

**SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE CAPIM-ELEFANTE VIA MODELOS
MISTOS PARA PRODUÇÃO DE BIOENERGIA**

ERINA VITÓRIO RODRIGUES

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

**CAMPOS DOS GOYTACAZES –RJ
OUTUBRO – 2016**

SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE CAPIM-ELEFANTE VIA MODELOS MISTOS PARA PRODUÇÃO DE BIOENERGIA

ERINA VITÓRIO RODRIGUES

Tese 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 Doutora em Genética e Melhoramento
de Plantas.

Orientador: Prof.: Rogério Figueiredo Daher

CAMPOS DOS GOYTACAZES –RJ
OUTUBRO – 2016

SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE CAPIM-ELEFANTE VIA MODELOS MISTOS PARA PRODUÇÃO DE BIOENERGIA

ERINA VITÓRIO RODRIGUES

“Tese 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 Doutora em Genética e Melhoramento de Plantas.”

Aprovada em 11 de outubro de 2016.

Comissão Examinadora:

Dr. Juarez Campolina Machado (D.Sc., Genética e Melhoramento) - Embrapa Gado de Leite

Prof^o. Geraldo de Amaral Gravina (D.Sc., Produção Vegetal) - UENF

Prof^o. Marcelo Vivas (D.Sc., Genética e Melhoramento de Planta) - UENF

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

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”

(Arthur Schopenhauer)

À minha família, em especial, às minhas mães Geralda Maria da Silva e Bernadete Vitório Rodrigues e às minhas irmãs Erica Rodrigues, Eline Rodrigues e Elane Rodrigues.

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Deus, meu porto seguro, por me capacitar a vencer cada obstáculo e por me acolher perante às incertezas;

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

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa;

Ao coordenador do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas Dr. Messias Gonzaga Pereira, pela compreensão, seriedade, atenção, dedicação e compromisso, motivos de respeito e admiração, agradeço ainda pela flexibilidade quando houve a necessidade de me ausentar do Programa;

Ao professor Rogério Figueiredo Daher pela orientação e atenção dispendida quando necessário;

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, em especial Alexandre Viana, Amaral Júnior, Messias Gonzaga, Cláudio Melo; Gonçalo Apolinário, Rosana Rodrigues, Geraldo do Amaral Gravina e Thiebaut pelos ensinamentos transmitidos e contribuição na minha formação;

Ao professor Marcelo Vivas pela amizade e pelas contribuições ao longo do curso de doutorado;

Ao pesquisador Juarez Campolina Machado pela atenção, disponibilidade em compartilhar conhecimento e contribuir para realização deste trabalho;

Ao pesquisador Dr. Francisco Rodrigues Freire Filho, pelo excelente profissional, que o tenho como referência em virtude da sua seriedade e rigor com que conduz a pesquisa;

À equipe de alunos do capim-elefante Ana Késia Vidal, Avelino Rocha, Bruna Menezes, Brunno Almeida, Larissa Schneider, Lília Gravina, Maria do Socorro, Bruna Menezes, Rafael Freitas, Verônica Silva, Yure Pequeno, pela amizade, apoio no trabalho árduo de avaliação do experimento e os momentos de descontração;

À equipe de funcionários da Pesagro Dorian Peres, Enildo, Fernando, José Manoel, Júlio Cesar, Romildo Gottardo pela amizade, enorme ajuda na implantação e condução dos experimentos;

Ao secretário do Programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, José Daniel Valle de Almeida, pela imensa eficiência e por sempre ajudar e “facilitar” a vida dos alunos;

À minha família, em especial, minha mãe Geralda Maria da Silva, pelo amor incondicional dedicado e representar minha maior motivação e inspiração para seguir em busca dos meus ideais, Bernadete Vitório Rodrigues, pelo apoio; meus tios e minhas irmãs Erica Rodrigues, Eline Rodrigues e Elane Rodrigues, pelo carinho e pela oportunidade de exercer o papel de “mãe”;

Ao Adriano dos Santos pelo amor dedicado, companheirismo, cumplicidade e imensurável apoio em todos os momentos, tornando esta jornada mais leve;

Ao Paulo Eduardo Teodoro, pela amizade e parceria estabelecida e à Larissa Ribeiro;

Aos amigos do curso de pós-graduação em Genética e Melhoramento de Plantas Andrea Barros, Cássio Vittorazzi, Diego Marmolejo, Lúgia Renata, Camila Queiroz, Railan Kurosawa, Lorraine Fonseca, Cláudia Lougon, em especial, Amanda Gonçalves, Jocarla Crevelari e Ellen Moura, pelos intensos estudos para qualificação, conhecimentos compartilhados e pelos bons momentos de descontração;

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	ix
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiv
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	4
2.1 Objetivo geral	4
2.1 Objetivos específicos	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
3.1 Aspectos gerais do capim-elefante	5
3.2 Importância socioeconômica do capim-elefante e seu uso como fonte de energia	7
3.3 Estratégias de melhoramento genético em capim-elefante.....	12
3.4 Modelos mistos (REML/BLUP) no melhoramento de capim-elefante	18
3.5 Seleção de famílias de capim-elefante	20
3.6. Interação genótipos x ambientes em capim-elefante	22
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	24

4.1 Caracterização da área experimental	24
4.2 Obtenção da população	26
4.3 Implantação e condução do experimento	30
4.4 Caracteres avaliados	33
4.5 Análises genético-estatísticas	34
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5.1 Análise de Deviance (ANADEV)	38
5.2 Análise de variância conjunta.....	39
5.3 Componentes de variância e parâmetros genéticos	41
5.4 Análise dialélica	45
5.5 Seleção de família.....	50
6. CONCLUSÕES	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Emprego pelas energias renováveis no mundo, Revisão Anual, 2016.....	9
Figura 2. Precipitação pluviométrica (A), umidades do ar máxima e mínima (B) e temperaturas máxima e mínima (C) durante a condução do experimento de capim-elefante. Campos dos Goytacazes, RJ, 2014-2015.....	25
Figura 3. Esquema de cruzamentos em dialelo circulante entre dez genótipos de capim-elefante. Campos dos Goytacazes, RJ.....	28
Figura 4. Obtenção de famílias de irmãos completos de capim-elefante, proteção das inflorescências femininas (A), coleta de grãos de pólen (B), semeadura em bandejas de isopor (C), plântulas (D). Campos dos Goytacazes, RJ.....	29
Figura 5. Obtenção dos clones dos genitores de capim-elefante, Campos dos Goytacazes, RJ, 2014 e 2015.....	30
Figura 6. Transplântio dos genótipos de capim-elefante no campo experimental, Campos dos Goytacazes, RJ, 2014 e 2015.....	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características físicas do solo da área experimental, Campos dos Goytacazes, RJ, 2014 e 2015	27
Tabela 2. Características químicas do solo da área experimental, Campos dos Goytacazes, RJ, 2014 e 2015	27
Tabela 3. Identificação dos dez genitores da coleção de trabalho do Banco de germoplasma de capim-elefante da UENF, utilizados no delineamento genético dialelo circulante. Campos dos Goytacazes, RJ, 2014 e 2015	28
Tabela 4. Identificação dos 10 genitores e 15 híbridos de capim-elefante avaliados para produção de bioenergia. Campos dos Goytacazes, RJ, 2014 e 2015	32
Tabela 5. Análise de <i>Deviance</i> em dois cortes de capim-elefante para os caracteres número de perfilho (NP), altura de plantas (ALT), diâmetro de colmo (DC), biomassa verde (BIOMV), biomassa seca (BIOMS) e porcentagem de biomassa seca (PBS) avaliados em genótipos de capim-elefante, Campos dos Goytacazes, RJ, 2014 e 2015	39
Tabela 6. Resumo da análise de variância conjunta para número de perfilho (NP), altura de Planta (ALT), diâmetro do colmo (DC), biomassa verde (BIOMV), biomassa seca (BIOMS) e porcentagem de biomassa seca (PBS)	

avaliados em 25 genótipos de capim-elefante, Campos dos Goytacazes, RJ, 2014 e 2015	40
Tabela 7. Estimativas dos componentes de variância e parâmetros genéticos para número de perfilho (NP), altura de plantas (ALT), diâmetro de colmo (DC), biomassa verde (BIOMV) e biomassa seca (BIOMS) de genitores e famílias de irmãos completos de capim-elefante, Campos dos Goytacazes, RJ, 2014 e 2015	42
Tabela 8. Estimativas dos efeitos de capacidade geral de combinação (CGC) dos 10 genitores de capim-elefante para os caracteres número de perfilho (NP), altura de plantas (ALT), diâmetro de colmo (DC), biomassa verde (BIOMV) e biomassa seca (BIOMS), Campos dos Goytacazes, RJ, 2014 e 2015	46
Tabela 9. Estimativas dos efeitos de capacidade específica de combinação (CEC) das 10 combinações híbridas de capim-elefante para os caracteres número de perfilho (NP), altura de plantas (AP), diâmetro de colmo (DC), biomassa verde (BIOMV) e biomassa seca (BIOMS) e porcentagem de biomassa seca (PBS), Campos dos Goytacazes, RJ, 2014 e 2015	49
Tabela 10. Estimativas dos valores genotípicos do cruzamento (Vgc) para os caracteres número de perfilho (NP), altura de plantas (AP), diâmetro de colmo (DC), biomassa verde (BIOMV) e biomassa seca (BIOMS) das 15 famílias de irmãos completos de capim-elefante, Campos dos Goytacazes, RJ, 2014 e 2015	51
Tabela 11. Seleção dos indivíduos superiores de genótipos de capim-elefante para o caráter número de perfilhos, Campos dos Goytacazes, RJ, 2014 e 2015	56
Tabela 12. Seleção dos indivíduos superiores de genótipos de capim-elefante para o caráter altura de plantas, Campos dos Goytacazes, RJ, 2014 e 2015	57
Tabela 13. Seleção dos indivíduos superiores de genótipos de capim-elefante para o caráter diâmetro de colmos, Campos dos Goytacazes, RJ,	

2014 e 2015	58
Tabela 14. Seleção dos indivíduos superiores de genótipos de capim-elefante para o caráter produção de biomassa verde, Campos dos Goytacazes, RJ, 2014 e 2015	59
Tabela 15. Seleção dos indivíduos superiores de genótipos de capim-elefante para o caráter produção de biomassa seca, Campos dos Goytacazes, RJ, 2014 e 2015	60

RESUMO

RODRIGUES, Erina Vitório; D. Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; Outubro, 2016. SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE CAPIM-ELEFANTE VIA MODELOS MISTOS PARA PRODUÇÃO DE BIOENERGIA; Orientador: Rogério Figueiredo Daher; Conselheiros: Antônio Teixeira do Amaral Júnior e Geraldo Amaral Gravina.

