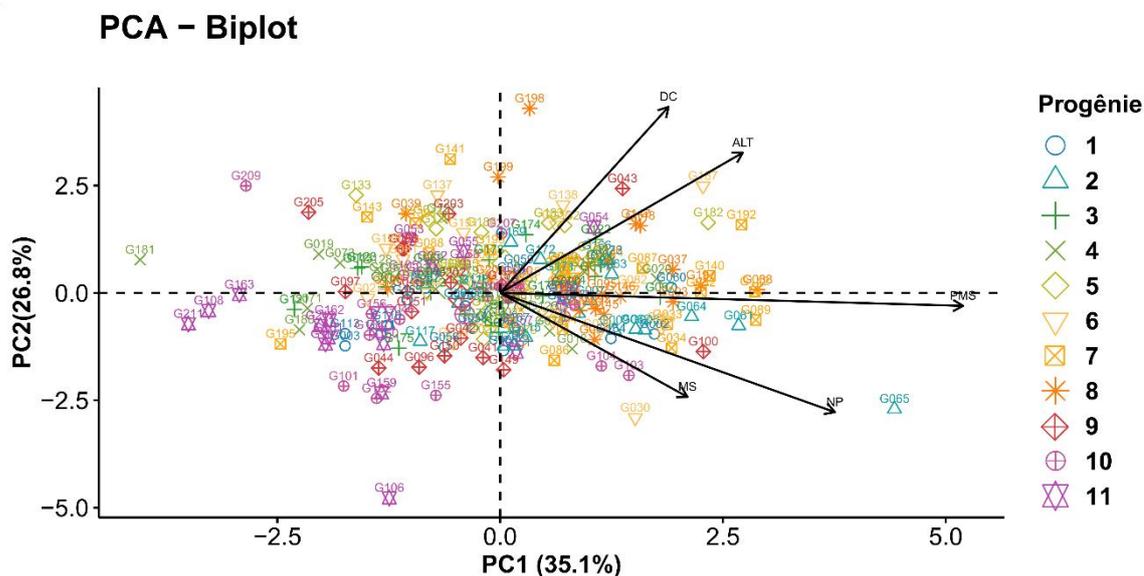
Além disto, este gráfico permite a obtenção de informações sobre o grau de associação entre as características avaliadas, de tal forma que as características que formam ângulos agudos ( $<90^\circ$ ) são positivamente correlacionadas, ângulos obtusos ( $>90^\circ$ ), são negativamente correlacionadas, ângulo reto ( $=90^\circ$ ), a correlação é nula, e as que formam ângulos de  $180^\circ$  são fortemente correlacionados negativamente (Gravina et al., 2020).

Diante disto, PMS apresentou correlações positivas com as demais características, sendo mais fortemente correlacionado com as características ALT e NP, já a característica %MS está mais correlacionada com NP e PMS. Desta forma, a seleção de genótipos com base nestas características acarretará maiores ganhos de PMS e MS.

O quadrante 1 compreendeu as características porcentagem de massa seca (MS), número de perfilho (NP) e produção de massa seca (PMS). Além disso, pode-se inferir que indivíduos pertencentes a este quadrante podem ser selecionados visando à obtenção de plantas com alta produtividade. Nesse sentido, os indivíduos G064, G061 e G089 tiveram destaque. No quadrante 2, estão incluídas as características diâmetro do colmo (DC) e altura de planta (ALT), apresentando os indivíduos G192, G182, G167 e G043 como os mais promissores para estas características.

Os indivíduos localizados nos quadrantes sem características também são considerados inadequados à recomendação como fontes de alelos para as

características mensuradas (Sabaghnia e Janmohammadi, 2016; Santos et al., 2017).



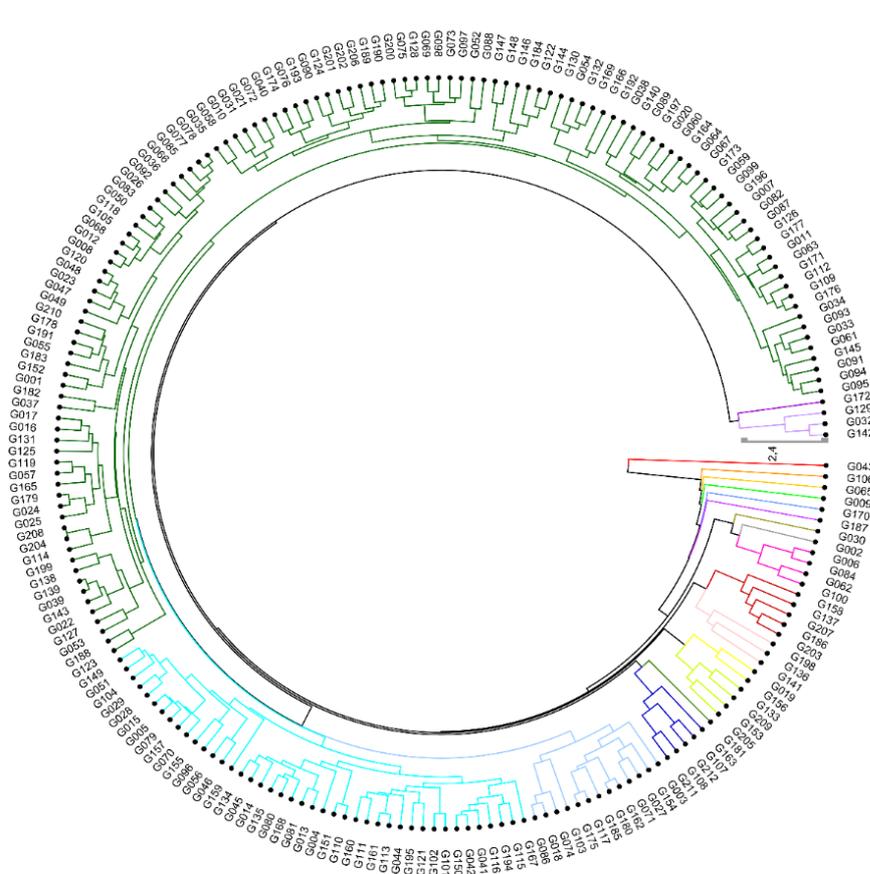
**Figura 4** - Dispersão dos 220 indivíduos de famílias de irmãos completos em dois componentes principais PMS= Produção de matéria seca, %MS=Porcentagem de matéria seca, NP= número de perfilhos, AL= altura e DC= diâmetro de colmo. CP 1 e CP 2.

Com a finalidade de separar os indivíduos em grupos de crescente dissimilaridade, foi utilizada uma análise de agrupamento (Figura 5). Os grupos foram formados de acordo com o método de ligação UPGMA. O dendrograma obtido permitiu a distinção dos indivíduos em 20 grupos, segundo o método de Mojena.

Do total de grupos formados, dez foram representados por apenas um genótipo (Grupos II, VII, XIII, XIV, XV, XVI, XVII, XVIII, XIX, XX), sendo estes os indivíduos mais divergentes entre os 220 genótipos analisados. O grupo IX apresentou dois indivíduos, os grupos I e X compreenderam três indivíduos, os grupos XII e VIII compreenderam quatro indivíduos, os grupos VI e XI compreenderam cinco indivíduos, o grupo V apresentou treze indivíduos, o grupo IV apresentou quarenta e dois indivíduos e o grupo III compreendeu cento e vinte e um indivíduos. Os grupos I, II, III, XII, XIII, XIV, XV, XVI, XVII e XVIII apresentaram valores médios para produção de matéria seca acima da média

geral (27,05 t.ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>) para a característica, com intervalo de 28,07 a 58,34 t.ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>. Estes grupos apresentaram produtividade relevante, tendo em vista que as cultivares mais produtivas encontradas no mercado apresentam produtividade entre 27,87 t.ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Cameroon) e 49,75 t.ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (BRS Capiaçú) (Neiva, 2016). Os genótipos mais produtivos foram G65 (58,35 t.ha<sup>-1</sup>), G196 (47,83 t.ha<sup>-1</sup>), G60 (45,94 t.ha<sup>-1</sup>), G201 (45,43 t.ha<sup>-1</sup>), G20 (42,19 t.ha<sup>-1</sup>) e G32 (41,11 t.ha<sup>-1</sup>), os quais apresentam alto potencial para a seleção e continuidade do programa de melhoramento para fins bioenergéticos.

Já para a característica altura de planta, os grupos I, II, III, IV, VII, X, XI, XII, XIII, XVII, XVIII e XX apresentaram valores médios acima da média geral (2,56 m). Para número de perfilho, os grupos I, IV, X, XI, XII, XIII, XIV, XV, XVI, XVII, XVIII e XX apresentaram valores médios acima da média geral (21,27) para esta característica.



**Figura 5** - Dendrograma de dissimilaridade genética obtido pelo método UPGMA utilizando a distância generalizada de Mahalanobis, (Coeficiente de correlação cofenético= 0,73).

A escolha adequada de genótipos de um germoplasma, com base na distância genética, tem sido uma ferramenta importante no melhoramento de plantas. É preciso considerar o comportamento *per se* de cada genótipo para as características agronômicas de interesse. As análises feitas neste estudo permitem confirmar a variabilidade entre os 220 genótipos de capim-elefante pertencentes a onze famílias de irmãos completos. É possível indicar genótipos promissores dos grupos I, XII, XIII, XIV, XV, XVI, XVII e XVIII, que apresentaram simultaneamente alta produção de matéria seca e altura, além de valores de números de perfilhos acima da média geral (21 perfilhos), características de grande importância para o capim-elefante para fins bioenergéticos (Rossi et al., 2014).

### 3.1.5 CONCLUSÕES

Considerando as diferentes avaliações de características morfoagronômicas, conclui-se que os indivíduos pertencentes às onze famílias de irmãos completos dispõem de variabilidade para as principais características relacionadas à produção de biomassa de capim-elefante para fins bioenergéticos.

Com relação às características que mais contribuíram para a discriminação dos acessos, a característica produção de matéria seca (PMS) apresentou a maior importância para a discriminação dos genótipos, seguida de altura de plantas (ALT) e diâmetro de colmo (DC) no CP1, sendo este o de maior importância, pois explicou 35,11% da variação total.

O Gráfico biplot destaca que as famílias 2 (com destaque para os indivíduos G064 e G061) e 7 (com destaque para o indivíduo G089) tiveram destaque para produção de matéria seca, além de relevante porcentagem de massa seca, atributo de suma importância para a queima.

O dendrograma obtido permitiu a distinção dos indivíduos em 20 grupos. Oito grupos apresentaram simultaneamente alta produção de matéria seca e altura, além de valores de números de perfilhos acima da média geral, o que indica potencial para a seleção de genótipos superiores.

## **3.2 SELEÇÃO DE FAMÍLIAS DE IRMÃOS COMPLETOS DE CAPIM-ELEFANTE VIA MODELOS MISTOS**

### **3.2.1 INTRODUÇÃO**

Ao longo das décadas, é possível constatar a crescente demanda energética mundial. Portanto, o *Energy Information Administration* (EIA) (2020) projeta que até 2050 essa demanda crescerá 3,1% ao ano. O EIA declarou que até 2050, 38% das fontes de energia podem se tornar renováveis, destacando as energias de fonte solar e eólica. No entanto, os dados recentes dessa pesquisa indicaram que 80% da matriz de energia de consumo global ainda é composta por fontes não renováveis.

A crescente preocupação com pautas relacionadas à energia renovável e ao desenvolvimento sustentável levou a frequentes organizações de conferências internacionais voltadas para elaboração de acordos multilaterais, visando ao comprometimento de as nações reduzirem as emissões de gases poluentes. Desse modo, os objetivos de desenvolvimento se transformaram ao longo dos anos, estando mais voltados às questões ambientais (TOMISLAV, 2018).

Neste contexto, novas estratégias, ações e agendas globais foram desenvolvidas pela ONU, no intuito de fortalecer, conscientizar e concretizar o desenvolvimento sustentável em caráter global. No ano de 2015, chefes de Estado e de Governo e altos representantes, reunidos na sede das Nações

Unidas em Nova York (EUA), criaram a Agenda 2030, delineando novos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), com a finalidade de guiar a economia mundial, o bem-estar e a diplomacia para as próximas gerações. Uma das medidas contra as mudanças climáticas é a adoção de energia limpa e acessível pelos países (ONU, 2015). Desta forma, com a utilização do capim-elefante para fins energéticos, será possível o uso de energia renovável para amenizar o impacto causado pela emissão de gás carbônico em razão do uso de combustíveis fósseis e seus derivados, que acabam contribuindo para a poluição e o desequilíbrio do meio ambiente.