O Brasil apresenta enorme potencial para produção de bioenergia, pois é o país com localização geográfica na região tropical com alta incidência de energia solar e condições climáticas para esta finalidade, porém seu uso está aquém do seu potencial produtivo. Os objetivos deste trabalho foram i) verificar a *performance* dos genótipos quanto à interação com os cortes de avaliação; ii) estimar parâmetros genéticos via REML em populações segregantes de capim-elefante para produção de bioenergia; iii) estimar a capacidade geral e a capacidade específica de genótipos de capim-elefante com potencial para produção de biomassa energética; iv) predizer valores genotípicos via BLUP e realizar a seleção entre e dentro de famílias de irmãos completos de capim-elefante promissoras para produção de bioenergia. Realizou-se cruzamentos no delineamento genético dialelo circulante, entre dez genótipos de capim-elefante (Cubano Pinda, Vrukwona, IAC-Campinas, Capim Cana D'África, Cameroon, CPAC, IJ 7139, União, Guaçu/I.Z.2, Cuba-115). Para avaliação dos híbridos e genitores, instalou-se um experimento em delineamento de blocos ao acaso, com três repetições. A parcela constituiu-se por uma linha de 14 m com espaçamento

de 1,40 m entre linhas e 1,40 m entre plantas, a área útil foi composta pelas oito plantas centrais. Avaliaram-se o número de perfilhos, a altura de plantas, o diâmetro de colmos, a produção de biomassa verde, a porcentagem de biomassa seca e a produção de biomassa seca. As análises genético-estatísticas foram realizadas via modelos mistos (REML/BLUP). Com base nos resultados concluiu-se que i) a população apresenta variabilidade genética para a maioria dos caracteres avaliados em ambos os cortes, possibilitando êxito na seleção; ii) os genótipos apresentaram desempenho similar para maioria dos caracteres em ambos ambientes, exceto para diâmetro do colmos; iii) houve predominância dos efeitos genéticos de dominância no controle genético dos caracteres; iv) os genitores Capim Cana D'África, IJ7139, Cameroon, Guaçu/IZ2 e Cuba 115 se destacaram para produção de biomassa, sendo que os três últimos foram promissores para todos os caracteres estudados em pelo menos um corte de avaliação; v) os híbridos IAC-Campinas x IJ7139, Capim Cana D'África x Guaçu/IZ.2, Cameroon x Guaçu/IZ.2, Cameroon x Cuba 115 e CPAC x Cuba 115 apresentaram desempenho favorável, simultaneamente, para os caracteres número de perfilhos, produção de biomassa verde e produção de biomassa seca; vi) a família Capim Cana D'África x Guaçu/I.Z.2 reuniu o maior número de indivíduos potenciais para as variáveis altura de planta, diâmetro de colmo, produção de biomassa verde e produção de biomassa seca; vii) indivíduo 5 da família Cana D'África x Guaçu/I.Z.2, dos blocos 1 e 2, apresenta melhor desempenho para produção de biomassa seca.

Palavras-chaves: *Pennisetum purpureum* Schum., biomassa, melhoramento genético.

ABSTRACT

RODRIGUES, Erina Vitório; D. Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; October 2016. SELECTION OF ELEPHANT GRASS GENOTYPES THROUGH MIXED MODELS FOR BIOENERGY PRODUCTION; Advisor: Rogério Figueiredo Daher; Co-Advisor: Antônio Teixeira do Amaral Júnior and Geraldo de Amaral Gravina.

Brazil has great potential to produce bioenergy, since it is located in a tropical region that receives high incidence of solar energy and favorable climatic conditions for this purpose. However, the use of bioenergy in the country is below of productive potential. The aims of the current study were: i) to check the performance of genotypes for interaction with the evaluation cuts; ii) to estimate genetic parameters through REML in segregating populations of elephant grass to bioenergy production; iii) to estimate the general combining ability (GCA) and specific combining ability (SCA) of elephant grass genotypes with potential to produce energetic biomass; iv) to predict genotypic values through BLUP and to permorm selection among and within full-sib families of elephant grass to bioenergy production. The circulant diallel cross was performed with ten elephant grass genotypes (Cubano Pinda, Vrukwona, IAC-Campinas, Capim Cana D'África, Cameroon, CPAC, IJ 7139, União, Guaçu/I.Z.2, Cuba-115). For evaluating hybrid and parents, an experiment using randomized block design with three replications was installed. Plot was constituted of a line of 14 m, 1.40 m spacing between rows and 1.40 m between plants, the useful area consisted of eight central plants. Number of tillers, plant height, stem diameter, fresh biomass production, rate of

dry biomass and dry biomass production were evaluated. Genetic-statistical analyses were performed using mixed models (REML/BLUP). Based on the results, we concluded that i) the population have genetic variability for most traits evaluated in both cuts, allowing successful selection ; ii) genotypes showed similar performance for most of the traits in both environments, except for stem diameter; iii) there was predominance of the dominance genetic effects on the genetic control of the traits; iv) the parents Capim Cana D'África, IJ7139, Cameroon, Guaçu/IZ2 and Cuba 115 stood out for biomass production, and the last three parents were promising for all traits studied in at least one assessment cut; v) the hybrids IAC-Campinas x IJ7139, Capim Cana D'África x Guaçu/IZ.2, Cameroon x Guaçu/IZ.2, Cameroon x Cuba 115 and CPAC x Cuba 115 showed, simultaneously, favorable performance for number of tillers, fresh biomass production and dry biomass production, respectively; vi) the family derived from the cross between Capim Cana D'África x Guaçu/I.Z.2 have the largest number of potential individuals for the traits plant height, stem diameter, fresh biomass production and dry biomass production; vii) the individual 5 from Capim Cana D'África x Guaçu/I.Z.2, planted within the blocks 1 and 2, it showed the highest dry biomass production.

Keywords: *Pennisetum purpureum* Schum., biomass, plant breeding.

1 INTRODUÇÃO

A matriz energética mundial é marcada pela alta predominância de fontes não renováveis, principalmente combustíveis fósseis, que emitem uma enorme quantidade de gases poluentes contribuindo para aumento do efeito estufa. No entanto, frente à grande demanda por energia, têm aumentado a conscientização sobre uma possível crise energética, já que constituem fontes finitas. Além disso, tem-se exercido fortes pressões no que tange o uso de fontes de energias limpas, levando os países a despertarem interesse para adoção de fontes de energias renováveis (Ong et al., 2013).

Sob esta perspectiva, é imprescindível a busca por fontes alternativas de energia visando atender três premissas básicas: i) mitigar a dependência de energia proveniente de combustíveis fósseis; ii) preservar o meio ambiente e; iii) promover um novo modelo energético com base em matérias-primas renováveis. Para isso tornar realidade, é necessária uma atuação conjunta de políticas públicas de incentivo associadas às pesquisas para dispor de alternativas eficientes e viáveis no setor energético. Diante do aumento vertiginoso da demanda por energia, os pesquisadores não podem estar alijados desta grande responsabilidade inerente ao desenvolvimento sustentável, ancorado em aspectos sociais, econômicos e ambientais.

O Brasil apresenta elevado potencial para produção de energias renováveis, em especial a biomassa. A biomassa energética é representada por todas as formas de plantas e derivados que podem ser convertidos em energia

utilizável como, madeira, grãos, talos, óleos vegetais. A utilização da bioenergia apresenta várias vantagens, dentre elas ressaltam-se: a redução dos gases poluentes, as emissões de CO₂ liberadas durante a queima da biomassa podem ser consideradas praticamente nulas, pois esse gás é reabsorvido no próximo ciclo de vida da planta, no processo de fotossíntese (Genovese et al., 2006).

Desta forma, diversos estudos têm enfatizado e/ou demonstrado resultados positivos na utilização de espécies promissoras para produção de biomassa. As principais culturas utilizadas para esta finalidade têm sido o eucalipto e a cana-de-açúcar. Entretanto, devido a promessa de expansão de fontes de energias provenientes da biomassa, outras espécies têm sido investigadas. Neste contexto, o capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) tem despontado como uma cultura promissora para fins energéticos, superando o eucalipto e a cana-de-açúcar (Osava, 2007; Silva e Rocha, 2010). A referida espécie apresenta várias vantagens para produção de biomassa em relação às demais, tais como: maior produtividade, menor extensão de área para produção, menor ciclo produtivo, podendo ser realizados dois cortes por ano, melhor fluxo de caixa, possibilidade de mecanização total e maior assimilação de carbono (Mazzarella et al., 2015).

Tendo em vista as vantagens do capim-elefante frente às espécies tradicionalmente utilizadas, há uma necessidade de desenvolvimento de variedades melhoradas para atender a demanda, uma vez que, tradicionalmente, os estudos com esta espécie eram voltados para produção animal. Sabe-se que, por se tratar de uma planta perene, em geral, há um dispêndio de várias etapas, que envolvem desde o desenvolvimento de populações até o lançamento de cultivares e longos ciclos de melhoramento. Além disso, lida com estruturas complexas e ainda é comum a observação de experimentos desbalanceados. Sob esta prerrogativa, deve-se buscar métodos de seleção acurados para serem empregados na seleção de genótipos superiores.