Neste sentido, o capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) recentemente tem despertado o interesse de grandes empresas do setor energético. O capim-elefante é uma poácea perene, muito utilizada na alimentação de animais, como, por exemplo, rebanhos de gado leiteiro e de corte (Moreira et al., 2008; Scheider et al., 2018). Seu uso como fonte energética está relacionado à sua alta produção de matéria seca de 46,2 t. ha<sup>1</sup> ano<sup>1</sup> (Azevedo et al., 2012), valor calorífico de 3.898,24 kcal.kg<sup>-1</sup> (Rossi et al., 2014) e produção de biocombustível (percentual de celulose de 38,50%) (Rengsirikul et al., 2011; Yasuda et al., 2014).

Além disso, é altamente eficiente na fixação do CO<sub>2</sub> da atmosfera e apresenta vantagens como cultura energética em razão do seu rápido crescimento, resistência a doenças, adaptabilidade, poucos tratamentos culturais e fácil propagação (Rossi et al., 2014). O capim-elefante é uma espécie com grande poder fotossintético (metabolismo C4) e alta capacidade de acumulação de matéria seca, que o tornam comparável à cana-de-açúcar (Daher et al., 2014). Dessa forma, fica evidente que seus atributos o qualificam como uma boa opção para a matriz energética brasileira.

Nessa conjuntura, a Universidade Estadual do Norte do Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) há cerca de 10 anos iniciou um programa de melhoramento genético de capim-elefante com o objetivo de identificar genótipos com potencial de uso para biomassa, e esse trabalho vem obtendo resultados promissores na avaliação e seleção de genótipos superiores. O programa teve início com uma caracterização morfológica e molecular (de Lima et al., 2011; Oliveira et al., 2014) e, posteriormente, com cruzamento (Silva et al., 2014; Menezes et al., 2015, 2016) de genótipos do banco de germoplasma de capim-elefante da UENF.

Na busca por genótipos cada vez mais qualificados e produtivos, a utilização de técnicas adequadas para a seleção permite a maximização dos ganhos que serão gerenciados mais eficientemente pelos programas de melhoramento (Cruz e Carneiro, 2014). O ganho genético pela seleção de famílias seguido pela seleção individual de clones é maior do que o ganho com a simples seleção de clones ou de famílias (Oliveira et al., 2008). Neste contexto, a seleção entre e dentro surge como opção. A seleção entre e dentro de famílias é uma alternativa interessante, pois seleciona tanto as melhores famílias quanto os melhores indivíduos dentro das famílias (Cruz e Carneiro, 2014).

Nesse contexto, a utilização de modelos mistos para análises de dados tem sido de grande aplicabilidade na seleção de genótipos superiores (Laviola et al., 2010). Esses modelos permitem a estimação de componentes de variância e a predição dos valores genéticos via máxima verossimilhança restrita (REML) e melhor preditor linear não viciado (BLUP), respectivamente (Duarte e Vencovsky, 2001; Rodrigues et al., 2013; Viana e Rezende, 2014). Com isso, esses modelos contemplam simultaneamente as informações de família e de indivíduo com elevados valores genotípicos, em que haveria maior probabilidade de seleção de clones potenciais (Xavier et al., 2014).

Os modelos mistos têm sido empregados com sucesso em diversas espécies perenes como *Pennisetum purpureum Schumach* (Menezes et al., 2016; Rodrigues et al., 2017; Stida et al., 2018; Silva et al., 2020), *Brachiaria humidicola* (Figueiredo et al., 2012), *Panicum maximum* (Braz et al., 2013), *Saccharum officinarum* (Oliveira et al., 2008; Pedrozo et al., 2009; Lucius et al., 2014); Eucalyptus (Rosado et al., 2012; Miranda et al., 2015) e *Coffea arabica* (Rodrigues et al., 2013; Carias et al., 2016), podendo também ser aplicados a espécies florestais como pupunheira (Farias Neto et al., 2008) e a espécies frutíferas como maracujazeiro-azedo (Ferreira et al., 2016; Assunção et al., 2015) e mamoeiro (Vivas et al., 2014; Ramos et al., 2014).

Diante do exposto, o presente estudo tem por objetivo fazer a estimação de componentes de variância e predizer ganhos genéticos em 11 famílias de irmãos completos de capim-elefante para fins bioenergéticos via Modelos Mistos (REML/BLUP).

## 3.2.2 REVISÃO

### 3.2.2.1 Melhoramento genético de capim elefante

A hibridação em capim-elefante é a melhor forma de obtenção de clones superiores, sendo que a escolha dos genitores deve ser feita com base na complementariedade alélica e na divergência genética. Com isto, por meio do melhoramento genético, é possível proporcionar aos agricultores cultivares adequadas para diferentes sistemas de utilização e ambientes (Souza Sobrinho et al., 2005).

Neste contexto, os programas de melhoramento de capim-elefante estão, em sua maioria, direcionados para as características agrônômicas de produção de matéria seca, maior produtividade, resistência à estiagem e a pragas, menor exigência em fertilizantes e desenvolvimento de cultivares precoces e tardias de certas variedades (Mazzarella, 2011). Os programas também estão voltados para a obtenção de genótipos superiores, que serão sustentados por propagação vegetativa, resultando em uma população superior à original (Pereira et al., 2008). Dessa forma, seu melhoramento pode ser dirigido para a obtenção de genótipos, teste de progênie e seleção clonal (Rocha et al., 2015).

Os vários estudos com capim-elefante revelam a necessidade de genótipos de capim-elefante adaptados a diferentes ecossistemas (Souza Sobrinho et al., 2005). O melhoramento com base no vigor híbrido permite fixar determinado genótipo e depois multiplicá-lo via propagação vegetativa (Pereira et al., 2006). Pesquisas desenvolvidas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) objetivando encontrar genótipos com características desejáveis para futuros programas de melhoramento de capim-elefante para fins energéticos têm alcançado bons resultados. A Embrapa Agroenergia é uma das unidades que participam desse projeto, caracterizando a biomassa dos acessos preselecionados, em parceria com o Laboratório Multiusuário de Química de Produtos Naturais da Embrapa Agroindústria Tropical. Utilizando ressonância magnética nuclear, eles investigam não apenas a composição, mas também a estrutura química dos materiais (Chies, 2015).

O capim-elefante tem boas propriedades para uso energético, incluindo baixo teor de cinzas, altas relações carbono/nitrogênio no colmo e altos teores de carbono e hidrogênio (Paterlini, et al., 2013). A produção de biomassa é positivamente correlacionada com o teor de fibras (Rossi et al., 2014). É desejável a seleção de materiais que tenham alta produtividade e alto teor de fibras, mas baixo teor de cinzas. Isso porque materiais com maiores teores de cinzas produzem mais voláteis a altas temperaturas, podendo inviabilizar sua utilização para finalidade energética (Flores et al., 2013).

Pereira (1993), considerando as principais características morfológicas e agronômicas, definiu grupos de capins elefantes como relação aos tipos básicos: a) Grupo Anão: cultivares mais adaptadas para pastejo em função do menor comprimento dos entrenós. As plantas desse grupo apresentam porte baixo (1,5 m) e elevada relação lâmina foliar colmo. Um exemplo é a cultivar Mott; b) Grupo Cameroon: representado por plantas de porte ereto, colmos grossos, predominância de perfilhos basilares, folhas largas, florescimento tardio (maio a julho) ou ausente, e touceiras densas. Têm-se como exemplo as cultivares Cameroon, Piracicaba, Vruckwona e Guaçu; c) Grupo Mercker: caracterizado por apresentar plantas de menor porte, colmos finos, folhas finas, menores e mais numerosas e época de florescimento precoce (março a abril). As cultivares Mercker, Mercker comum, Mercker Pinda fazem parte deste grupo; d) Grupo Napier: as cultivares deste grupo apresentam variedades de plantas com colmos grossos, folhas largas, época de florescimento intermediária (abril a maio) e touceiras abertas. Como exemplares, são citadas as cultivares Napier, Mineiro e Taiwan A-146. e) Grupo dos Híbridos: resultante do cruzamento entre espécies de *Pennisetum*, principalmente *P. purpureum* e *P. americanum*.

A identificação das cultivares é importante por permitir uma recomendação mais próxima da correta para o manejo e o sistema de utilização. Apenas onze materiais oriundos de programas de melhoramento estão registradas no Registro Nacional de Cultivares do Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Quatro delas foram desenvolvidas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) (BRS Canará, BRS Kurumi, BRS Capiáçu, BRS Coronel), seis pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI) (Empasc 305, Empasc 306, Empasc 307,

Empasc 308, Empasc 309 e Empasc 310) e uma da empresa Atlântica sementes S.A (Atlantica 25) (Brasil, 2021).

### **3.2.2.2 Melhoria genética de capim-elefante da UENF para fins bioenergéticos**

A Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) tem desenvolvido pesquisas com o capim-elefante entre seus estudos e a obtenção de genótipos superiores para a produção de bioenergia tem alcançado bons resultados. As primeiras pesquisas tiveram início em 2010, quando Lima et al. (2011) fizeram um estudo da diversidade genética com 46 clones de capim-elefante do Banco Ativo de Germoplasma de Capim-Elefante (BAGCE) CCTA/UENF, tendo como objetivo caracterizar molecularmente os acessos e identificar possíveis duplicatas. Os resultados indicaram alta variabilidade entre os acessos, evidenciando ausência de duplicatas.

Posteriormente, conduzindo estudos de pré-melhoramento no Banco Ativo de Germoplasma de Capim-Elefante (BAGCE) CCTA/UENF, Oliveira et al. (2014) avaliaram 85 genótipos com o objetivo de estimar a diversidade e identificar genótipos promissores. Ao concluir este estudo, foram identificados 20 genótipos elite e formados 25 grupos heteróticos, demonstrando a alta variabilidade presente no banco.

Em seguida, Oliveira et al. (2017) também avaliaram a diversidade genética do Banco Ativo de Germoplasma de Capim-elefante (BAGCE) CCTA/UENF, tendo com objetivo estimar a diversidade genética entre 85 genótipos de capim-elefante. Neste estudo, por meio de caracteres morfológicos quantitativos e multivariados, foi possível comprovar a existência de variabilidade entre os acessos de *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone, avaliados no banco ativo de germoplasma, tendo a análise de agrupamento possibilitado a orientação de cruzamentos envolvendo 10 grupos heteróticos.

Rodrigues et al. (2017) e, posteriormente, Vidal et al. (2019) utilizaram dez genótipos de capim-elefante previamente selecionados com base em estudos para produção de biomassa (Oliveira et al., 2014), inserindo mais algumas características como florescimento tardio, produção de matéria seca, diâmetro do colmo, número de perfilhos e distância genética (Lima et al., 2011; Oliveira et al.,

2017). Esses autores fizeram cruzamentos controlados em delineamento genético dialelo circulante para obtenção de uma população com o objetivo de selecionar híbridos de capim-elefante via modelos mistos (REML/BLUP) para produção de bioenergia.

Silva et al. (2020), seguido por Cassaro (2018), também desenvolveram estudos tendo como início cruzamentos dirigidos entre acessos de capim-elefante para obtenção das combinações híbridas entre genótipos superiores. Nos dois trabalhos, foram encontrados, a partir dos cruzamentos dialélicos, combinações híbridas que superaram os genitores. Os híbridos mais promissores encontrados em ambos os trabalhos estão compondo o primeiro ensaio de Valor de Cultivo de Uso (VCU) do programa de melhoramento do capim-elefante para fins energéticos da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF).

### **3.2.2.3 Seleção de genótipos via modelos mistos (REML/BLUP)**

Nos programas de melhoramento genético, é necessária a utilização de metodologias específicas que traduzam fielmente a herdabilidade dos genitores a serem selecionados, resultando em plantas sucessoras produtivas. Para tanto, a adoção de métodos precisos de seleção, além da variabilidade genética, é muito importante (Resende et al., 2000).

Deste modo, espécies vegetais perenes como o capim-elefante apresentam aspectos biológicos peculiares como ciclo reprodutivo longo, elevada oscilação na produção anual, entre outros. Em termos de melhoramento genético, essas particularidades levam a consequências como utilização do material genético selecionado para produção comercial por muitos anos, o que demanda rigor e precisão nos métodos de seleção, uso de avaliações repetidas em cada indivíduo ao longo do tempo e redução na taxa de sobrevivência dos experimentos durante sua vida útil, fato que tende a gerar dados desbalanceados para uso na estimação de parâmetros genéticos e na predição dos valores genéticos aditivos e genotípicos (Viana e Resende, 2014)

Uma alternativa para seleção de plantas perenes é a metodologia REML/BLUP, que permite gerar estimativas não tendenciosas de parâmetros pelo Método da Máxima Verossimilhança Restrita (REML) e predição dos valores genéticos e genotípicos pelo procedimento do melhor preditor linear não viciado

(BLUP), conduzindo à maximização do ganho genético, por avaliar e ordenar os candidatos à seleção com precisão. (Viana e Resende, 2014).

A metodologia dos modelos mistos, desenvolvida por Henderson (1973), contém efeitos de natureza fixa e aleatória. Outra grande vantagem desses modelos é que eles consideram a covariância genética entre as observações e ponderam os genótipos com diferentes números de informações na mesma ou em diferentes gerações (Resende et al., 2000). No modelo misto, os blocos, os ambientes podem ser considerados efeitos fixos, mas que interferem nos efeitos aleatórios ou genéticos.

Mediante ao exposto, vale destacar alguns trabalhos que utilizaram os modelos mistos na seleção de genótipos superiores de capim-elefante. Menezes et al. (2016) utilizaram a metodologia de modelos mistos (REML/BLUP) para selecionar genótipos de capim-elefante com base na produção de matéria seca (PMS). Eles avaliaram 25 híbridos de capim-elefante obtidos em esquema de dialelo parcial e mais onze genitores. Constataram grande influência da variância ambiental na variância fenotípica para as características largura de folha, comprimento de folha, diâmetro do colmo e número de perfilhos, ao contrário do que ocorreu para as características porcentagem de massa seca e produção de matéria seca, em que foi verificada grande influência da variância genotípica na variância fenotípica. Através dos valores genotípicos e ganhos genéticos para produção de matéria seca, foram selecionados os genótipos H4 (Cubano Pinda x Taiwan A-144), H16 (IAC- Campinas x Mercker), H17 (IAC-Campinas x Três Rios), P1 (Cubano Pinda), P4 (IAC-Campinas), H22 (Guaçu/IZ.2 x Três Rios), H25 (Guaçu / IZ.2 x Roxo) e G (Capim Cana D'África), tendo sido estes os melhores genótipos para fins bioenergéticos.

O trabalho desenvolvido por Rodrigues et al. (2017) teve como objetivo selecionar famílias de irmãos completos e progênies de capim-elefante para produção de bioenergia via modelos mistos (REML / BLUP). Dessa forma, foram avaliados 15 genótipos obtidos por meio de dialelo circulante, sendo que os 10 genótipos usados como pais para obtenção das famílias foram previamente selecionados com base em estudos sobre potencial de produção de biomassa. A seleção das famílias com base no valor genotípico do cruzamento permitiu selecionar um número maior de indivíduos promissores para as características de interesse. Assim, famílias apresentando valor genotípico acima da média foram

selecionadas para cada característica. Neste sentido, a variável número de perfilhos reuniu o maior número de famílias, a saber: Camarões x Cuba-11, Camarões x Guaçu / IZ2, Capim Cana D'África x Guaçu/ IZ2, CPAC x Cuba-115, Capim Cana D'África x Cuba-115, IAC-Campinas x IJ 7139 e IAC-Campinas x Guaçu / IZ2, levando em consideração dois cortes de avaliação. Houve prevalência de efeitos genéticos de dominância para todas as características. Vale ressaltar que todos os indivíduos selecionados apresentaram média genotípica predita superior. Utilizando a estratégia de seleção de família via modelos mistos, foi possível identificar de forma eficiente as famílias que mostraram altos valores genotípicos, bem como as famílias com probabilidade significativa de manter o potencial de clones de capim-elefante para fins bioenergéticos.

Stida et al. (2018) desenvolveram um estudo com o objetivo de estimar parâmetros genéticos para a seleção de genótipos superiores de capim-elefante para produção de forragem por meio da avaliação da produção de massa seca via modelos mistos. Para este trabalho, foram avaliados 80 acessos presentes no banco ativo de germoplasma da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Foram avaliados 5 cortes: dois cortes em estação de seca e 3 cortes em estação das águas. Os genótipos discutidos neste trabalho têm ampla variabilidade genética para a característica avaliada. Os genótipos 7 (Gigante de Pinda), 25 (Elefante de Pinda), 41 (Gramafante), 43 (Guaçú/I.Z.2), 57 (IJ7125 cv. EMPASC309), 58 (IJ7125 cv. EMPASC307), 62 (CAC-262), 64 (Australiano), 68 (Pasto Panamá) e 77 (02 AD IRI) se destacaram entre os demais por apresentarem ótimos ganhos genéticos para produção de MS em ambos os períodos de análise. As estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos revelaram a possibilidade de sucesso com a seleção de genótipos superiores para o progresso do programa de melhoramento.

Silva et al. (2020), objetivando estimar os componentes de variância e parâmetros genéticos, além de prever valores genéticos via modelos mistos em famílias de irmãos completos de capim-elefante, selecionaram famílias e indivíduos de irmãos completos de capim-elefante para fins bioenergéticos. Para este trabalho, oito acessos de capim-elefante pertencentes ao banco de germoplasma da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, anteriormente selecionados para floração tardia, alta produção de matéria seca e

maior diâmetro do caule, foram usados como genitores femininos (IJ7139, CPAC e IAC-Campinas) genitores masculinos (Camarões, Cubano Pinda, BAG-86, Capim Cana D'Africa e Vrukwna). Após os cruzamentos, foram obtidas 8 famílias. As características de produção de matéria seca, número de perfilhos, altura de planta e porcentagem de fibra em detergente neutro foram eficazes para identificar famílias e indivíduos com altos valores genotípicos para produtividade e qualidade da biomassa. Os autores destacaram que o acúmulo de conhecimento sobre os parâmetros e os ganhos genéticos associados a essas características em famílias de irmãos completos de capim-elefante podem permitir o estabelecimento de estratégias de melhoramento com o objetivo de desenvolver cultivares superiores para macrorregiões, cujas condições ambientais são relativamente uniformes, como no Norte e Noroeste do estado do Rio de Janeiro, Brasil.

### **3.2.3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.2.3.1 Material genético**

Foram feitos cruzamentos dirigidos entre acessos de capim-elefante para obtenção das combinações entre genótipos promissores de famílias de irmãos completos. Vinte acessos de capim-elefante pertencentes ao Banco de germoplasma da Universidade Estadual do Norte Fluminense-UENF formaram a base para a escolha dos genitores femininos e masculinos. Estes acessos foram selecionados com base em estudos para potencial de produção de biomassa (Oliveira et al., 2013, Rocha et al., 2015) e em estudos de diversidade genética (Lima et al., 2011).

Os cruzamentos manuais foram dirigidos de modo que os grãos de pólen dos genótipos de capim-elefante (genitor masculino) fossem coletados em sacos de papel, sendo então levados aos genótipos genitores femininos no momento em que suas inflorescências, devidamente protegidas com saco de papel, apresentassem os estigmas receptivos. Os cruzamentos foram efetuados no horário entre 8 e 10 horas.

Após o cruzamento manual entre genitores, foram obtidas 11 famílias de irmãos completos (Tabela 4). As sementes foram recolhidas dos genótipos e a semeadura feita em bandejas de isopor com 128 células, preenchidas com substrato florestal. O transplântio das plântulas para o campo foi feito quando elas atingiram 20 cm de altura, cerca de 40 dias após a germinação.

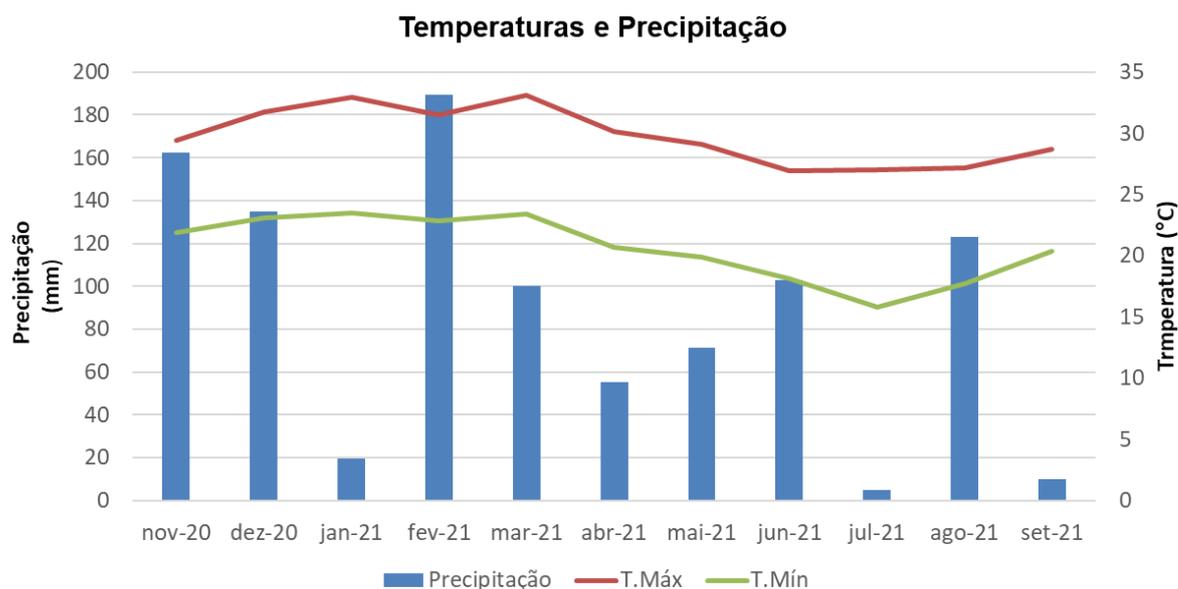
**Tabela 4** - Famílias de irmãos completos obtidas de cruzamentos dirigidos.

Famílias		Cruzamentos		
1	Três Rios (G11)	♀	X ♂	IJ 7136 cv EMPASC 307 (G09)
2	Australiano 903-77 (G08)	♀	X ♂	Cuba-115 (G05)
3	CAC-262 (G06)	♀	X ♂	Gigante de Pinda (G02)
4	Cuba-115 (G05)	♀	X ♂	King Grass (G18)
5	King Grass (G18)	♀	X ♂	Gigante de Pinda (G02)
6	Gigante de Pinda (G02)	♀	X ♂	P241 Piracicaba (G13)
7	King Grass (G18)	♀	X ♂	P241 Piracicaba (G13)
8	CAC-262 (G06)	♀	X ♂	Cuba-115 (G05)
9	Gramafante (G10)	♀	X ♂	Três Rios (G11)
10	Gramafante (G15)	♀	X ♂	Australiano 903-77 (G08)
11	Napierzinho (G20)	♀	X ♂	Gigante de Pinda (G02)

### 3.2.3.2 Local de instalação e delineamento experimental

No dia 18 de novembro de 2021, o experimento foi instalado na Estação Experimental do Centro Estadual de Pesquisas em Agroenergia e Aproveitamento de Resíduos (PESAGRO-RIO), situada a 21° 19' 23" Sul e 41° 19' 40" Oeste, numa altitude média de 25 m, município de Campos dos Goytacazes, região Norte do Estado do Rio de Janeiro.

O clima da região Norte Fluminense é do tipo Aw, tropical quente e úmido, com período seco no inverno e chuvoso no verão (Köppen, 1948), com precipitação anual média em torno de 1.053mm. A Figura 6 mostra a temperatura e as precipitações ocorridas em cada mês durante a vigência do experimento.



**Figura 6** - Temperaturas e precipitação ocorridas durante a vigência do experimento de capim-elefante. Campos dos Goytacazes, 2019-2021.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, com quatro repetições, sendo cada bloco composto de onze famílias de irmãos completos (FIC). A parcela foi composta por cinco plantas espaçadas de 1 m entre e dentro das linhas.

De acordo com a análise química do solo e com o manual de adubação do Estado do Rio de Janeiro – RJ (Almeida et al., 1988), foi feita a adubação no plantio com  $100 \text{ kg.ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  (superfosfato simples). Após o segundo mês de crescimento, foi feita adubação de cobertura, utilizando  $25 \text{ kg.ha}^{-1}$  de N (sulfato de amônio) e  $25 \text{ kg.ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  (cloreto de potássio).

### 3.2.3.3 Características morfoagrômicas avaliadas

Foi feito um corte de avaliação após 10 meses de crescimento quando a produtividade de biomassa é mais elevada (Freitas, 2018). Foram mensuradas características morfoagrômicas em famílias de irmãos completos na avaliação do corte aos 10 meses de crescimento (Freitas et al., 2000; Rossi et al., 2014), conforme descrição a seguir:

**A) Altura das plantas (ALT)**

Foram tomadas as medidas das cinco plantas de cada parcela, obtidas pela medição com régua graduada e expressa em metros.

**B) Diâmetro do colmo (DC)**

Utilizando um paquímetro digital, foram medidos os diâmetros do colmo das cinco plantas de cada parcela, cerca de 10 cm do solo, e os resultados expressos em centímetros.