O procedimento indicado é o REML/BLUP e tem sido empregado em diversas espécies perenes com sucesso, tais como: *Brachiaria humidicola* (Figueiredo et al., 2012), *Panicum maximum* (Braz et al., 2013), *Saccharum officinarum* (Oliveira et al., 2008; Pedroso 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).

Este método possui vantagens na estimação simultânea de parâmetros genéticos e predição de valores genéticos: corrige os dados para os efeitos ambientais; estima os parâmetros genéticos; prediz os valores genéticos; permite comparar indivíduos através do tempo e espaço; gera resultados não viciados; maximiza a acurácia seletiva; maximiza o ganho genético e a eficiência dos programas de melhoramento; não exige balanceamento dos dados; permite utilizar simultaneamente um grande número de informações, gerando estimativas mais precisas; permite lidar com estruturas complexas de experimentos e heterogeneidade de variâncias (Resende, 2002; Viana e Resende, 2014). No entanto, são poucos estudos empregando o método REML/BLUP em capim-elefante, sendo esta uma proposta inovadora no melhoramento desta cultura visando obter êxito no processo seletivo de genótipos potenciais para produção de bioenergia.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Selecionar genótipos de capim-elefante via modelos mistos (REML/BLUP) para produção de bioenergia.

2.1 Objetivos específicos

Verificar a *performance* dos genótipos quanto à interação com os cortes de avaliação;

Estimar parâmetros genéticos via REML em populações segregantes de capim-elefante para produção de bioenergia;

Estimar a capacidade geral e a capacidade específica de genótipos de capim-elefante com potencial para produção de biomassa energética;

Predizer valores genotípicos via BLUP e realizar a seleção entre e dentro de famílias de irmãos completos de capim-elefante promissoras para produção de bioenergia.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Aspectos gerais do capim-elefante

O capim-elefante é uma das mais importantes forrageiras, sendo cultivado em quase todas as regiões tropicais e subtropicais. A África tropical é citada como seu centro de origem e diversidade, porém essa espécie dispersou-se por todo o continente, abrangendo uma extensa área desde Guiné, a oeste, até Moçambique e sul do Quênia, a leste, incluindo Angola e Zimbábue, ao sul (Brunken, 1977; Ferreira, 2005).

No Brasil, a introdução do capim-elefante ocorreu em dois momentos, inicialmente em 1920, no Rio Grande do Sul e em 1921, em São Paulo, com estacas provenientes dos Estados Unidos e Cuba, respectivamente. No entanto, seu cultivo foi disseminado por todo país por apresentar ampla adaptação ao ambiente tropical e elevado potencial de produção e qualidade de forragem (Pereira et al., 2008; Lira, et al., 2010).

Originalmente a espécie foi descrita em 1827, entretanto sofreu alterações no decorrer do tempo. Atualmente sua classificação botânica está descrita como *Pennisetum purpureum* Schum., pertence à família *Poaceae*, subfamília *Panicoideae*, tribo *Paniceae*, a qual reúne os mais importantes gêneros de plantas forrageiras tropicais, como *Urochloa*, *Megathysus*, *Melinis*, *Setaria*, *Axonopus* e *Acroceras*. O gênero *Pennisetum* é um dos mais representativos da família *Poaceae* a qual possui distribuição cosmopolita, sendo que no Brasil

ocorrem cerca de 180 gêneros e 1.500 espécies (Brunken, 1977; Xavier et al., 1993; Tcacenco e Botrel, 1997).

O gênero *Pennisetum* possui mais de 140 espécies com diferentes níveis de ploidias que variam de diploides a octaploides (Techio et al, 2008) O capim-elefante é alotetraploide ($2n=4x=28$), com comportamento diploide normal, apresentando genoma A'A'BB (Hanna, 1984; Techio et al., 2008). Alguns estudos têm abordado a instabilidade do número de cromossomos nesta espécie, o que tem possibilitado classificação errônea de alguns genótipos. Um estudo que ilustra este fato foi conduzido por Davide et al. (2007), que analisaram a variação cromossômica do genótipo BAG 55, até então, pertencente à espécie *Pennisetum purpureum*. Os resultados das análises mitóticas e meióticas confirmaram o número cromossômico desse genótipo como sendo $2n=54$, indicando que não se trata de capim-elefante, mas de uma espécie selvagem do gênero *Pennisetum*.

No capim-elefante observa-se uma distinção em suas características morfológicas e fenológicas. Dentre elas ressaltam-se: ciclo perene, hábito de crescimento cespitoso, colmos eretos, cilíndricos, glabros e preenchidos por um parênquima suculento, dispostos em touceiras variando de 3,5 a 6,0 m de altura, com entrenós de 15 a 20 cm de comprimento e diâmetro de até 2,5 cm; raízes grossas e rizomatosas. As folhas atingem até 1,25 m de comprimento por 4,0 cm de largura, nervura central larga de cor mais clara, disposição alternada, bainha lanosa, fina, estriada, lígula curta e ciliada (Deresz, 1999).

O conhecimento acerca do sistema reprodutivo e o modo de propagação de uma espécie é importante para propor as estratégias adequadas para serem empregadas no programa de melhoramento genético. As inflorescências do capim-elefante são do tipo panícula, densamente floridas por espiguetas isoladas ou em grupos e as flores podem ser unissexuais masculinas ou hermafroditas. O intervalo médio de tempo decorrido entre a emissão dos estigmas e a abertura das anteras é de aproximadamente sete dias (Deresz, 1999), o que dificulta a autofecundação e facilita os cruzamentos controlados. A variação do florescimento entre os genótipos permite classificá-los em precoces, intermediários e tardios. É uma espécie alógama, protogínica, sendo que a taxa de polinização cruzada depende da época de florescimento dos genótipos envolvidos (Lira et al., 2010).

O cultivo dessa espécie é realizado, principalmente, por meio de propagação vegetativa, utilizando-se segmentos de colmos garantindo que a identidade genética dos clones possa ser mantida a cada geração, bem como permite a obtenção de populações uniformes (Pereira e Lédo, 2008). Além disso, o cultivo por meio de sementes possui maior risco, pois estas apresentam baixa taxa de germinação e vigor, devido à depressão endogâmica (Pereira, 2001). No entanto, Xavier et al. (1993) ressaltam que, embora haja baixa taxa de viabilidade do cultivo por meio de sementes (23 a 36%), a germinação pode atingir até 90% em alguns genótipos, o que possibilita a exploração de cruzamentos controlados.

3.2 Importância socioeconômica do capim-elefante e seu uso como fonte de energia

As plantas forrageiras tropicais possuem grande importância no cenário agropecuário brasileiro, pois constituem a principal fonte de alimentação dos animais do rebanho leiteiro e de corte. Nesse contexto, o capim-elefante se destaca devido sua facilidade de adaptação às condições edafoclimáticas adversas (Paciullo et al., 2008; Lima et al., 2011), fácil multiplicação, alta produção de forragem (Pegoraro et al., 2009), excelente potencial para produção de matéria seca, elevado valor nutricional e palatabilidade.

O elevado potencial de produtividade do capim-elefante está associado ao fato de compor o grupo de plantas de metabolismo C_4 , possuindo alta eficiência fotossintética. Segundo Lima et al. (2008), esta espécie pode produzir até 14,5 toneladas de matéria seca por hectare aos 56 dias de rebrota. Durante muito tempo, o capim-elefante era empregado apenas na alimentação animal. Desta forma, os estudos eram voltados para características de valores nutritivos, tais como: alto teor de proteína e baixos teores de fibra, boa digestibilidade e palatabilidade (Monteiro et al 2011; Oliveira et al. 2012). Além da utilização do capim-elefante na alimentação animal, como tem sido seu uso tradicional, estudos apontam um grande potencial desta espécie como fonte alternativa de energia (Paterlini et al., 2013; Laurent et al., 2015; Mohammed et al., 2015; Oliveira et al, 2015; Borges et al., 2016; Ghosh, 2016; Menezes et al., 2016a, 2016b)

A matriz energética mundial é marcada pela alta predominância de fontes não renováveis. No Brasil, a composição da oferta interna de energia, no último relatório do balanço energético nacional, foi de 58,8% proveniente de fontes não

renováveis (MME, 2016). No entanto, a demanda crescente por combustíveis fósseis tem aumentado a conscientização sobre uma possível crise energética, uma vez que constituem fontes finitas (Ong et al., 2013). Além disso, têm-se intensificado as discussões acerca das questões relacionadas ao impacto ambiental negativo, devido às altas taxas de emissão de gases que aumentam o efeito estufa. Portanto, é imprescindível a busca por fontes alternativas de energias a fim de mitigar o uso de combustíveis fósseis, bem como preservar as cadeias biológicas.

Frente aos efeitos prejudiciais do uso demasiado de energia proveniente de combustíveis fósseis, têm-se aumentado a adoção de fontes renováveis para geração de energia. Isso pode ser ratificado pelos constantes aumentos no percentual da inserção de fontes renováveis de energia, por exemplo, no ano de 2014 e 2015 este percentual equivalia-se a 39,4 e 41,2%, respectivamente (MME, 2016). Vale ressaltar que, para o ano de 2016, o Ministério de Minas e Energia estima uma participação de 43,9% das fontes renováveis na matriz energética nacional. Quando considerada a oferta de energia elétrica, as estimativas para o ano vigente mostram vantagens ainda maiores, podendo chegar a 79,3% de participação.

Além destes resultados positivos no território brasileiro, ressalta-se que esta temática é discutida a nível mundial. Recentemente foi aprovado o primeiro acordo internacional para mitigar as emissões de gases do efeito estufa, bem como os impactos da mudança climática, durante a 21ª Conferência do Clima das Nações Unidas (COP-21), realizada no mês de dezembro de 2015, em Paris, França. Nesta ocasião, 195 países se reuniram para discutir sobre os impactos das mudanças climáticas, visando à substituição por fontes de energia limpa. Segundo o documento, os países devem organizar estratégias para reduzir o aumento da temperatura média global, que deve ficar abaixo de 2 °C (United Nations Framework Convention on Climate Change-UNFCCC, 2015).