**C) Número de perfilhos por metro linear (NP)**

Foi feito pela contagem individual do número de perfilhos nas cinco plantas dentro da parcela.

**D) Produção de matéria seca (PMS)**

Em  $t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ : foi estimada pelo produto do peso da matéria verde das plantas integrais (kg), obtido em balança digital suspensa, provenientes de cada área útil ( $1m^2$ ), pela percentagem de matéria seca (%MS) obtida de amostragem destas plantas.

Foram pesados ainda, na área experimental, os perfilhos provenientes das cinco plantas individuais. Após a pesagem, foram coletadas amostras de dois perfilhos, os perfilhos foram passados em picadeira e embalados em sacos de papel. Os materiais (folhas e colmos) de cada parcela pesados e devidamente identificados foram submetidos à secagem em estufa de ventilação forçada, a  $65^{\circ}C$  por 72 horas, segundo a metodologia descrita por Silva e Queiroz (2002), tendo o resultado sido expresso em  $t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ .

Em seguida, as amostras foram novamente pesadas para obtenção da amostra seca ao ar (ASA), segundo metodologia descrita por Silva e Queiroz (2002). O material seco (folha e colmo) foi moído em moinho tipo Willey com peneira de 1 mm e acondicionado em sacos plásticos para determinação da amostra seca em estufa (ASE). Para a determinação da ASE, 2 g de cada material moído foram mantidos em estufa a  $105^{\circ}C$  por 12 horas e, posteriormente, novamente pesados, segundo metodologia descrita por Silva e Queiroz (2002). A partir disso, foi obtida a seguinte variável:

**E) Porcentagem de massa seca (%MS)**

Obtida pela multiplicação dos valores da amostra seca ao ar e da amostra seca em estufa.

### 3.2.3.4 Análise de Deviance e Teste da Razão da Verossimilhança (LTR) via modelos mistos

Para a análise das observações, foram feitas análise de deviance e teste da razão da verossimilhança (LTR), conforme descrito por Resende (2006), em que os modelos biométricos são adequados para avaliação em progênies de irmãos completos em espécies de sistema reprodutivo de plantas alógamas. De acordo com modelo descrito em Viana e Resende (2014), a análise de deviance é obtida da seguinte forma:

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

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

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:

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

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, 2006), 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).

Para este estudo, foi adotado o Modelo 147, proposto por Resende (2006) pelo seguinte modelo:

$$Y = X_r + Z_g + W_p + e$$

Em que  $y$  = é o vetor de dados;  $r$  = é o vetor dos efeitos de repetição (assumidos como fixos) somados à média geral;  $g$  = é o vetor dos efeitos genéticos aditivos individuais (assumidos como aleatórios);  $p$  = é o vetor dos efeitos de parcela; e  $e$  = é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios). As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.

Os seguintes componentes de variância foram estimados:  $V_g$ : variância genotípica entre progênes de irmãos germanos, equivalendo a (1/2) da variância genética aditiva mais (1/4) da variância genética de dominância, ignorando-se a epistasia;  $V_{\text{parc}}$ : variância ambiental entre parcelas;  $V_{\text{dentro}}$ : variância residual dentro de parcela;  $V_f$ : variância fenotípica individual;  $h^2_a = h^2$ : herdabilidade individual no sentido restrito, obtida ignorando a fração (1/4) da variância genética de dominância;  $c^2_{\text{parc}} = c^2$ : coeficiente de determinação dos efeitos de parcela;  $h^2_{\text{mp}}$ : herdabilidade da média de progênes, assumindo dominância completa;  $Ac_{\text{prog}}$ : acurácia da seleção de progênes, assumindo sobrevivência completa; e  $h^2_{\text{ad}}$ : herdabilidade aditiva dentro de parcela, obtida ignorando a fração (1/4) da variância genética de dominância.

As soluções para as equações de modelos mistos foram obtidas por métodos iterativos de resolução de sistemas de equações lineares de acordo com Resende (2000), da seguinte forma:

- ✓ Herdabilidade individual no sentido restrito no bloco;  $h^2 = \frac{\sigma_a^2}{\sigma_a^2 + \sigma_e^2}$
- ✓ Variância genética aditiva;  $\sigma_a^2 = \frac{([\bar{a}]' A_a^{-1} + \sigma_e^2 \text{tr}(A^{-1} C^{22}))}{q}$
- ✓ Variância residual;

$$\sigma_e^2 = \frac{[y' y - \bar{b}' x' y - \hat{a}' Z' y]}{[N - R(x)]}$$

Em que:

- $\text{tr}$ : é o operador de traço;
- $r(x)$ : posto da matrix  $x$ ; e
- $N, q$ : Número total de dados e número total de indivíduos, respectivamente.
- $C^{22}$  advém de:

$$C^{-1} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} \end{bmatrix}$$

- $C$  : Matriz dos coeficientes das equações de modelos mistos.
- ✓ Estimador da variância do erro de predição dos valores genéticos.

$$PEV = Var(a - \hat{a}) = \frac{C^{22}}{\sigma_e^2} = \frac{1 - r_{\hat{a}a}^2}{\sigma_a^2}$$

- ✓ Acurácia da predição dos valores genéticos.

$$R_{\hat{a}a}^2 = \left[ 1 - \frac{PEV}{\sigma_a^2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

O software SELEGEN foi utilizado para a abordagem REML/BLUP (Resende, 2016). Os indivíduos foram ranqueados de acordo com os valores genotípicos encontrados. A partir destes valores, foi aplicada a seleção dos melhores genótipos das famílias para cada característica avaliada.

### 3.2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.2.4.1 Avaliação genética das 11 famílias de irmãos completos de capim-elefante via modelos mistos

Os resultados mostram existência de diferença significativa pelo teste de Qui-quadrado a 1% de probabilidade para efeito de genótipos para as características de Produção de Massa Seca (PMS), Número de Perfilho (NP) e Altura de plantas (ALT). Dessa forma, verifica-se a existência de variabilidade genética entre os genótipos avaliados para importantes características no melhoramento de capim-elefante para fins bioenergéticos, o que possibilita o sucesso na seleção de genótipos com base nestas características e uma boa precisão nas estimativas de componentes de variância (Tabela 5).

As características porcentagem de matéria seca e diâmetro do colmo não apresentaram efeito significativo de genótipos. Além disso, para efeito de parcela, não houve diferença significativa para as características avaliadas, exceto para

altura de planta, que apresentou significância a 1%. Deste modo, este resultado indica que há variabilidade genética significativa dentro da parcela para a característica altura de planta.

Ademais, vale destacar que, no capim-elefante, o principal caráter, ou seja, a produção de matéria seca, é determinada pela altura da planta, diâmetro do caule, número de perfilhos e teor de fibra. Portanto, os estudos feitos nesta cultura mostraram que o número de perfilhos é uma das características mais importantes na produção de matéria seca (Rossi et al., 2014; Stida et al., 2018).

Nos resultados dos componentes de variância, observa-se que a variância fenotípica individual foi desmembrada em variância genética entre famílias, variância ambiental entre parcelas e variância residual dentro de parcela (Tabela 6). As variâncias genéticas encontradas para as características estudadas são consideradas de baixa magnitude, entretanto foi constatado que as maiores contribuições da variância genética foram para as variáveis produção de matéria seca (25,18%) e número de perfilho (9,75%), indicando que as famílias avaliadas apresentam variabilidade genética em relação a esses caracteres. Portanto, o conhecimento da variância genotípica é muito importante para os programas de melhoramento, pois ela indica a amplitude de variação genética de uma característica, visando à possibilidade do seu melhoramento (Cruz et al., 2014). De acordo com essas informações, pode-se deduzir que há possibilidade de selecionar os genótipos que apresentam os maiores valores para essas características.

Ainda vale destacar que, por meio da metodologia dos modelos mistos REML/BLUP, utilizada neste estudo, é possível fazer a seleção baseada no valor genético predito, excluindo o efeito da interação ambiental (Viana e Resende 2014), sendo possível concluir que os ganhos genéticos associados, à seleção dessas características, mesmo com alta influência ambiental, serão altos em função da metodologia utilizada.

**Tabela 5** - 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 53 genótipos de capim-elefante. Campos dos Goytacazes, RJ, 2021.

Efeitos	PMS		%MS		NP		ALT		DC	
	Deviance	LRT	Deviance	LRT	Deviance	LRT	Deviance	LRT	Deviance	LRT
Genótipo	1190,22	13,89**	1043,92	0,20ns	1101,78	8,42**	-297,91	7,12**	-318,51	2,79ns
Parcela	1179,25	2,92ns	1046,3	2,57ns	1094,81	1,45ns	-297,02	8,01**	-319,89	1,41ns
Modelo completo	1176,33		1043,72		1093,36		-305,03		-321,3	

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

Por outro lado, as menores contribuições de variância genética estão relacionadas aos caracteres porcentagem de matéria seca, altura de planta e diâmetro do colmo, com valores de 0,77; 0,01 e 0,00, respectivamente (Tabela 6). Neste caso, é possível afirmar que os ganhos genéticos associados à seleção destes caracteres são baixos, pois a variância encontrada para estas características é de grande parte ambiental, resultando em valores de herdabilidade de baixa magnitude. De acordo com Cruz e Carneiro (2006), essa estimativa de variância genotípica possibilita identificar a variabilidade genética de uma população e avaliar a eficiência de diferentes estratégias de melhoramento para obtenção de ganhos genéticos e manutenção de uma base genética adequada.

Com relação à variância ambiental entre parcelas ( $V_{\text{parc}}$ ) e variância residual dentro de parcela ( $V_{\text{dentro}}$ ), são verificados, respectivamente, os seguintes valores para as características produção de matéria seca (7,69; 67,13), porcentagem de matéria seca (4,15; 39,18) e número de perfilho (3,64; 47,65). Deste modo, observa-se que, para todas as características, a contribuição da variação residual dentro de parcela ( $V_{\text{dentro}}$ ) foi superior à variância ambiental entre as parcelas ( $V_{\text{parc}}$ ). A variação ambiental tem uma propriedade referencial sobre o nível de precisão com o qual o experimento foi conduzido. No que se refere aos atributos governados por vários complexos gênicos, eles são muito influenciados pelas condições ambientais e, via de regra, altas magnitudes de variância ambiental são confirmadas pelos valores superiores em relação aos demais componentes de variância, com destaque para a variância genotípica entre as famílias (Tabela 6), o que gera dificuldades de seleção e, com isso, demanda métodos estatísticos mais refinados e apurados para essa finalidade (Yokomizo et al., 2017). Entretanto a variância ambiental dentro das parcelas depende de alguns fatores, e a maioria deles pode ser manuseada pelos melhoristas. Entre eles, podem-se destacar a melhor distribuição das sementes, dos fertilizantes, das adubações e o controle adequado da irrigação (Moreto et al., 2007). Esse melhor manejo certamente deverá melhorar a precisão experimental e o sucesso com a seleção.

O coeficiente de determinação dos efeitos de parcela ( $C^2_{\text{parc}}$ ) foi de baixa magnitude, com exceção da característica altura de planta (15%) (Tabela 6). O

$C^2_{\text{parc}}$  quantifica a variabilidade das parcelas dentro dos blocos, sendo que estimativas até 10% não chegam a interferir na estimativa dos parâmetros genéticos (Resende, 2002). De acordo com Sturion e Resende (2004), valores altos de  $C^2$  indicam alta variabilidade entre parcelas dentro de blocos e alta correlação ambiental entre observações dentro de parcelas. As estimativas da maioria das variáveis que apresentaram menores valores revelam que pequena variação ambiental permaneceu dentro das parcelas, indicando uma baixa variabilidade ambiental entre parcelas dentro de bloco e que o delineamento experimental utilizado foi eficiente no que concerne aos objetivos propostos pelas análises.

Os coeficientes de herdabilidade com base na média das famílias ( $h^2_{\text{mp}}$ ) variaram de 0,20 a 0,82, sendo que a produção de matéria seca (0,82) e Número de perfilho (0,74) apresentaram os maiores valores para esta estimativa. Ao analisar os coeficientes de herdabilidade individual total ( $h^2_a$ ), verifica-se que eles foram bem menores do que a herdabilidade com base nas médias de famílias. De acordo com Resende (2002), em geral, herdabilidades individuais de baixa magnitude são comuns para caracteres quantitativos e, via de regra, conduzem a moderadas magnitudes das herdabilidades em nível de médias de progênies.