Além dos grandes benefícios do uso de energia proveniente de fontes renováveis para o meio ambiente, vale mencionar que esta vem promovendo excelentes resultados quanto aos aspectos socioeconômicos. Segundo Agência Internacional de Energias Renováveis (IRENA) mais de 8,1 milhões de pessoas no mundo estão empregadas pela indústria de energias renováveis, sendo que o segmento de energia solar fotovoltaica é o maior empregador em todo o mundo,

enquanto que a biomassa sólida ocupa a 5ª posição no posto de emprego (Figura 1). Os países com o maior número de empregos em energias renováveis em 2015 foram China, Brasil, Estados Unidos, Índia, Japão e Alemanha (IRENA, 2016). Este crescimento está ocorrendo devido à queda nos custos de tecnologia e por políticas públicas mais favoráveis.

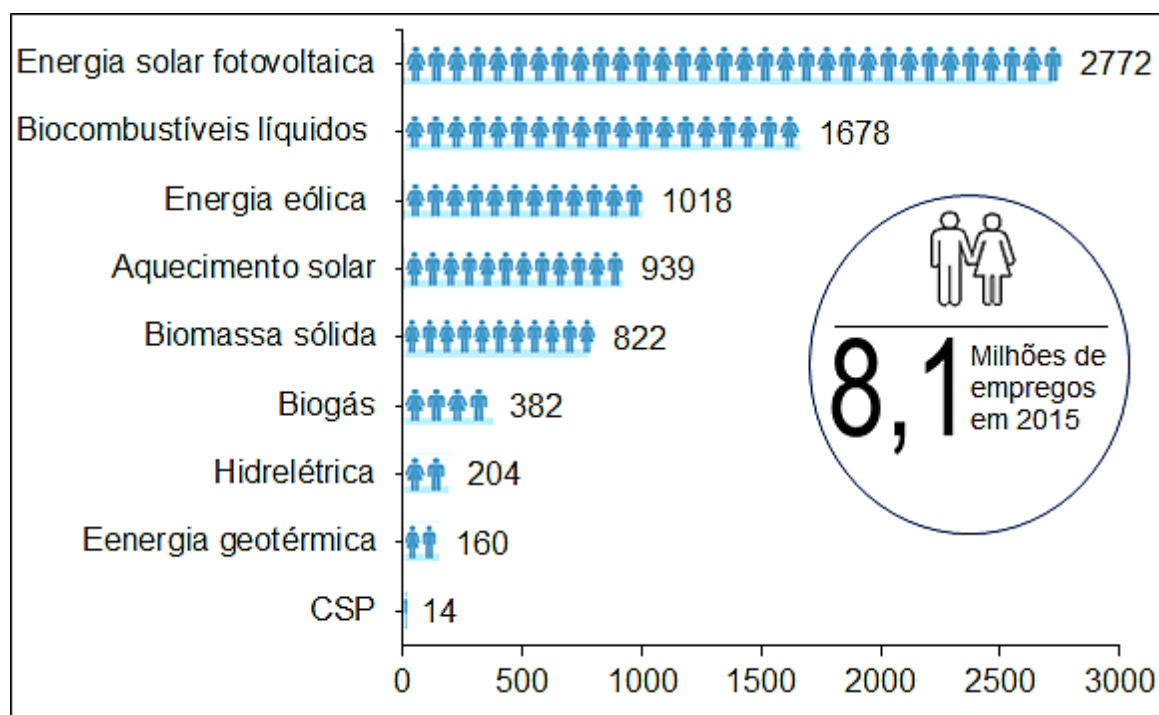


Figura 1. Número de pessoas empregadas pelas energias renováveis no mundo, Revisão Anual, 2016.

No Brasil, a expressiva participação da energia hidráulica e o uso representativo da biomassa na matriz energética proporcionam indicadores de emissões de CO₂ bem menores do que a média mundial e dos países desenvolvidos. Em 2015, em termos de tCO₂ tep⁻¹ (tonelada de dióxido de carbono por tonelada equivalente de petróleo) de energia consumida, o indicador do Brasil ficou em 1,56, enquanto que a média mundial foi de 2,35 (MME, 2016). A biomassa energética é representada por todas as formas de plantas e derivados que podem ser convertidos em energia utilizável como, madeira, grãos, talos, óleos vegetais (Genovese et al., 2006)

A biomassa sempre teve importância como fonte de energia, desde os primórdios da humanidade, essencial para preparação de alimentos, ou como fonte de calor e iluminação, bem como no desenvolvimento industrial,

movimentando as primeiras máquinas a vapor (Zanetti, 2010). Entretanto, só foi intensificada a partir dos anos 1980, sendo que, inicialmente, a principal finalidade energética era a combustão direta em fornos em substituição à lenha e o carvão, muitas vezes passando por um adensamento e estruturação em pellets, cubos ou briquetes. Desta forma, a importância da biomassa tornou-se essencial na sociedade moderna (Flores, 2009).

A utilização da bioenergia apresenta várias vantagens, dentre elas ressaltam-se redução dos gases poluentes, as emissões de CO₂ liberadas durante a queima da biomassa podem ser consideradas praticamente nulas, pois esse gás é reabsorvido no próximo ciclo de vida da planta, no processo de fotossíntese (Genovese et al., 2006). Além disso, o Brasil apresenta enorme potencial para adoção de exploração da bioenergia, pois é o país com melhor localização geográfica e condições climáticas para esta finalidade, porém seu uso está aquém do seu potencial produtivo.

Deste modo, várias plantas, incluindo espécies forrageiras e florestais, passaram a ser estudada com finalidade energética: capim-elefante (Daher et al., 2014; Rocha et al., 2015; Ghosh, 2016; Menezes et al., 2016a; Salazar-Zeledón et al., 2016), cana-de-açúcar (Szczerbowski et al., 2014; Bordonal et al., 2015), sorgo (Silva et al., 2016), eucalipto (Eufrade Junior et al., 2016). No entanto algumas culturas apresentam baixa produtividade de biomassa seca. Para avaliar a viabilidade técnica de qualquer programa bioenergético, estima-se o balanço energético, que corresponde à relação entre quantidade total de energia produzida por unidade de energia fóssil invertida em todo o processo de produção do biocombustível, sendo que esta característica dependerá também da energia gasta no processo de transformação do produto agrícola (Sá et al., 2013).

Em um estudo comparativo quanto ao balanço energético do capim-elefante x eucalipto, Mazarella et al. (2016) relataram alguns resultados da superioridade do capim-elefante sobre o eucalipto. Em termos de biomassa seca o capim-elefante sempre apresentou maiores balanços energéticos, tanto melhor quanto menor a incidência de energia elétrica ou de diesel. Comparando-se a briquetagem com secagem solar, os valores de balanço na razão de 14,45 e 11,35 para capim-elefante e eucalipto, respectivamente. Com estes resultados preliminares, os autores almejam demonstrar a viabilidade técnica e energética do

capim-elefante frente às biomassas tradicionais e introduzir o capim-elefante como cultura bioenergética.

Ainda em comparação com o eucalipto, Osava (2007) faz uma ressalva quanto à vantagem do ciclo de vida do capim-elefante, posto que o mesmo pode ser cortado duas vezes ao ano, ao passo que o eucalipto necessita de seis anos para a idade ideal para corte. Além disso, o capim-elefante, quando manejado adequadamente, pode produzir cerca de 189.000.000 kcal ha⁻¹ ano⁻¹ valor superior ao obtido pelo eucalipto, que produz em média 92.820.00 kcal ha⁻¹ ano⁻¹ (Silva e Rocha, 2010). O capim-elefante tem se mostrado promissor para fins energéticos, superando o eucalipto e, ainda, a cana-de-açúcar. Sua biomassa seca pode gerar 25 unidades de energia para cada uma de origem fóssil consumida em sua produção, enquanto que a cana, convertida em etanol, alcança uma relação de apenas nove para um (Osava, 2007).

Em síntese, a espécie apresenta várias vantagens para produção de biomassa em relação às demais matérias-primas, tais como: maior produtividade, menor extensão de área para uma dada produção, menor ciclo produtivo, podendo ser realizado dois cortes por ano, melhor fluxo de caixa, possibilidade de mecanização total, energia renovável e maior assimilação de carbono (Mazzarella et al., 2015). Por não compor a dieta humana e de ser totalmente utilizável, esta espécie está à frente de outras espécies utilizada como fonte energética, principalmente em comparação à cana-de-açúcar, em que seus principais produtos são o álcool e o açúcar.

Deste modo, em estudos visando produção de energia, algumas características devem ser levadas em consideração. Dentre essas características, destacam-se maior velocidade de crescimento, maior produtividade, eficiência energética, as quais dependem da constituição química e teores de celulose, lignina e outros componentes que influenciam na produção energética por combustão (Quirino et al., 2005). Além disso, possui alto teor de fibra, a porcentagem de folha diminui e a de colmo aumenta, com o intervalo de corte, resultando na redução linear para teores de proteína bruta e conteúdo celular e acréscimo linear no teor de fibra.

Diante disso, estudos têm sido conduzidos para avaliar não apenas rendimento de biomassa, mas a sua qualidade para fins energéticos. Rueda et al. (2016) avaliaram crescimento, produção e conteúdo de fibra de oito variedades de

Pennisetum purpureum (CT115, African Cane, Taiwan, King Grass, Vruckwona, Roxo, OM22 e Cameroon). Os autores relataram que o rendimento médio de biomassa foi de 21,10 t ha⁻¹, as variedades African Cane e King Grass apresentaram maior teor de hemicelulose, a variedade African Cane apresentou ainda alto teor de celulose juntamente com a Vruckwona. Os autores recomendaram as variedades African Cane, King Grass, Vruckwona e Taiwan para fins energéticos face ao seu desempenho superior quanto ao teor de fibras.

Sousa et al. (2016) também avaliaram a qualidade de biomassa de híbridos de capim-elefante, juntamente com seus genitores. Os autores avaliaram dois grupos de genótipos de capim-elefante: Taiwan A-144, Vruckwona, Pusa Napier nº 2 e Porto Rico 534-B (genitores masculinos); Mercker Santa Rita, Taiwan A-146, Mercker S. E. A. e Napier nº 2 (genitores femininos). Conforme os resultados obtidos, foi possível observar que as combinações híbridas Mercker Santa Rita x Taiwan A-144, Mercker S. E. A x Taiwan A-144, Mercker Santa Rita x Vruckwona, Mercker S. E. A x Vruckwona, Mercker Santa Rita x Pusa Napier nº 2 e os genitores Porto Rico 534-B e Taiwan A-146 possuem qualidades satisfatórias de biomassa e, com isso, apresentam potencial para fins energéticos.

Outra característica de suma importância para combustão direta é o poder calorífico, que é definido como quantidade de energia na forma de calor liberado pela combustão de uma unidade de massa de um material. O poder calorífico superior é aquele em que a combustão se efetua a volume constante e na qual a água formada durante a combustão é condensada e o calor que é derivado desta condensação é recuperado (Flores, 2009). É importante salientar que o capim-elefante deve ser menos nutritivo, pois a presença de sais minerais gera cinzas que podem danificar os fornos (Rocha et al., 2009). Diante do exposto, é essencial o desenvolvimento de genótipos melhorados de capim-elefante para atender a demanda para a produção de energia renovável.

3.3 Estratégias de melhoramento genético em capim-elefante

As estratégias de melhoramento genético adotadas, em cada espécie de plantas, estão diretamente relacionadas com o sistema reprodutivo bem como a forma de propagação. Estas informações são úteis para nortear um programa de melhoramento, ou seja, possibilita um direcionamento de quais métodos empregar. O capim-elefante é uma espécie alógama de florescimento protogínico

e pode ser propagado via sexual ou assexual sendo que esta última constitui vantagem, uma vez que, obtidos genótipos superiores, pode fixá-los por meio da propagação vegetativa e utilizá-los em larga escala (Pereira et al., 2001).

No melhoramento de plantas perenes, em geral, adotam-se as seguintes etapas: i) pré-melhoramento - coleções de germoplasma são avaliadas para estabelecimento das populações de melhoramento com base na informação genética e desempenho individual; ii) fase de melhoramento - os indivíduos superiores da população de melhoramento são recombinados para obter as progênes promissoras e, posteriormente, são selecionadas com base no seu valor genético para os caracteres de interesse e; iii) lançamento de variedades elite - os indivíduos, previamente selecionados com base nos seus valores genéticos, são propagados para estabelecimento dos testes clonais e são selecionados com base no seu desempenho para ser lançado como variedade elite (Alves et al., 2015).

Partindo desse pressuposto, a maioria das plantas forrageiras tropicais de importância econômica possui ampla variabilidade genética, que pode ser explorada para obtenção de novas cultivares com características desejáveis (Araújo et al., 2008). Para implementação de banco de germoplasma, é essencial dispor de variabilidade genética, portanto deve-se estudar a diversidade da espécie para que as coleções contenham o máximo da variabilidade da mesma. As principais coleções de capim-elefante, no Brasil, encontram-se na Embrapa Gado de Leite, Universidade Federal de Pelotas, Empresa de Pesquisa Agropecuária de Santa Catarina e Instituto Agrônomo Pernambucano.

No entanto, a maioria dos genótipos destas coleções é comum e foram introduzidos do banco de germoplasma da Embrapa Gado de Leite – BAGCE (Pereira, 2001), que também foi constituída por introdução de Instituições do exterior e do Instituto de Pesquisa de Alagoas. A Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) vem desenvolvendo estudos para obtenção de variedades para produção animal, bem como para fins energéticos (Daher et al., 2014; Oliveira et al., 2014a; Rossi et al., 2014; Menezes et al., 2016a). Os genótipos que contém no BAG desta instituição são oriundos da Embrapa Gado de Leite. A Embrapa Agrobiologia, após dez anos de pesquisa, indicou quatro variedades com elevada produção de biomassa (Gramafante, Comeroon Piracicaba e BAG 02), a produção destas cultivares pode chegar a 60 t ha⁻¹ ano⁻¹.

O estudo da diversidade genética permite a identificação de genótipos semelhantes ou duplicados, o que têm sido comum nos bancos de germoplasma de capim-elefante, além de identificar os mais divergentes, que poderão ser usados em cruzamentos para formação de população segregante, visando exploração da heterose. Assim, a caracterização dos genótipos deve ser realizada tanto a nível fenotípico quanto molecular, uma vez que este último é útil, principalmente, na eliminação de duplicatas (Borém, 2005).

Neste contexto, com objetivo de caracterizar o banco de germoplasma de capim-elefante da Universidade Estadual do Norte Fluminense, Lima et al. (2011) estimou a diversidade genética entre 46 genótipos de capim-elefante baseada em marcadores de DNA (RAPD e ISSR). As distâncias genéticas foram estimadas pelo índice de Jaccard e agrupadas pelas médias aritméticas não ponderadas (UPGMA) e pelo método de otimização de Tocher. Os resultados constataram ampla variabilidade de genótipos de capim-elefante, demonstrando polimorfismo, não sendo detectadas duplicatas. Os genótipos mais próximos geneticamente foram Mineiro e Napier, ao passo que os mais distantes foram Merker S.E.A e Merkeron Comum de Pinda.

As estratégias de melhoramento genético empregadas no capim-elefante são as mesmas utilizadas para espécies alógamas (Pereira, 2001). No entanto, deve-se atentar para algumas características específicas dessa espécie, que pode contribuir para o processo, como florescimento protogínico, elevado número de inflorescência por planta, florescimento gradual, propagação vegetativa e por meio de sementes, ciclo perene, germoplasma com ampla variabilidade e possibilidade de cruzamento interespecífico (Pereira e Lédo, 2008).

O melhoramento desta espécie pode ser feito por introdução de cultivares, pois esta é uma estratégia simples em virtude da rapidez na obtenção de resultados e pelo custo, conforme o desempenho dos genótipos multiplica-os para distribuição aos produtores. Outra opção seria por meio de hibridação intra e interespecífica, que, segundo Hanna (1999) é a melhor estratégia para se obter cultivares superiores. Além dessas estratégias mencionadas, é possível adotar o melhoramento populacional, neste caso o procedimento baseia-se no aumento da frequência alélica de caracteres desejáveis, visando obter variedades propagadas por meio de sementes que não apresentem perda de vigor em relação a seus genitores.

Conforme foi reportado anteriormente, a variabilidade genética é essencial para iniciar um programa de melhoramento genético, após a obtenção de informações quanto à variabilidade, os esforços são concentrados na formação da população de melhoramento. Em programas de melhoramento, envolvendo hibridações, a seleção de genitores constitui uma das etapas mais importantes. É essencial que a escolha destes seja feita de forma criteriosa, pois quando é baseada apenas em caracteres agronômicos desejáveis, não assegura a obtenção de progênies com alto potencial genético. Uma técnica que auxilia nesta escolha com base nos seus valores genéticos e, principalmente, considerando a sua capacidade de se combinarem em híbridos que gerem populações segregantes promissoras, é a de cruzamentos dialélicos (Ramalho et al., 1993).

As análises dialélicas têm por finalidade estimar parâmetros úteis na seleção de genitores para hibridação e no entendimento dos efeitos genéticos envolvidos na determinação dos caracteres. Possibilita quantificar a variabilidade genética dos caracteres avaliados, a importância relativa dos efeitos genéticos aditivos expressos para os efeitos associados à capacidade geral de combinação (CGC) bem como os efeitos devidos aos desvios da dominância, associados à capacidade específica de combinação (CEC). A primeira é a medida do desempenho relativo de um genótipo em uma série de cruzamentos, enquanto a segunda caracteriza o desempenho de combinações híbridas específicas em relação à média dos genitores (Cruz et al., 2012).

Os cruzamentos dialélicos são poucos empregados em culturas perenes, alguns são reportados em capim-elefante (Menezes et al., 2016a, 2016b), braquiária (Figueiredo, 2015); eucalipto (Teixeira et al., 2013). Menezes et al (2016a) avaliaram o desempenho *per se* de híbridos de capim-elefante, obtidos em delineamento genético dialélico parcial, e seus genitores para fins energéticos por meio de características morfoagronômicas. Verificou-se que os híbridos Cubano Pinda x Taiwan A-144, Cameroon-Piracicaba x Três Rios, Cameroon-Piracicaba x Mercker 86-México, Cameroon-Piracicaba x Roxo, P241-Piracicaba x Mercker 86-México, IAC Campinas x Três Rios e IAC-Campinas x Mercker 86-México) apresentaram alta produção de biomassa.

No entanto, sua utilização pode ser limitante em função do número de genitores envolvidos. O estudo da capacidade combinatória de um conjunto grande de genitores, por meio de cruzamentos dialélicos, é inviável na prática,

pelo grande número de polinizações manuais exigidas, pelas dificuldades operacionais em campo no nível desejado de precisão e, também, devido à escassez de recursos humanos e financeiros. Entretanto, de acordo com Cruz et al. (2012), quando se avaliam poucos genitores e combinações híbridas, os estimadores das diferenças dos efeitos da capacidade geral de combinação ficam sujeitos a uma grande variação residual e, ainda, os reduzidos graus de liberdade associados aos efeitos da capacidade específica de combinação podem dificultar os testes estatísticos.

Diante disso, para contornar este entrave, Kempthorne e Curnow (1961) apresentaram o delineamento genético do dialelo circulante. Desta forma, apenas parte das possíveis combinações híbridas são utilizadas para estimar os efeitos genéticos. Os mesmos autores mencionam algumas vantagens, tais como: um grande número de genitores pode ser avaliado quanto à capacidade combinatória, sendo que a perda de precisão é compensada pelo maior ganho genético obtido por meio de uma seleção mais intensa, que pode ser aplicada aos genitores; a seleção pode ser feita entre os cruzamentos de uma amplitude maior de genitores; a variância devida à capacidade geral de combinação da população em que os genitores são incluídos pode ser estimada mais precisamente.