É importante ressaltar que valores elevados da herdabilidade média de progênies sugerem alto progresso genético em resposta à seleção usando a informação das progênies, indicando boa possibilidade de ganho ao programa de melhoramento de capim-elefante para fins bioenergéticos, pois o progresso esperado pela seleção depende diretamente da herdabilidade. Deste modo, vale destacar que a seleção com base nas médias das famílias pode ser mais eficiente do que dentro de famílias. Entretanto a seleção entre e dentro de famílias pode ser feita para utilizar toda a variabilidade existente na população, dessa forma, potencializam-se os ganhos genéticos. A herdabilidade no estudo genético do caráter tem seu papel preditivo, expressando a confiabilidade com que o valor fenotípico representa o valor genético (Silva et al., 2013). Seu valor pode aumentar pela introdução de maior variação genética na população, como também na melhoria das condições experimentais, objetivando reduzir a contribuição da variação ambiental para a variação fenotípica total.

A qualidade da avaliação genotípica deve ser inferida preferencialmente com base na acurácia. Segundo Resende e Duarte (2007), os valores de acurácia seletiva ( $AC_{prog}$ ) variam de muito alta a baixa em magnitude como observado neste estudo, em que os valores estão entre 0,90 a 0,45. Apenas a característica porcentagem de massa seca apresentou magnitude inferior a 0,70. As maiores estimativas são observadas nas características produção de matéria seca (0,90), Número de perfilho (0,86).

Segundo Resende e Duarte (2007), acurácia acima de 90% só é possível para caracteres com alta herdabilidade, e valores de acurácia maiores que 0,70 são suficientes para propiciar uma inferência precisa sobre o valor genético das progênes. Por ser uma medida associada à precisão na seleção, a acurácia é o principal elemento do progresso genético, que pode ser alterado pelo homem visando a maximizar o ganho genético (Resende, 2002).

**Tabela 6** - Componentes de variância obtidos pelo REML individual 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 famílias de irmãos completos de capim-elefante. Campos de Goytacazes, RJ, 2021.

CV	PMS (t.ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	% MS	NP (perfilho)	ALT (m)	DC (mm)
$V_g$	25,1881	0,7721	9,7575	0,0185	0,0060
$V_{parc}$	7,6916	4,1585	3,6447	0,0146	0,0052
$V_{dentro}$	67,1391	39,1893	47,6540	0,0640	0,0700
$V_f$	100,0189	44,1200	61,0563	0,0972	0,0813
$h^2_a$	0,5036	0,0350	0,3196	0,3814	0,1484
$C^2_{parc}$	0,0769	0,0942	0,0596	0,1504	0,0649
$h^2_{mp}$	0,8267	0,2047	0,7476	0,7299	0,5560
$AC_{prog}$	0,9092	0,4524	0,8646	0,8543	0,7456
$h^2_{ad}$	0,3751	0,0197	0,2047	0,2895	0,0862
Média Geral	27,0530	30,6318	21,2727	2,6578	1,1646

$V_g$ : variância genotípica entre progênes de irmãos germanos,  $V_{parc}$ : variância ambiental entre parcelas.  $V_{dentro}$ : variância residual dentro de parcela.  $V_f$ : variância fenotípica individual.  $h^2_a = h^2$ : herdabilidade individual no sentido restrito,  $C^2_{parc} = C^2$ : coeficiente de determinação dos efeitos de parcela.  $h^2_{mp}$ : herdabilidade da média de progênes, assumindo dominância completa.  $AC_{prog}$ : acurácia da seleção de progênes, assumindo sobrevivência completa,  $h^2_{ad}$ : herdabilidade aditiva dentro de parcela. Média geral do experimento.

A seleção de famílias com base no valor genotípico do cruzamento ( $V_{gc}$ ) possibilita selecionar maior número de indivíduos promissores para os caracteres de interesse. A identificação de famílias superiores, ou seja, cujos valores genotípicos são superiores às médias gerais, é importante para a identificação e a seleção de indivíduos promissores (Resende e Barbosa, 2006). Assim, para cada caráter, foi apresentado o valor genotípico das 11 famílias, visando a maximizar a probabilidade de selecionar indivíduos dentro das melhores famílias (Tabela 7).

Para o caráter número de perfilhos, observou-se superioridade das famílias 1, 2, 6, 7 e 8 (Tabela 7). O número de perfilho é importante em estudos visando ao aumento da produtividade de biomassa seca, pois há correlação de natureza genética alta para este caráter (Cunha et al., 2011).

Em relação ao caráter altura de plantas, a melhor família foi a 1, e as famílias 7, 6, 5 e 3 apresentaram predição de médias com valores bem próximos. Para diâmetro de colmo, as famílias com melhores médias foram 8, 6, 5, 7 e 2.

Entre os caracteres estudados neste trabalho, a produção de biomassa seca é a que tem maior importância quanto ao objetivo de aumentar a produção de bioenergia. Diante disso, os esforços são concentrados para selecionar o maior número de famílias superiores para produção de biomassa e, conseqüentemente, maior probabilidade de identificar indivíduos superiores para produção de bioenergia. Constatou-se que as melhores famílias para o caráter produção de massa seca foram 7, 2, 8, 1 e 5.

Alguns trabalhos, empregando a estratégia de seleção de famílias via REML/BLUP, têm sido reportados com êxito na cultura do capim-elefante com fins bioenergéticos (Menezes et al., 2016; Rodrigues et al., 2017; Silva et al., 2020). Silva et al. (2020) selecionaram plantas segregantes para clonagem de capim-elefante para a produção de energia via REML/BLUP. Neste estudo, foram avaliadas oito famílias de irmãos completos de capim-elefante e quantificados os caracteres altura das plantas, diâmetro do colmo, número de perfilhos produtividade de matéria seca, porcentagem de matéria seca, produção de matéria seca e porcentagem de fibra em detergente neutro. Com base nos resultados, foram selecionadas 18 plantas potenciais para produção de matéria seca, as quais apresentaram maior ganho para este caráter.

**Tabela 7** - Ordenamento, ganho predito e a nova média para as características produção de matéria seca (PMS), porcentagem de matéria seca (%MS), número de perfilhos (NP), altura (ALT) e diâmetro de colmo (DC) das 11 melhores famílias de irmãos completos de capim-elefante, Campos dos Goytacazes, RJ, 2021.

Ordem	PMS (t.ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )			% MS			NP (Perfilho)			ALT (m)			DC		
	Gen	Ganho (%)	Nova Média	Gen*	Ganho (%)	Nova Média	Gen*	Ganho (%)	Nova Média	Gen*	Ganho (%)	Nova Média	Gen*	Ganho (%)	Nova Média
1	7	6,99	34,05	2	0,52	31,16	1	3,42	24,69	8	0,20	2,86	8	0,06	1,23
2	2	6,36	33,42	8	0,46	31,09	2	3,29	24,56	7	0,14	2,79	6	0,06	1,22
3	8	6,12	33,18	3	0,41	31,05	6	2,87	24,14	6	0,11	2,77	5	0,05	1,22
4	1	4,92	31,97	6	0,37	31,01	7	2,51	23,78	5	0,10	2,76	7	0,05	1,21
5	5	3,91	30,96	10	0,33	30,96	8	2,16	23,43	3	0,08	2,74	2	0,04	1,21
6	6	3,15	30,21	7	0,29	30,92	10	1,90	23,17	9	0,07	2,73	3	0,04	1,20
7	3	2,59	29,64	1	0,23	30,86	9	1,63	22,90	2	0,06	2,72	1	0,03	1,20
8	9	1,85	28,91	5	0,18	30,81	3	1,35	22,62	4	0,05	2,70	10	0,02	1,19
9	4	1,25	28,31	9	0,13	30,76	5	0,99	22,26	10	0,03	2,69	9	0,01	1,18
10	10	0,71	27,76	4	0,08	30,71	11	0,47	21,74	1	0,02	2,68	4	0,01	1,17
11	11	0,00	27,05	11	0,00	30,63	4	0,00	21,27	11	0,00	2,65	11	0,00	1,16

A seleção de famílias aumenta a probabilidade de identificar indivíduos superiores, pois são selecionadas tanto as melhores famílias quanto os indivíduos superiores dentro de cada família (Cruz et al., 2012). Deste modo, foram ranqueados os indivíduos superiores, sendo apresentados o ganho genético (%) e a média genotípica predita. O *ranking* dos 30 melhores indivíduos foi feito com base na média genotípica predita (Tabela 8), que é o valor mais importante na obtenção de ganho na cultura do capim-elefante, por se tratar de uma espécie de propagação vegetativa.

No que se refere à seleção de genótipos para as características agronômicas avaliadas, foi possível obter ganhos relevantes na seleção para alguns caracteres via estimativas dos BLUPs individuais. A média dos 30 indivíduos selecionados foi superior à média geral em todas as características avaliadas. Destaca-se a média para produção de matéria seca de 37,93 t.ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, a porcentagem de massa seca foi de 31,21, número de perfilhos de 26,50, altura de planta de 2,93 m e diâmetro do colmo de 1,24 cm, enquanto a média geral para estas características foi, respectivamente, 27,05 t.ha<sup>-1</sup>, 30,63, 21,27, 2,65 m e 1,16 cm.

Deste modo, ao selecionar com base nessas características, é possível obter sucesso com a seleção pelo fato de elas estarem relacionadas à produção. Portanto, vale ressaltar que as características produção de matéria seca (10,87%) e número de perfilhos (5,22%) que obtiveram maiores ganhos genéticos preditos apresentam os maiores valores de variação genotípica e altos valores de estimativas de herdabilidade e acurácia seletiva, o que pode explicar os maiores ganhos genéticos. As características porcentagem de massa seca (0,58%) e diâmetro do colmo (0,07%) apresentaram ganhos de baixa magnitude (Tabela 8). Tal ocorrência se deve à baixa variabilidade genética encontrada dentro das famílias, podendo ser visualizada pela estimativa de herdabilidade individual.

As famílias 1, 2, 7 e 8 contribuíram com a maioria dos genótipos selecionados para as características avaliadas, indicando grande potencial produtivo dessas famílias (Tabela 8). No contexto do melhoramento, o melhor método de seleção será aquele que predisser ganhos satisfatórios nas características avaliadas. Os critérios de seleção, ao predizerem o ganho genético, possibilitam orientar de maneira efetiva programas de melhoramento e decidir qual esquema seletivo poderá ser adotado com sucesso (Cruz et al.,

2012), sendo possível verificar quais as melhores famílias e os melhores indivíduos dentro dessas famílias.

Analisando a amplitude das médias preditas para as características avaliadas, principalmente aquelas relacionadas à produção, nota-se que, para a característica produção de massa seca nos 30 indivíduos selecionados, a média variou de 42,09 a 35,77 t.ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, com ganhos genéticos de alta magnitude (15,04 a 8,71%). Os indivíduos selecionados apresentam produtividade relevante quando comparada a cultivares lançadas no mercado. A BRS Capiáçu é uma cultivar conhecida pela sua alta produtividade (49,75 t.ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>), outras cultivares de alta produtividade disponíveis são a Mineiro (36,79 t.ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) e a Cameroon (27,87 t.ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) (Neiva, 2016). Em relação ao número de perfilhos, observam-se valores médios de 28,50 a 25,53, com ganhos genéticos satisfatórios (7,23 a 4,25%). O número de perfilho é importante em estudos visando ao aumento da produtividade de biomassa seca, pois há correlação de natureza genética alta para este caráter (Cunha et al., 2011). Ressalta-se ainda que todos os indivíduos selecionados apresentaram média genotípica predita superior à média geral.

**Tabela 8** - Novas médias previstas e ganho genético estimados via REML/BLUP de 30 indivíduos provenientes de 11 famílias de irmãos completos de capim-elefante para as características produção de matéria seca (PMS), porcentagem de matéria seca (%MS), número de perfilhos (NP), altura (ALT) e diâmetro de colmo (DC) dos 30 melhores indivíduos, Campos dos Goytacazes, RJ, 2021.

Ordem	PMS (t.ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )			% MS			NP (Perfilho)			ALT (m)			DC (cm)		
	Ind*	Ganho (%)	Nova Média	Ind*	Ganho (%)	Nova Média	Ind*	Ganho (%)	Nova Média	Ind*	Ganho (%)	Nova Média	Ind*	Ganho (%)	Nova Média
1	3/7/4	15,04	42,09	1/2/4	0,74	31,37	1/6/5	7,23	28,50	1/9/3	0,50	3,16	4/8/2	0,11	1,28
2	4/7/1	14,02	41,08	4/2/3	0,68	31,31	1/1/2	7,14	28,41	4/6/1	0,41	3,07	4/8/3	0,10	1,27
3	2/2/5	13,68	40,73	4/2/2	0,66	31,29	2/2/5	7,03	28,30	3/8/4	0,37	3,03	3/6/4	0,10	1,26
4	1/7/2	13,30	40,35	2/2/5	0,65	31,28	1/2/1	6,57	27,84	4/8/2	0,35	3,01	1/8/2	0,09	1,26
5	3/7/2	13,03	40,08	3/2/3	0,64	31,27	2/2/2	6,21	27,48	3/8/1	0,33	2,99	1/8/3	0,09	1,25
6	2/7/4	12,83	39,88	1/2/3	0,62	31,25	2/6/4	5,96	27,24	3/8/3	0,32	2,98	3/8/5	0,09	1,25
7	4/8/1	12,63	39,68	2/2/1	0,61	31,25	4/1/3	5,79	27,06	3/8/5	0,31	2,97	4/8/1	0,08	1,25
8	1/8/3	12,31	39,36	3/2/4	0,61	31,24	4/1/4	5,65	26,93	4/8/3	0,30	2,96	3/6/3	0,08	1,25
9	1/7/4	11,93	38,98	4/2/5	0,60	31,23	4/1/1	5,53	26,80	2/8/3	0,30	2,95	1/8/4	0,08	1,25
10	2/2/1	11,60	38,66	4/8/1	0,60	31,23	4/2/5	5,41	26,68	2/8/5	0,29	2,95	1/8/1	0,08	1,25
11	4/7/5	11,31	38,37	1/2/1	0,59	31,22	3/1/5	5,32	26,59	1/8/1	0,28	2,94	3/6/5	0,08	1,25
12	1/7/3	11,07	38,12	3/2/2	0,59	31,22	3/1/1	5,22	26,49	1/8/2	0,27	2,93	4/6/1	0,08	1,24
13	2/7/2	10,83	37,89	3/2/5	0,58	31,21	4/1/5	5,13	26,41	1/8/5	0,27	2,93	3/8/4	0,08	1,24
14	4/2/4	10,63	37,68	2/2/4	0,58	31,21	3/2/1	5,06	26,33	4/8/5	0,26	2,92	2/8/2	0,08	1,24
15	2/2/4	10,45	37,50	2/2/3	0,57	31,20	3/2/2	4,99	26,26	2/8/2	0,26	2,92	2/8/3	0,08	1,24
16	2/8/3	10,29	37,34	4/2/1	0,57	31,20	1/2/2	4,92	26,20	3/5/5	0,25	2,91	4/7/1	0,08	1,24
17	3/8/4	10,15	37,20	1/2/5	0,57	31,20	2/2/1	4,87	26,14	1/8/3	0,25	2,91	1/8/5	0,08	1,24
18	4/2/2	10,01	37,06	3/2/1	0,56	31,19	2/9/5	4,81	26,09	1/8/4	0,25	2,90	4/5/1	0,08	1,24
19	4/7/3	9,88	36,93	4/2/4	0,56	31,19	2/2/4	4,76	26,03	3/3/3	0,24	2,90	4/5/5	0,07	1,24

Tabela 8 – Cont.

Ordem	PMS (t.ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )			% MS			NP (Perfilho)			ALT (m)		DC (cm)			
	Ind*	Ganho (%)	Nova Média	Ind*	Ganho (%)	Nova Média	Ind*	Ganho (%)	Nova Média	Ind*	Ganho (%)	Nova Média	Ind*	Ganho (%)	Nova Média
20	3/8/5	9,76	36,82	2/2/2	0,55	31,19	2/1/1	4,70	25,98	4/5/1	0,24	2,90	4/6/5	0,07	1,24
21	2/1/5	9,64	36,69	4/8/5	0,55	31,18	1/1/4	4,65	25,92	4/8/1	0,23	2,89	3/8/1	0,07	1,24
22	3/2/1	9,52	36,57	2/8/3	0,55	31,18	4/2/4	4,60	25,87	4/8/4	0,23	2,89	2/8/4	0,07	1,24
23	1/2/2	9,40	36,45	2/8/2	0,54	31,17	3/1/3	4,55	25,83	2/8/1	0,23	2,89	2/8/5	0,07	1,24
24	4/2/5	9,29	36,34	4/8/4	0,54	31,17	4/7/1	4,50	25,78	2/8/4	0,23	2,88	3/7/3	0,07	1,24
25	4/1/1	9,18	36,24	3/8/5	0,53	31,17	4/2/3	4,46	25,73	4/7/1	0,22	2,88	4/6/2	0,07	1,24
26	1/7/1	9,08	36,14	1/2/2	0,53	31,16	3/7/4	4,41	25,69	3/6/5	0,22	2,88	2/6/4	0,07	1,24
27	1/8/2	8,99	36,04	2/8/1	0,53	31,16	2/1/4	4,37	25,64	3/8/2	0,22	2,88	3/8/2	0,07	1,23
28	3/8/3	8,89	35,94	3/8/2	0,52	31,15	2/1/5	4,33	25,60	3/7/3	0,22	2,87	3/5/4	0,07	1,23
29	3/8/2	8,80	35,85	4/3/2	0,52	31,15	4/7/3	4,29	25,56	2/7/5	0,21	2,87	2/6/2	0,07	1,23
30	2/7/5	8,71	35,77	3/8/3	0,52	31,15	2/10/4	4,25	25,53	4/5/3	0,21	2,87	2/6/3	0,07	1,23
Média		10,87	37,93		0,58	31,21		5,22	26,50		0,27	2,93		0,07	1,24
M.Geral			27,05			30,63			21,27			2,65			1,16

\*Individuo: Bloco/família/Planta

### 3.2.5 CONCLUSÕES

A população apresenta variabilidade genética para a maioria dos caracteres avaliados, possibilitando êxito na seleção.

Em relação às famílias de irmãos completos mais promissoras, verificou-se que as 5 melhores famílias selecionadas para todas as características avaliadas apresentaram famílias coincidentes, com destaque para 2, 5, 6, 7 e 8.

Para a principal característica de interesse no melhoramento de capim-elefante com fins bioenergéticos, produção de massa seca, para os 30 indivíduos selecionados, a média foi superior à média geral dos indivíduos, variando de 42,09 a 35,77 t.ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, o que evidencia a eficiência da seleção dos indivíduos via REML/BLUP.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdi, H., Willians, L.J. (2010) Principal components analysis. *WIREs Comput Stat* 2(4):433-459.
- Abu N.E., Uguru M.I., Obi I.U. (2011) Genotype by trait relations of yield and yield components in aromatic peppers (*Capsicum annuum*) based on GT biplot. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*. 3(14):382-390.
- Alves, F.G.S., Silva, S.F., Santos, F.N.S., Carneiro, M.S.S. (2018) *Capim-Elefante: Um Recurso Bioenergético Nucleus Animalium*, 10(2):117-130.
- Al-Naggar, A.M., Shafik, M., Musa, Rabeh. (2020) Genetic Diversity Based on Morphological Traits of 19 Maize Genotypes Using Principal Component Analysis and GT Biplot. *Annual Research & Review in Biology*. 35(2):68-85.
- Alcântara, P.B., Bufarah, G. (1983) Plantas forrageiras: gramíneas e leguminosas. São Paulo: Nobel, 150 p.
- Alcântara, P.B., Alcântara, V.B.G., Almeida, J.E. (1980) Estudo de vinte e cinco prováveis variedades de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.). *Boletim da Indústria Animal*, Nova Odessa, 37(2):79-302.
- Almeida, D. L., Santos, G. A., DePolli, H., Cunha, L. H., Freire, L. R., Amaral Sobrinho, N. M. B., Pereira, N. N. C., Eira, P. A., Blaise, R. M., Salek, R. C.

- (1988) Manual de adubação para o Estado do Rio de Janeiro. Itaguaí: Editora Universidade Rural. 179p.
- Assunção, M.P., Krause, W., Dallacort, R., Santos, P.R.J., Neves, L.G. (2015) Seleção individual de plantas de maracujazeiro azedo quanto à qualidade de frutos via REML/BLUP. *Revista Caatinga*. 28:57-63.
- Atlas of Florida Vascular Plants. *Pennisetum purpureum*. Disponível em: <<http://florida.plantatlas.usf.edu/Plant.aspx?id=1426>>. Acesso, 2021.
- Azevedo, A.L.S., Costa P.P., Machado, J.C., Machado, M.A., Pereira, A.V., Ledo, F.J.S. (2012) Cross species amplification of *Pennisetum glaucum* microsatellite markers in *Pennisetum purpureum* and genetic diversity of Napier grass accessions, *Crop Sci*. 52:1776-1785,
- Barbé, T. C. da. (2012) *Variação de caracteres morfoagronômicos, fisiológicos e da qualidade da biomassa energética de capim-elefante (Pennisetum purpureum Schum.) em função da idade da planta* (Doutorado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes-RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense- UENF, 140p.
- Barshan, E., Ghodsi, A., Azimifar, Z., Jahromi, M.Z. (2011) Supervised principal component analysis: Visualization, classification and regression on subspaces and submanifolds. *Pattern Recognition*, 44(7):1357-1371.
- Brasil. Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional. 2018: ano base 2017. Rio de Janeiro: EPE. 2018.
- Brasil. (2021) Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Registro Nacional de Cultivares – RNC. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/registro-nacional-cultivares>>. Acesso, 2021.
- Brunken, J.N. (1977) A systematic study of *Pennisetum* Sect. *Pennisetum* (Gramineae). *American Journal of Botany*, 64(2):161-76.
- Cassaro, S. (2018) *Seleção de híbridos de capim-elefante para fins energéticos utilizando modelos mistos*. Dissertação (Mestrado em Genética e

Melhoramento de Plantas) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 66p.

Cavalcante, M., Lira, M. A. (2010) Variabilidade genética em *Pennisetum purpureum* Schumacher. *Revista Caatinga*, 23:153-163.

Couto, A. M.; Protásio, T. de P.; Trugilho, P. F.; Neves, T. A.; Sá, V.A A. de. (2013) Multivariate analysis applied to evaluation of Eucalyptus clones for bioenergy production. *CERNE*, 19(4):525-533.

Cóser, A.C. (2006) *Como manejar corretamente uma capineira. Instrução Técnica Para o Produtor de Leite nº 25*. Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora-MG.

Cunha, M. V.; Lira, M. A.; Santos, M. V. F.; Freitas, E. V.; Dubeux Junior, J. C. B.;

Mello, A. C.L.; Martins, K. G. R. (2011) *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40(3):482-488.

Cruz, C. D.; Regazzi, A. J., Carneiro, P. C. S. (2012) Métodos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, v.1, 514p.

Cruz, C. D., Regazzi, A. J., Carneiro, P. C. S. (2014) Métodos biométricos aplicados ao melhoramento genético: volume 2. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária. 668p.

Cruz, C.D., Carneiro, P.C.S., Regazzi, A.J. (2014) *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. v.2, 3ª. ed. Viçosa: UFV, 668p.

Cruz, C.D., Carneiro, P.C.S. (2006) *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, v. 2, 585 p.

Chies, V. (2015) - *Pesquisa investe em capim como fonte de energia*. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2422024/pesquisa-investe-em-capim-como-fonte-de-energia>>. Acesso em 2020.

Danalatos, N. G., Archontoulis, S.V., Mitsios, I. Potential growth and biomass productivity of *Miscanthus giganteus* as affected by plant density and N-

fertilization in central Greece. *Biomass and Bioenergy*, v. 31, n. 2-3, p. 145-152, 2007.

Daher, R.F., Souza, L.B., Gravina, G.A., Machado, J.C., Ramos, H.C.C., Silva, V.Q.R., Menezes, B.R.S., Schneider, L.S.A., Oliveira, M.L.F., Gottardo, R.D. (2014) Use of elephant grass for energy production in Campos dos Goytacazes-RJ, *Brazil, Genet. Mol. Res.* 13:10898-10908.

David, A P.S.P.doV.B., DO VALE, A.L.S.deC.P. (2018) O Surgimento do Desenvolvimento Sustentável e da Sustentabilidade. A Contemporaneidade Dos Direitos Civis, Difusos e Coletivos. Rio de Janeiro: Jurismestre, p. 54-73.

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: GMR*, 13(4):10898.

Dehghani, H., Omid, H., Sabaghnia, N. (2008) Graphic analysis of trait relations of rapeseed using the biplot method. *Agronomy Journal*, 100:1443–1449.

Dehghani, H., Dvorak, J., Sabaghnia, N. (2012) Biplot Analysis of Salinity Related Traits in Beard Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Ann Biol Res* 3:3723–3731.

EIA. Annual energy outlook 2020 with projections to 2050. US Energy Information Administration. 2020. Disponível em: <<https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php>> Acesso, 2021.

Ferreira R.T., Viana, A.P., Silva, F.H.L., Santos, E.A., Santos, J.O. (2016) Seleção recorrente intrapopulacional em maracujazeiro-azedo via modelos mistos. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 38:158-166.

Figueiredo, U. J. D., Nunes, J. A. R., Valle, C. B. D. (2012) Estimation of genetic parameters and selection of *Brachiaria humidicola* progenies using a selection index. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 12(4):237-244.