Alguns autores mencionam ineficiência com o uso do dialelo circulante devido à ausência de alguns cruzamentos. Neste sentido, estudos têm sido realizados para elucidar essas hipóteses. Veiga et al. (2000) avaliaram a eficiência do dialelo circulante em relação ao dialelo completo por meio de simulação de dados e concluíram que esses possuem eficiência comparável à do completo, tanto na classificação dos genitores quanto à capacidade geral e capacidade específica de combinação, bem como na magnitude das estimativas desses parâmetros. Murty et al (1967) e Anand e Murty (1969) estudaram as precisões das estimativas da CGC para valores de número de cruzamentos de cada genitor (s) = 9, 7, 5 e 3. Trabalhando com dez cultivares de *Linum usitatissimum* concluíram que se o número de genitores (n) for grande, o valor de s poderá ser menor que $n/2$.

Até o momento, segundo o levantamento bibliográfico realizado, inexistem relatos na literatura que reportam o uso do dialelo circulante em capim-elefante. Desta forma, é pertinente o seu uso nesta cultura, principalmente devido à dificuldade para obter as combinações híbridas. O dialelo circulante tem sido

empregado na cultura do milho (Pfann et al., 2009; Freitas Júnior et al., 2006) de forma eficiente. Garbuglio e Araújo (2014) estudando o potencial genético de linhagens parcialmente endogâmicas e híbridos comerciais de milho, identificaram linhagens eficiente para a obtenção de híbridos de alta produtividade oriundos a partir de linhagens parcialmente endogâmicas. Além disso, verificaram que o dialelo circulante interpopulacional é eficiente na seleção de linhagens.

Ainda sobre esta temática, Vivas et al. (2014) avaliaram a eficiência do dialelo circulante, via modelos mistos, na seleção de genótipos de *Carica papaya* resistentes a doenças fúngicas foliares. De acordo com os resultados obtidos, os autores verificaram que o método foi eficiente na classificação dos genitores em relação à sua capacidade de combinação comparando-se ao dialelo completo. O número de cruzamentos (s) de cada genitor envolvido no dialelo afeta as estimativas de capacidade combinatória, porém, com três cruzamentos por genitor foi possível obter boa concordância (correlação acima de 0,8) entre as estimativas de capacidade de combinação.

Após obtenção da população segregante, é essencial quantificar a magnitude das variâncias de origem genética *versus* aquelas devido ao ambiente para se estimar adequadamente o potencial da população em resposta à seleção (Falconer, 1987; Miranda Filho e Halauer, 1982). As estimativas dos parâmetros genéticos permitem obter informações sobre a natureza da ação gênica envolvida na herança dos caracteres e fornece a base para a avaliação dos programas de melhoramento (Vencovsky e Barriga, 1992). Dentre os parâmetros que mais interessam ao melhorista, destacam-se as estimativas da variância genotípica e da herdabilidade, uma vez que estes quantificam o potencial de melhoramento da população e apontam qual estratégia de seleção deve-se utilizar visando à alteração dos alelos favoráveis.

É necessário destacar que, no melhoramento de plantas perenes, o interesse do melhorista deve ser nos seus valores genotípicos e não em suas médias fenotípicas, uma vez que estas não se repetem. Nesse sentido, quando se trata de experimentos desbalanceados, o uso do método REML/BLUP (melhor preditor linear não viesado/ máxima verossimilhança residual) deve ser o procedimento escolhido para obtenção de estimativas acuradas.

3.4 Modelos mistos (REML/BLUP) no melhoramento de capim-elefante

Estatisticamente, os efeitos dos fatores de um modelo podem ser fixos ou aleatórios, dependendo da natureza amostral dos genótipos. No modelo fixo, os níveis em estudo são escolhidos pelo pesquisador, de forma que o interesse centra-se nesses níveis (Eisenhart, 1974). Neste caso, as conclusões são restritas aos genótipos estudados, não podendo ser generalizadas. Já no modelo aleatório, os níveis em estudo correspondem a uma amostra aleatória de uma população de referência, permitindo estimar os componentes de variância genéticos, possibilitando inferências mais amplas. Além disso, o mesmo modelo pode conter efeitos fixos e aleatórios, além da média e do erro, o que constitui o modelo misto (Fritsche-Neto et al., 2010).

Quando se considera os genótipos fixos, o interesse do melhorista está voltado para estimação das médias fenotípicas ajustadas para fins de ranqueamento e seleção. Já no caso em que os genótipos são considerados aleatórios, o interesse é a estimação de componentes de variância e covariância dos efeitos aleatórios. A consideração dos efeitos dos genótipos como aleatórios é essencial ao melhoramento genético, pois é a única forma de se fazer seleção genética, caso contrário, a seleção é fenotípica. Isso porque a única forma de se eliminar os efeitos ambientais residuais embutidos nos dados fenotípicos é por meio de *shrinkage* ou multiplicação do valor fenotípico corrigido por uma função da herdabilidade do caráter sob seleção. Este procedimento lida naturalmente com o desbalanceamento conduzindo a estimações e predições mais precisas (Resende, 2007).

O sucesso do melhoramento genético depende da utilização de eficientes delineamentos genéticos e experimentais, além de posterior utilização de procedimento de seleção que explorem todos os atributos favoráveis destes delineamentos. Em plantas perenes, é comum a observação de experimentos desbalanceados, neste caso a utilização de análises tradicionais como a análise de variância (Anova) leva às estimativas imprecisas de componentes de variância. Para contornar este entrave, o procedimento indicado é o REML/BLUP, ou seja, a estimação de componentes da variância por máxima verossimilhança restrita (REML) e a predição de valores genéticos pela melhor predição linear não viciada (BLUP).

O BLUP (*Best Linear Unbiased Prediction*) foi proposto por Henderson (1975) como uma forma de predição dos efeitos aleatórios, ajustando os dados aos efeitos fixos e ao número desigual de informações por meio de modelos mistos. O BLUP maximiza a acurácia seletiva e, portanto, é superior a qualquer outra estratégia de seleção, considerando dados desbalanceados (Resende et al., 2002). Piepho et al. (2008) faz uma ampla abordagem das aplicações do BLUP em melhoramento de plantas e teste de progênies, relatando as vantagens potenciais do BLUP que foram demonstradas em um número considerável de publicações.

Viana et al. (2010) realizaram um estudo para comparar a precisão e a eficiência do BLUP para um e para múltiplos caracteres e BLUE/ANOVA no melhoramento do milho usando famílias de meios irmãos. O método BLUP de múltiplos caracteres demonstrou maior eficiência e precisão na seleção de famílias e que esta eficiência foi dependente dos parâmetros genéticos, especialmente entre as correlações genéticas e ambientais de caracteres.

No entanto, para aplicação do BLUP, são necessárias estimativas de componentes de variância e de parâmetros genéticos. Desta forma, um procedimento ótimo para obter estas estimativas é o REML (*Restricted Maximum Likelihood*) (Viana e Resende, 2014). Este método foi desenvolvido por Patterson e Thompson (1971), é não viciado e permite a imposição de não negatividade. O REML elimina o vício devido a mudanças nas frequências alélicas pela seleção pelo uso da matriz de parentesco. Assim torna-se possível a estimação dos componentes de variância para uma população base não selecionada e a predição de valores genéticos de indivíduos de quaisquer gerações é realizada com precisão.

As principais vantagens do método REML/BLUP na estimação simultânea de parâmetros genéticos e predição de valores genéticos são: corrige os dados para os efeitos ambientais; estima os parâmetros genéticos e prediz os valores genéticos; permite comparar indivíduos através do tempo e espaço; produz resultados não viciados; maximiza a acurácia seletiva; maximiza o ganho genético e a eficiência dos programas de melhoramento; não exige balanceamento dos dados; permite utilizar simultaneamente um grande número de informações, gerando estimativas mais precisas; permite lidar com estruturas complexas de

experimentos e heterogeneidade de variâncias (Resende, 2002; Viana e Resende, 2014).

O procedimento REML/BLUP tem sido empregado com sucesso em diversas espécies perenes, tais como: *Pennisetum purpureum* (Rocha, 2015; Silva, 2016), *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) *Coffea arabica* (Rodrigues et al., 2013; Carias et al., 2016). Ferreira et al., (2012) estimaram parâmetros e valores genotípicos por meio do procedimento BLUP na espécie *Toona ciliata*, com medidas repetidas, por meio dos processos de avaliações convencionais e da introdução da digitalização, para subsidiar o início de um programa de melhoramento genético para espécie. O método de modelos mistos (REML/BLUP) mostrou-se adequado para estimar parâmetros genéticos e prever valores genotípicos em situações de dados desbalanceados.

Vale ressaltar que, este procedimento também tem sido empregado em plantas anuais. Desta forma, percebe-se substancial importância no melhoramento genético de plantas, visto que proporciona máxima eficiência no processo seletivo. De posse das informações obtidas por meio do procedimento REML/BLUP é possível direcionar as estratégias de seleção, dentre as alternativas possíveis, destaca-se a seleção de família.

3.5 Seleção de famílias de capim-elefante

Essa estratégia consiste em selecionar famílias superiores, a qual é efetuada na primeira fase de seleção e, posteriormente seleciona-se os indivíduos potenciais dentro desta família (Jackson e McRae, 1998). O teste de progênie, método rotineiramente utilizado no melhoramento de plantas, é considerado como uma forma de seleção de famílias, tendo em vista que a seleção é realizada com base no valor médio da progênie.

No entanto, têm se buscado critérios mais eficientes no que diz respeito à seleção de famílias, considerando, por exemplo, seus valores genotípicos. Assim um método que vem sendo utilizado para auxiliar na seleção de famílias é a predição de valores genotípicos via BLUP individual que utiliza a informação de famílias e de indivíduos para seleção (Resende, 2002). Desta forma, seleciona-se

as melhores famílias e rejeita-se aquelas que apresentarem baixos valores genotípicos (Oliveira et al, 2011).