Fonseca, J.S., Martins, G.A. (1996) *Curso de estatística*. 6.ed. São Paulo: Atlas, 320p.

- Flores, R. A., Urquiaga, S. S., Alves, B. J.R., Collier, L.S., Boddey, R.M. (2013) Yield and quality of elephant grass biomass produced in the Cerrados region for bioenergy. *Engenharia Agrícola e Ambiental*. 32:831-839.
- Flores, A.R. (2009) *Produção de capim-elefante (Pennisetum purpureum Schum.) para fins energéticos no Cerrado: resposta a ação nitrogenada e idade de corte*, Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Seropédica- RJ, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro- UFRRJ, p. 42.
- Freitas, R.S. (2018) *Influência de Idade de Corte em Características Morfoagronômicas em genótipos de Capim-elefante*, Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense. Rio de Janeiro, p.70.
- Goldemberg, J. (2009) Biomass and energy. *Química nova*, 32(3):582-587.
- Gravina, L.M., Oliveira, T.R.A., Daher, R.F., Gravina, G.A., Vidal, A.K.V., Stida, W.F., Cruz, D.P., de Sant'Anna, C.Q.S.S., Rocha, R.S., Pereira, A.V., Gustavo, G.H. (2020) Multivariate analysis in the selection of elephant grass genotypes for biomass production. *Renewable Energy*, 160:1265–1268.
- Hair Jr, J.F., Black, W.C., Babin, B.J., Anderson, R.E., Tatham, R.L. (2009) *Análise multivariada de dados*. 6 ed. Porto Alegre: Bookman.
- Henderson, C.R. (1973) Sire evaluation and genetic trends. In: *ANIMAL BREEDING AND GENETICS SYMPOSIUM*, 10, Champaign. Proceedings Champaign: American Society of Animal Science, 1973:10-41.
- Hongyu, K., Sandanielo, V.L.M., Oliveira Junior, G.J. de. (2015) Análise de Componentes Principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. *EE&S - Eng Sci* 1:83–90.
- Hongyu, K., Sandanielo, V. L. M., Junior, G. J. O. (2016) Análise de Componentes Principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. *E&S - Engineering and Science*, 5(1):83-90.

- Hotelling, H. (1933) Analysis of a complex of statistical variables into principal components. *The Journal Educational Psychology*, Cambridge, v.24, p.498-520.
- Hotelling, H. (1936) Simplified calculation of principal components. *Psychometrika*, Williamsburg, v.1, p.27-35.
- Holm, L.G., Plucknett, D.L., Pancho, J.V., Herberger, J.P. (1977) The World's  
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, 1994. p. 111.
- IEA, International Energy Agency (IEA, 2015) Key World Energy Statistics 2015  
Disponível  
em:<<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/key-world-energy-statistics-2015.html>. Acesso, 2021.
- Johnson, R.A., Wichern, D.W. (1998) *Applied multivariate statistical analysis*. Ed. Prentice-Hall, P.816.
- Köppen, W. (1948) Climatologia: con un estudio de los climas de La Tierra, México: Fondo de Cultura Económica, 479 p
- Laviola, B.G., Rosado, T.B., Bhering, L.L., Kobayashi, A.K. (2010) Genetic parameters and variability in physic nut accessions during early developmental stages. *Pesquisa agropecuária brasileira*, 45(10):1117–1123.
- Leite, W.D.S., Pavan, B.E., Alcantara Neto, F., Matos Filho, C.H.A., Feitosa, F.S., Oliveira, C.B. (2016) Multivariate exploratory approach and influence of six agronomic traits on soybean genotypes selection. *Nativa* 4(4):206-210.
- de Lima R.S., Daher R.F., Gonçalves L.S., Rossi D.A., do Amaral junior, A.T., Pereira, M.G., Léo, F.J.S. (2011) RAPD and ISSR markers in the evaluation of genetic divergence among accessions of elephant grass. *Genet. Mol. Res.* 10(3):1304-1313.
- Lucius, A. S. F., de Oliveira, R. A., Daros, E., Zambon, J. L. C., Bessalho Filho, J. C., & Verissimo, M. A. A. (2014). Performance of sugarcane families at

- different stages in the genetic improvement by REML/BLUP. *Semina: Ciências Agrárias (Londrina)*, 35(1):101-111.
- Marafon, A. C., Marinho, T. M., Rangel, A. (2012). Cenário energético brasileiro e o potencial do capim elefante como fonte de matéria prima para a produção de energia renovável. *Embrapa–Tabuleiros Costeiros, Aracajú*.
- Martel, E.; Richroch, A.; Sarr, A. Assessment of genome organization among diploid species ( $2n = 2x = 14$ ) belonging to primary and tertiary gene pools of pearl millet using fluorescent in situ hybridization with rDNA probes. *Genome*, v. 39, n. 4, p. 680-687, 1996.
- Mazzarella, V. Capim-elefante: capim-elefante produz energia. Instituto de pesquisas tecnológicas. (2010). Disponível em: <<http://www.ipt.br>>. Acesso em 2021.
- Mazzarella, V. (2011) Capim-elefante é aposta como alternativa de energia renovável. *Jornal da Cana. São Paulo - SP*. Entrevista concedida a Octaviana Carolina.
- Maia, M.C.C., Araújo, L.B.D., Dias, C.T.D.S., Oliveira, L.C.D., Vasconcelos, L. F. L., Carvalho Júnior, J.E.V.D., Simeão, M., Bastos, Y.G.M. (2016) Selection of mango rosa genotypes in a breeding population using the multivariate-biplot method. *Ciência Rural* 46(10):1689-1694
- Menezes, B. R., Daher, R. F., Gravina, G. D. A., do Amaral Júnior, A. T., Oliveira, A. V., Schneider, L. S., e Silva, V. B. (2014) Correlações e análise de trilha em capim-elefante para fins energéticos. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 9(3):465-470.
- Menezes, B.R., Daher, R.F., Gravina, G.D.A., Pereira, A.V., Sousa, L.B., Rodrigues, E. V., Silva, V.B., Gottardo, R.D., Schneider, L.S.A., Novo, A.A. (2015) Estimates of heterosis parameters in elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schumach.) for bioenergy production. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 75:395-401.
- Menezes B.R., Daher R.F., Gravina G.A., Silva V.B., Rodrigues, E.V., Oliveira, M.L.F., Tardin, F.D., Ponciano, N.J., Araújo, M.do.S.B., Rocha, A.do.S.

- (2016). Seleção de genótipos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*) utilizando a metodologia REML/BLUP. *Rev. Cienc. Agrar. (Lisb.)* 39:360-365.
- Milligan, G.W., Cooper, M.C. (1985) An examination of procedures for determining the number of clusters in a data set. *Psychometrika*, 50:159–179.
- Miranda, A. C., Teixeira de Moraes, M. L., Mueller da Silva, P. H., & Sebbenn, A. M. (2015). Genetic gain in the selection by multi-effects index in openpollinated progenies of *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. *Scientia Forestalis*, 203-209.
- Moreto, A. L., Ramalho, M. A. P., Nunes, J. A. R., Abreu, A. F. B. (2007) Estimation of phenotypic variance components in common bean by the pedigree method. *Ciências Agrárias*, 31(4):1035:1042.
- Moreira, P.C., Wascheck, R.C., Dutra, A.R., Grandsire, C., Almeida, O.C., Moreira, S.O.L., Oliveira, D.L. (2008) Use of elephant grass for feeding cattle, *Estudos* 35 429:449.
- Moura, M. C. C. L., Gonçalves, L. S. A., Sudré, C. P., Rodrigues, R., Amaral Junior., T. A., Pereira, T. N. S. (2010) Algoritmo de Gower na estimativa da divergência genética em germoplasma de pimenta. *Horticultura Brasileira*, 28(2):155-161.
- McKendry, P. (2002) Energy production from biomass (part1): overview of biomass. *Bioresource Technology*, 83(1):37-46.
- Nass, L. L. e Paterniani, E. (2000) Pre-breeding: a link between genetic resources and maize breeding. *Scientia Agricola*, 57(3):581-587.
- Neiva, Rubens. (2016). Nova cultivar de capim-elefante apresenta produtividade 30% maior. Embrapa, Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/17002039/nova-cultivar-de-capim-elefante-apresenta-produtividade-30-maior>>. Acesso, 2021.
- Nong, Duy; Wang, Can; AL-amin, Abul Quasem. (2020) A critical review of energy resources, policies and scientific studies towards a cleaner and more

sustainable economy in Vietnam. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 134:110-117.

Oliveira, R. A., Daros, E., Bessalho Filho, J. C., Zambon, J. L. C., Ido, O. T., Weber, H., Resende, M. D.V., Neto, H. Z. (2008) Seleção de famílias de cana-de-açúcar via modelos mistos. *Scientia Agraria*, 9(3):269-274.

Oliveira, A. V. (2013) Avaliação do desenvolvimento e de características morfoagronômicas e qualidade de Biomassa energética de 73 genótipos de capim-elefante em Campos dos Goytacazes-RJ. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes-RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 76p.

Oliveira M.L.F., Daher R.F., Gravina G.D.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. *Afr. J. Agric. Res.* 9(36):2743-2758.

Oliveira, C. M. de. (2015) Biomercado: Política e legislação adequadas. Viçosa, MG. Disponível em: <[http://biomercado.com.br/not\\_detalhe.php?noticia=1486](http://biomercado.com.br/not_detalhe.php?noticia=1486)>. Acesso, 2021.

Oliveira, M.L.F., Daher, R.F., Menezes, B.R.S., Vivas, M., Rocha, A. dos S., Ponciano, N.J., Amaral Junior, A.T., Araujo, M. do S.B., Pereira, T.N.S., and Silva, V.B. (2017) Genetic diversity of elephant grass (*Cenchrus purpureus* [Schumach.] Morrone) for energetic production based on quantitative and multi-category traits. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 77:48-57.

Oliveira, T.R.A., Gravina, G.A., Oliveira, G.H.F.D., Araújo, K.C., Araújo, L.C.D., Daher, R.F., Vivas, M., Gravina, L.M., Cruz, D.P.D. (2018) The GT BIPLLOT analysis of green bean traits. *Ciência Rural*, 48:1-6.

Oliveira, T.R.A. de., Gravina, G. de A., Oliveira, G.H.F., Araujo, L.C., Araújo, K.C., Cruz, D.P., Amaral Junior, A.T., Vivas, M., Daher, R.F. (2018) ultivariate analysis used as a tool to select snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. *Aust J Crop Sci* 12: 67–73.

- ONU. Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. 2015. Disponível em: <<http://www.br.undp.org/content/dam/brazil/docs/agenda2030/undp-br-Agenda2030-completo-pt-br-2016.pdf>> Acesso, 2021.
- Paterlini, E. M., Arantes, M. D. C., Gonçalves, F. G., Vidaurre, G. B., Bauer, M. O., Moulin, J. C. (2013) Evaluation of elephant grass for energy use. *Journal of Biotechnology and Biodiversity*, 4 (2):19-125.
- Paramesh, M., Reddy, D., Priya, M.S., Sumathi, P., Sudhakar, P., Reddy, K. (2016) GT biplot analysis for yield and drought related traits in mung bean (*Vigna radiata* L, Wilczek). *Electronic Journal of Plant Breeding*, 7:538-543.
- Pereira, A.V. (1993) Escolha de variedades de capim-elefante. In: In: Peixoto, A.M., Moura, J.C., Faria, V.P. (1993) (Eds.) Simpósio sobre Manejo da Pastagem, 10, Piracicaba. Anais... Piracicaba:FEALQ, p. 47-62.
- 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. 111.
- Pereira, A. V., Valle, C. B., Ferreira, R. P., Miles, J. W. Melhoramento de forrageiras tropicais. In: Nass, L. L., Valois, A. C. C., Melo, I. S., Valadares Inglis, M. C. (2001) *Recursos genéticos e melhoramento*. Rondonópolis, p. 549-602.
- Pereira, A.V., Daher, R.F., Pereira, M.G., Lédo, F.J.S., Sobrinho, F.S., Amaral Junior, A.T., Freitas, V.P., Pereira, T.N.S. e Ferreira, C.F. (2006) - Análise de cruzamentos dialélicos entre capim- Análise de cruzamentos dialélicos entre capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) e milho (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.). 1. Características morfoagronômicas. *Acta Scientiarum - Agronomy*, 28(2):267-275.
- 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(7):1216-1221.

- Pereira, A.V., Léo, F. J. S., Machado, J. C., Barbosa, S. (2017) BRS Kurumi and BRS Capiaçú - New elephant grass cultivars for grazing and cut-and-carry system. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, Viçosa, 17:59-62.
- Pedrozo, C. A., Benites, F. R. G., Barbosa, M. H. P., de Resende, M. D. V., & da Silva, F. L. (2009) Eficiência de índices de seleção utilizando a metodologia REML/BLUP no melhoramento da cana-de-açúcar. *Scientia agraria*, 10(1):31-36.
- Prieto-Moreno, A., Llanes-Santiago, O., García-Moreno, E. (2015) Principal components selection for dimensionality reduction using discriminant information applied to fault diagnosis. *Journal of Process Control* 33:14-24.
- Quesada, D. M. et al. (2000) Fixação biológica de nitrogênio como suporte para a produção de energia renovável. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, (2000), Campinas... Anais.... Campinas. p.3.
- Quesada, D. M. (2001) Seleção de genótipos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) para a alta produção de biomassa e eficiência da fixação biológica de nitrogênio (FBN). Seropédica. 86f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica.
- Quesada, D. M. et al. (2003) Efeito da adubação verde e N-fertilizante no acúmulo de biomassa e fixação biológica de nitrogênio em genótipos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.). *Agronomia*, 37(2):54-59.
- Quesada, D. M. (2005) Parâmetros quantitativos e qualitativos da biomassa de diferentes genótipos de capim-elefante para produção de agroenergéticos. Seropédica, p. 65. Tese de Doutorado, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica
- Ramos, H.C.C., Pererira M.G., Viana, A.P., Luz, L.N., Cardoso, D.L., Ferregueti, G.A. (2014) Combined Selection in Backcross Population of Papaya (*Carica papaya* L.) by the Mixed Model Methodology. *American Journal of Plant Sciences*, 20:2973-2983.

- Resende, M.D.V. (2000) *Análise estatística de modelos mistos via REML/BLUP na experimentação em melhoramento de plantas perenes*. Colombo: Embrapa Florestas, p. 1-101, (Documentos, 47).
- Resende, M.D.V. (2002) *Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 975.
- Resende, M. D. V. D., & Barbosa, M. H. P. (2006) Selection via simulated individual BLUP based on family genotypic effects in sugarcane. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41(3):421-429.
- Resende, M.D.V. de., Duarte, J.B. (2007) Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 37:182-194.
- Regazzl, A. J. (2000) Análise multivariada, notas de aula INF 766, Departamento de Informática da Universidade Federal de Viçosa, v.2.
- Rengsirikul, K., Ishii, Y., Kangvansaichol, K., Pripanapong, P., Sripichitt, P. Punsuvon V., Vaithanomsat, P., Nakamanee, G., Tudsri, S. (2011) Effects of inter-cutting interval on biomass yield, growth components and chemical composition of napier grass (*Pennisetum purpureum* Schumach) cultivars as bioenergy crops in Thailand, *Grassl. Sci.* 57:135-141.
- Rossi, D.A., Menezes, B.R.S., Daher, R.F., Gravina, G.A., Lima, R.S.N., Ledo, F.J.S., Gottardo, R.D., Campostrini, E., Souza, C.L.M. (2014) Canonical correlations in elephant grass for energy purposes, *Afr. J. Biotechnol.* 36:3666-3671.
- Rocha, A.S., Daher, R.F., Gravina, G.A., Pereira, A.V., Rodrigues, E.V., Viana AP and Oliveira ES. (2015) Comparison of stability methods in elephant-grass genotypes for energy purposes. *African Journal of Agricultural Research* 10: 4283-4294.
- Rodrigues, L.R.A., Monteiro, F.A., Rodrigues, T.J.D. Capim-elefante. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 17., 2001, Piracicaba. Anais... Piracicaba: FEALQ, 2001. P. 203-224.

- Rodrigues, W. P., Vieira, H. D., Barbosa, D. H., Souza Filho, G. R., Candido, L. S. (2013) Adaptability and genotypic stability of *Coffea arabica* genotypes based on REML/BLUP analysis in Rio de Janeiro State, Brazil. *Genetics and Molecular Research*, 12(3):2391-2399.
- Rodrigues, E.V., Daher, R.F., Santos, A., Vivas, M., Machado, J.C., Gravina, G.A., Souza, Y.P., Vidal, A.K.F., Rocha, A.S., Freitas, R.S (2017). Selecting elephant grass families and progenies to produce bioenergy through mixed models (REML/BLUP). *Genetics and molecular research*, 16:2-12.
- Rosado, A. M., Rosado, T. B., Alves, A. A., Laviola, B. G., & Bhering, L. L. (2012). Seleção simultânea de clones de eucalipto de acordo com produtividade, estabilidade e adaptabilidade. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 47(7), 964-971.
- Santos, M. M. P., Daher, R. F., Ponciano, N. J., Gravina, G. A., Pereira, A. V., e Santos, C. L. (2014) Respostas do capim-elefante sob doses de adubação azotada de cobertura para fins energéticos. *Revista de Ciências Agrárias*, 37(1):100-108.
- Santos, A. dos., Amaral Júnior, A.T. do., Kurosawa, R. do N.F., Gerhardt, I.F.S., Neto, R.F. (2017) GGE biplot projection in discriminating the efficiency o popcorn lines to use nitrogen. *Ciência e Agrotecnologia* 41:22-31.
- Santana, J.G.S., Ramos, H.C.C., Miranda, D.P., Santa Catarina, R., Vettorazzi, J.C.F., Poltronieri, T.P.S., Duarte, R.P., Pirovani, A.A.V., Bohry, D., Amaral Júnior, A.T., Pereira, M.G. (2021a). Genotype analysis by trait is a practical and efficient approach on discrimination of inbred lines and identification of papaya (*Carica papaya* L.) ideotypes for fruit quality. *Euphytica*, 217:1-12.
- Santana, J.G.S., Santos, P.S., Freitas, L.S., Soares, F.S., Ambrósio, M., Muniz, E.N, Ledo, A.S., Muniz, A.V.C.S. (2021b) Phenotypic characterisation of the germplasm bank of mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes), a unique Brazilian native fruit, with emphasis on its high vitamin C content, *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 49:361-373.

- Sabaghnia, N., Behtash, F., Janmohammadi, M. (2015) Graphic Analysis of Trait Relations of Spinach (*Spinacia oleracea* L.) Landraces Using the Biplot Method. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis* 63:1187-1194.
- Sabaghnia, N., Janmohammadi, M. (2016) Biplot analysis of silicon dioxide on early growth of sunflower. *Plant Breed Seed Sci* 73:87-98.
- Samonte, Sopb; Tabien, R. E.; Wilson, L. T. (2013) Parental selection in rice cultivar improvement. *Rice Science - Journal - Elsevier* 20(1):45-51.
- Silva, D. J.; Queiroz, A. C. *Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos*. 3. Ed. Viçosa, 2002. 235p
- Silva, S.C. da., Sbrissia, A.F. (2010) Análise de componentes principais entre características morfogênicas e estruturais em capim-marandu sob lotação contínua. 690–693.
- Silva, V.Q.R, Daher R.F., Gravina, G.A., Ledo, F.J.S, Tardin, F.D., Souza, M.C. (2014). Capacidade combinatória de capim elefante com base em caracteres morfoagronômicos. *Bol. Ind. Anim.* 71:63-70.
- Silva V.B., Daher, R.F., Souza, Y.P., Menezes, B.R.S., Santos, E.A., Freitas, R.S., Oliveira, E.S., Stida, W.S., Cassaro, S. (2020) Assessment of energy production in full-sibling families of elephant grass by mixed models. *Renewable Energy* 146:744-749.
- Silva, T.R.C., Amaral, A.T.JR., Gonçalves, L.S.A., Candido, L.S., Vitorazzi. C., Scapim, C.A. (2013) Agronomic performance of popcorn genotypes in Northern and Northwestern Rio de Janeiro State. *Acta Scientiarum Agronomy*, 35:57-63.
- 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. DE, Pereira, A. V., Ledo, F. J. DA S., Botrel, M. A., Oliveira, J. S., Xavier, D. F. (2005) Avaliação agrônômica de híbridos interespecíficos entre capim-elefante e milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 40(9):873-880.
- Scheider, L.S.A., Daher, R.F., Menezes, B.R.S., Freitas, R.S., Souza, L.B., Silva, V.B., Furlani, E., Vidal, A.K.F. (2018) Selection of elephant-grass genotypes for forage production, *J AGRIC SCI* 10:148-156.
- Shalaeva, D. S. et al. (2020) Analysis of the development of global energy production and consumption by fuel type in various regions of the world. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, p. 952.
- Stida, W. F., Daher, R.F., Viana, A.P., Vidal, Ana K.F., Freitas, R.S., Silva V.B., Pereira, A.V., Cassaro, S., Menezes, B.R.S., Furlani, E.P. (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.
- Sturion, J.A., Resende, M.D.V. (2004) Eficiência do delineamento experimental e capacidade de teste no melhoramento genético da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). *Boletim de Pesquisa Florestal*, 50:3-10.
- Tomislav, Klarin. (2018) The concept of sustainable development from its beginning to the contemporary issues. *Zagreb International Review of Economics & Business*, 21(1):67-94.
- Topcu, Ebru., ALTINOZ, Buket., ASLAN, Alper., (2020) Global evidence from the link between economic growth, natural resources, energy consumption, and gross capital formation. *Resources Policy*, 66:101622.
- Tcacenco, F. A., Botrel, M. A. Identificação e avaliação de acessos e cultivares de capim-elefante. In: Carvalho, M. M., Alvim, M. J., Xavier, D. F., Carvalho, L. (1997) A. (Ed.). Capim-elefante: produção e utilização. Brasília: Embrapa, SPI; Juiz de Fora: Embrapa, p. 1-30.

- Urquiaga, S., Alves, B., Boddey, R. Capim-elefante: uma nova fonte alternativa de energia. (2004). Disponível em: <[http://ambientes.ambientebrasil.com.br/agropecuaria/artigo\\_agropecuaria/capim\\_elefante%3A\\_uma\\_nova\\_fonte\\_alternativa\\_de\\_energia.html](http://ambientes.ambientebrasil.com.br/agropecuaria/artigo_agropecuaria/capim_elefante%3A_uma_nova_fonte_alternativa_de_energia.html)>. Acesso em 2021.
- Vieira, E. A., Fialho, J. F., Silva, M. S., Faleiro, F. G. (2007) Variabilidade genética do banco ativo de germoplasma de mandioca do Cerrado acessada por descritores morfológicos. Embrapa-Cerrados, Planaltina, DF.
- Vivas, M., Silveira, S.F., Viana, A.P., Amaral Junior, A.T., Cardoso, D.L., Pereira, M.G. (2014) Efficiency of circulant diallels via mixed models in the selection of papaya genotypes resistant to foliar fungal diseases. *Genetics and Molecular Research*, 13:4797-4804.
- Viana, A.P, Resende, M.D.V. (2014) Genética quantitativa no melhoramento de fruteiras. 1. ed. Rio de Janeiro: *Interciencia*, 296p.
- 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-marphological Traits Related to Biomass Production in Rio de Janeiro (Brazil). *Journal of Experimental Agriculture International*, 39:1-10.
- Xavier, M. A., Perecin, D., de Toledo Alvim, K. R., de Andrade Landell, M. G., Arantes, F. C. (2014). Seleção de famílias e progênies de irmãos completos de cana-de-açúcar para atributos tecnológicos e de produção pelo método de REML/BLUP. *Bragantia*, 73(3):253-262.
- Yang, R.C., Crossa, J., Cornelius, P.L., Burgueño, J. (2009) Biplot analysis of genotype x environment interaction: Proceed with caution. *Crop Sci* 49: 1564-1576.
- Yan, W., Cornelius, P.L., Crossa, J., Hunt, L.A. (2001) Two types of GGE biplots for analyzing multi-environment trial data. *Crop Sci* 41:656-663.

- Yan, W., Rajcan, I. (2002) Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Sci* 42:11-20.
- Yang, R.C., Crossa, J., Cornelius, P.L., Burgueño, J. (2009) Biplot analysis of genotype  $\times$  environment interaction: Proceed with caution. *Crop Sci* 49: 1564-1576.
- Yin, H., Huang, W. (2010) Adaptive nonlinear manifolds and their applications to pattern recognition. *Information Sciences* 180(14):2649-2662.
- Yasuda, M., Nagai, H., Takeo, K., Ishii, Y., Ohta, K. (2014) Bio-ethanol production through simultaneous saccharification and co-fermentation (SSCF) of a low-moisture anhydrous ammonia (LMAA)-pretreated napiergrass (*Pennisetum purpureum* Schumach), *Springer Plus* 3:179-185.
- Yokomizo, G.K.I., Santos, I.C.dos, Freitas, A.C.de. (2017) Comparação de características produtivas entre progênies de meios irmãos de mangabeiras de populações do Amapá e da Paraíba. *Revista Agro@ambiente On-line*, 11:.63- 70.