Diversos estudos têm demonstrado que a seleção de famílias apresenta uma significativa vantagem na cultura da cana-de-açúcar (Resende e Barbosa, 2006; Oliveira et al., 2008; Xavier et al., 2014), uma vez que, neste tipo de avaliação, selecionam-se as famílias superiores e possibilita maior probabilidade de identificar genótipos promissores dentro da família (Cruz et al., 2012).

Oliveira et al. (2008), realizou um estudo visando selecionar famílias de cana-de-açúcar oriundas de cruzamentos biparentais para produção de biomassa via modelo misto. Os autores compararam a seleção individual com a seleção de famílias, observaram que herdabilidade individual apresentou média magnitude, enquanto que em nível de famílias a herdabilidade média das famílias foi alta magnitude. Assim os autores mencionaram que a seleção de famílias por meio de modelos mistos REML/BLUP pode ser uma estratégia importante para identificar famílias com elevados valores genotípicos, onde haveria maior probabilidade de seleção de clones potencias.

A eficiência dessa seleção baseia-se no fato de que os desvios dos efeitos ambientais dos indivíduos tendem a se anular. Dessa forma, o valor fenotípico médio da família aproxima-se do valor genotípico médio e as vantagens obtidas serão maiores quando os desvios do ambiente constituírem uma grande parte da variância fenotípica ou, em outras palavras, quando a herdabilidade for baixa (Falconer e Mackay, 1996).

Assim sendo, esta estratégia pode ser viável na seleção de genótipos de capim-elefante para produção de biomassa, visto que este caráter é fortemente influenciado pelo ambiente, conseqüentemente apresenta baixa herdabilidade. No processo seletivo, principalmente de plantas perenes, é essencial considerar vários anos e/ou cortes de avaliação, uma vez que os indivíduos são submetidos às condições ambientais diferentes. Isto posto, salienta-se a necessidade do conhecimento do componente da interação genótipos x ambientes (GxA) sendo essencial neste processo, pois analisa a existência de desempenho diferencial de genótipos em diferentes ambientes (Veríssimo et al., 2012).

3.6. Interação genótipos x ambientes em capim-elefante

A interação G x A é definida como a expressão diferencial de genes em função da variação ambiental. Um grupo de indivíduos pode demonstrar o melhor desempenho em um ambiente, mas desenvolve-se mal em outro (Quijada, 1980). A ocorrência da interação G x A é um processo natural que faz parte da evolução das espécies e seus efeitos permitem o surgimento de genótipos estáveis e adaptados a um ambiente específico, ou de desempenho geral, adaptados a vários ambientes (Eberhart e Russell, 1966).

Dessa forma, (Allard e Bradshaw, 1964) consideram a existência de duas condições que contribuem para a interação dos genótipos com o ambiente ao qual é submetido. A primeira é previsível e inclui todos os fatores permanentes do ambiente, como características gerais do clima, do tipo de solo e também as características do ambiente que variam de forma sistemática. A segunda condição é a variação imprevisível, inclui as flutuações variáveis do ambiente, como a distribuição de chuvas e variações na temperatura do ar e umidade relativa do ar, entre outras.

A priori, a interação genótipos x cortes é considerada como um grande desafio para os melhoristas, pois pode inflacionar as estimativas de variância genética, resultando em superestimativas dos ganhos genéticos esperados, além disso, há dificuldades para recomendação. Por outro lado, interações positivas associadas com características previsíveis do ambiente oferecem oportunidade de rendimentos mais elevados, tirando-se proveito desta interação (Duarte; Vencovsky, 1999).

No melhoramento de plantas forrageiras, como capim-elefante, a seleção de genótipos superiores tem sido realizada mediante a realização de cortes sucessivos em intervalos previamente estabelecidos. Embora estas avaliações sejam avaliadas em apenas um local, é necessário realizar uma análise conjunta para verificar se há interação genótipos x cortes, que neste caso, os cortes representam o ambiente, visto que a interação pode ser causada por diversos fatores, tais como: temperatura, umidade, precipitação pluvial; que podem oscilar em um mesmo ambiente dependendo da época do ano.

Isto posto é notório a importância de identificar a interação G x A para selecionar genótipos frente às condições ambientais em que são avaliados. Araújo (2016) avaliou a interação genótipo x cortes anuais e comparou métodos

de estabilidade e de índices de seleção em capim-elefante. De posse dos resultados, verificou-se efeitos significativos para as interações genótipos x cortes. Para a variável produção de matéria seca, identificou-se percentuais superiores a 50% expressando interação do tipo complexa, o que indica completa falta de correlação no desempenho de genótipos entre os ambientes (cortes).

Vale enfatizar que o conhecimento da variabilidade decorrente das diferenças genéticas existentes, manifestadas pelos caracteres agronômicos nas populações e o quanto se deve a diferenças genéticas é de fundamental importância em qualquer programa de melhoramento, porque permite conhecer o controle genético do caráter e o potencial da população para seleção (Ramalho et al., 2012). Se a expressão fenotípica de um genótipo para uma dada característica é dependente de condições ambientais, estimativas de sua herdabilidade poderão variar de acordo com variações das condições ambientais.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi implantado em uma área experimental pertencente à Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), localizada nas dependências do Centro Estadual de Pesquisas em Agroenergia e Aproveitamento de Resíduos (CEPEAA), da Estação Experimental da PESAGRO-RIO, em Campos dos Goytacazes, RJ, situado a 21°44'47" S, 41°18'24" W e 11 m de altitude. Os dados meteorológicos foram obtidos da estação automática agrometeorológica, localizada próximo à área experimental.

Na Figura 2 estão apresentados os valores mensais de precipitação pluvial (Figura 2A), umidade relativa do ar (Figura 2B) e temperatura (Figura 2C) referente ao período da condução do experimento (outubro de 2014 a fevereiro de 2016). Durante este período, foi registrada uma precipitação pluvial total de 1.040 mm, valor inferior à normal climatológica para o município de Campos dos Goytacazes, RJ. Os valores referentes à umidade relativa do ar variaram de 65 a 87% (Figura 2B). Em relação à temperatura, os valores estão na faixa de 21 a 28 °C, o capim-elefante desenvolve-se bem em ambientes com temperatura entre 18 e 35 °C, sendo a temperatura ótima equivalente 24 °C (Carvalho et al, 1997), as baixas temperaturas encurtam a estação de crescimento (Dall'Agnol et al., 2004).

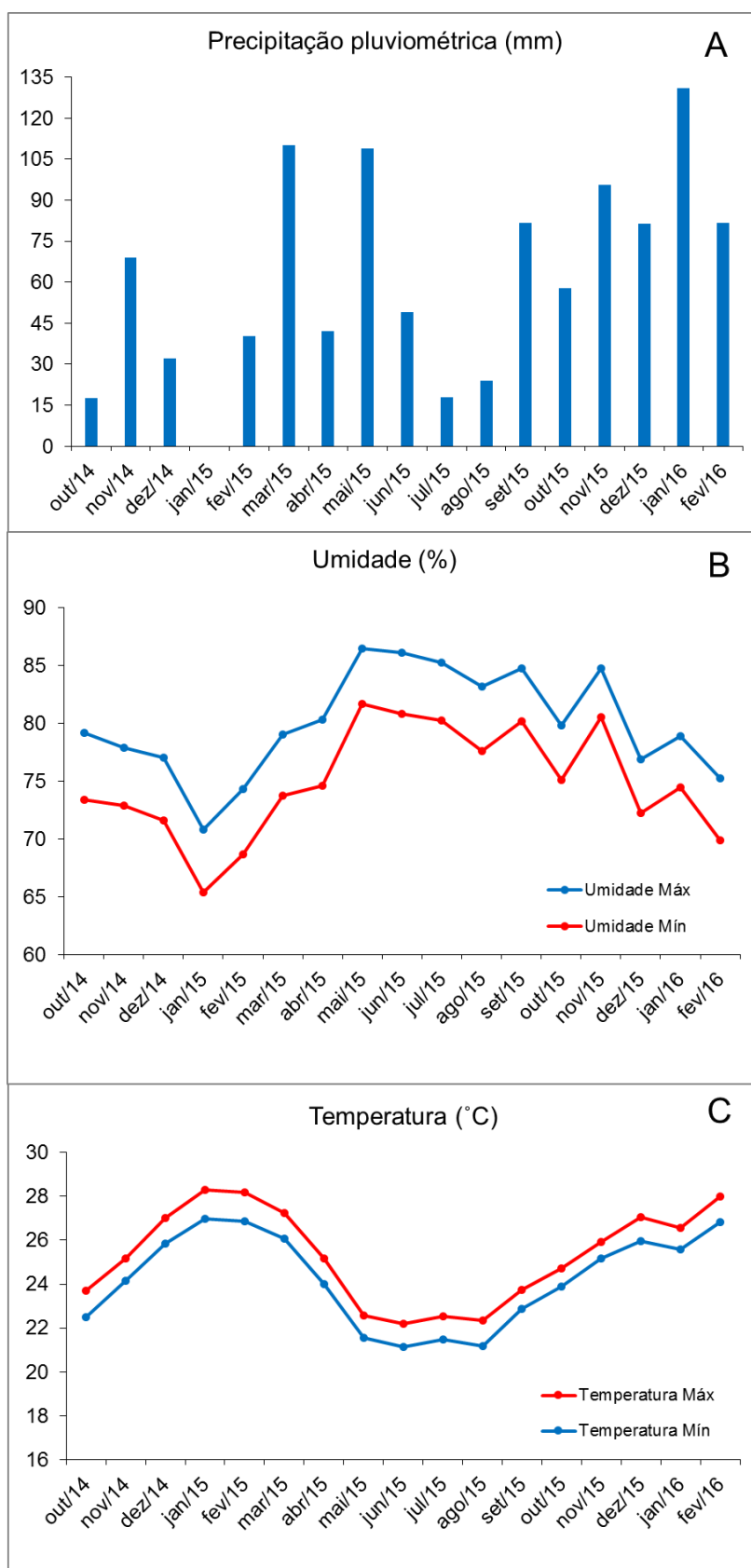


Figura 2. Precipitação pluviométrica (A), umidades do ar máxima e mínima (B) e temperaturas máxima e mínima (C) ocorridas durante a condução do experimento de capim-elefante. Campo dos Goytacazes, RJ, 2014-2015.

De acordo com o sistema de classificação de Köppen (1948), o clima da região Norte Fluminense é do tipo Aw, tropical quente e úmido, com período seco no inverno e chuvoso no verão, com precipitação anual em torno de 1.153 mm (Mendonça et. al., 2007). O solo da área experimental apresenta topografia plana, é classificado como Argissolo, distrófico, cujas características físicas e químicas são apresentadas nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

4.2 Obtenção da população

Utilizou-se dez genótipos de capim-elefante (Tabela 3), previamente selecionados com base em estudos para produção de biomassa, agregando algumas características, tais como: florescimento tardio, produção de matéria seca, diâmetro do colmo, número de perfilhos (Rossi et al., 2014), bem como na divergência genética (Lima et al., 2011) a fim de gerar população com variabilidade e obter êxito na seleção.

Para obtenção da população, realizaram-se cruzamentos controlados, em delineamento genético dialelo circulante (Figura 3). O algoritmo para estabelecimento dos cruzamentos envolvidos teve como base os seguintes valores (Kempthorne e Curnow, 1961):

p - número de genitores estudados ($p=10$);

s - número de combinações híbridas de cada genitor, $s < p-1$ e $s \geq 3$ para dialelos que incluem apenas F1's e $s \geq 2$ quando também são incluídos os genitores ($s=3$);

$n = ps / 2$: número total de cruzamentos ($n=15$);

$k = (p+1-s)/2$: número inteiro que designa o início ($k=4$).

Tabela 1. Características físicas do solo da área experimental, Campos dos Goytacazes, RJ.

Profundidade (m)	Granulometria (g·kg ⁻¹)			Teor de água		Densidade do solo
	Areia	Argila	Silte	CC (%)	PMP (%)	(g·cm ⁻³)
0,0 - 0,10	764	161	75	21	14	1,60
0,1 - 0,2	731	223	46	22	15	1,77
0,2 - 0,3	672	276	52	25	19	1,79
0,3 - 0,4	579	357	64	28	22	1,65

CC= Capacidade de campo PMP= Ponto de murcha permanente

Tabela 2. Características químicas do solo da área experimental, Campos dos Goytacazes, RJ.

Profundidade (m)	MO	pH	P	K	Ca	Mg	Na	Al	H+Al	C	S.B	T	t	m	V	Fe	Cu	Zn	Mn
	g·dm ⁻³		mg·dm ⁻³		-----cmol _c ·dm ⁻³ -----					%	-----cmol _c ·dm ⁻³ -----			%		mg·dm ⁻³			
0 – 0,2	19,1	5,5	7	38	2,0	0,9	0,05	0	3,3	1,11	3,0	6,3	3,0	0	48	66,0	1,6	4,1	9,4
0,2 – 0,4	18,3	5,3	18	129	1,7	0,6	0,02	0	3,3	1,06	2,6	5,9	2,6	0	45	24,0	0,9	2,5	8,6

MO = Matéria orgânica S.B.= Soma de Bases T= CTC= Capacidade de troca catiônica a pH 7,0 t= CTC efetiva m= Saturação por Alumínio V= Saturação de bases

Tabela 3. Identificação dos dez genitores da coleção de trabalho do Banco de germoplasma de capim-elefante da UENF, utilizados no delineamento genético dialelo circulante. Campos dos Goytacazes, RJ.

Nº CAMPO	GENÓTIPO	BAG UENF	CNPG L	PROCEDÊNCIA
1	Cubano Pinda	18	18	UFRRJ – Seropédica – RJ
2	Vrukwna	40	40	CENARGEM - Brasília - DF
3	IAC-Campinas	42	51	UFRRJ – Seropédica – RJ
4	Capim Cana D'África	44	54	IPEACS Linhares – ES
5	Cameroon	55	68	ESALQ – Piracicaba
6	CPAC	56	69	CENARGEM - Brasília - DF
7	IJ 7139	63	76	EPAGRE - Itajaí- SC
8	União	86	-	-
9	Guaçu/I.Z.2	47	60	Nova Odessa – SP
10	Cuba-115	48	61	Cuba

♀ \ ♂	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	X				X	X	X			
2		X				X	X	X		
3			X				X	X	X	
4				X				X	X	X
5					X				X	X
6						X				X
7							X			
8								X		
9									X	
10										X

Figura 3. Esquema de cruzamentos em dialelo circulante entre dez genótipos de capim-elefante. Campos dos Goytacazes, RJ, 2014-2015.

O procedimento inicial para realização dos cruzamentos foi proteger as inflorescências femininas (Figura 4A). Posteriormente, quando estas

apresentavam estigma receptivo, coletava-se grãos de pólen em saco de papel “Kraft” (Figura 4B). Este procedimento foi feito pela manhã no intervalo das 7 às 9 h. Em seguida, o mesmo saco foi utilizado para cobrir os genitores femininos para serem polinizados. Para identificação dos cruzamentos, escrevia-se no saco o número do genitor feminino e masculino, nesta ordem, além da data que foi realizada a polinização a fim de monitorar o período para coleta das sementes, que foram colocadas em papel alumínio e acondicionadas em geladeira.



Figura 4. Obtenção de famílias de irmãos completos de capim-elefante, proteção das inflorescências femininas (A), coleta de grãos de pólen (B), semeadura em bandejas de isopor (C), plântulas (D). Campos dos Goytacazes, RJ, 2014-2015.

No dia 21 de outubro de 2014 realizou-se a semeadura dos híbridos em bandejas de isopor contendo 128 células que foram preenchidas com substrato florestal (Figura 4C) e mantidas em casa de vegetação, durante 47 dias, equipada com um sistema de irrigação para propiciar condições ideais para germinação e manutenção das plântulas (Figura 4D). A obtenção dos genitores foi feita por meio de propagação vegetativa, as gemas foram coletadas em clones potenciais, que

constituíam um ensaio para fins energéticos, e plantadas em baldes, com capacidade de 5L, preenchidos com areia e mantidos em casa de vegetação (Figura 5).



Figura 5. Obtenção dos clones dos genitores de capim-elefante. Campos dos Goytacazes, RJ, 2014-2015.

4.3 Implantação e condução do experimento

O preparo do solo consistiu de duas gradagens aradoras. O transplântio das plântulas para o campo foi realizado no dia 17 de dezembro de 2014 (Figura 6). Realizou-se irrigação suplementar por sistema de aspersão convencional, apenas na fase de implantação e estabelecimento das plantas (dezembro, janeiro e fevereiro), pois neste período registraram-se baixos índices pluviométricos, sendo que no mês de janeiro não choveu (Figura 2A). Além disso, no mesmo período, observou-se altos valores de temperatura (Figura 2B), a combinação de baixos índices pluviométricos e altas temperaturas poderia inviabilizar o desenvolvimento da planta. Na Tabela 4, consta a identificação dos 10 genitores e 15 híbridos de capim-elefante.



Figura 6. Transplântio dos genótipos de capim-elefante no campo experimental. Campos dos Goytacazes, RJ, 2014-2015.

Tabela 4. Identificação dos 10 genitores e 15 híbridos de capim-elefante avaliados para produção de bioenergia. Campos dos Goytacazes, RJ, 2014-2015.

Nº de campo		Genótipos	
1		Cubano Pinda	
2		Vrukwona	
3		IAC-Campinas	
4		Capim Cana D'África	
5		Cameroon	
6		CPAC	
7		IJ 7139	
8		União	
9		Guaçu/I.Z.2	
10		Cuba-115	
11	Cubano Pinda	x	Cameroon
12	Cubano Pinda	x	CPAC
13	Cubano Pinda	x	IJ 7139
14	Vrukwona	x	CPAC
15	Vrukwona	x	IJ 7139
16	Vrukwona	x	União
17	IAC-Campinas	x	IJ 7139
18	IAC-Campinas	x	União
19	IAC-Campinas	x	Guaçu/I.Z.2
20	Capim Cana D'África	x	União
21	Capim Cana D'África	x	Guaçu/I.Z.2
22	Capim Cana D'África	x	Cuba-115
23	Cameroon	x	Guaçu/I.Z.2
24	Cameroon	x	Cuba-115
25	CPAC	x	Cuba-115

A adubação foi estabelecida de acordo com os resultados obtidos na análise de solo e a recomendação foi feita segundo Carvalho et al. (1997) que

consistiu de 714 kg ha^{-1} da fórmula química 4-14-8 (NPK). Para avaliação dos híbridos e genitores utilizou-se delineamento em blocos ao acaso, com três repetições. A parcela constituiu-se por uma linha de 14 m com espaçamento de $1,40 \times 1,40\text{m}$, totalizando 10 plantas por parcela. A área útil foi representada pelas oito plantas centrais, considerou-se como bordadura as plantas das extremidades da linha. O controle de plantas infestantes foi feito por capinas manuais e mecanizada.

Realizou-se dois cortes de avaliação, o primeiro ocorreu dia 14 de julho de 2015 (266 dias após a semeadura), ao passo que o segundo foi realizado no dia 19 de fevereiro de 2016, resultando em um intervalo de 220 dias entre o primeiro e segundo corte. Vale ressaltar que estes intervalos variam de acordo com as condições edafoclimáticas do local, genótipos, além da disponibilidade da irrigação.

4.4 Caracteres avaliados

As avaliações foram realizadas em oito plantas individuais, quando possível, de cada parcela e foram aferidos os seguintes caracteres:

- i) número de perfilhos (NP) - realizado por meio da contagem do número de perfilhos de cada planta da área útil da parcela;
- ii) altura de plantas (AP, m) – mensurada do solo até a inflexão da última folha completamente expandida de cada planta da área útil;
- iii) diâmetro de colmos (DC, mm) – aferido a partir da média de três perfilhos de cada planta da área útil da parcela, mensurado com auxílio de um paquímetro digital a 1 m de altura do solo;
- iv) produção de biomassa verde (BIOMV, kg planta^{-1}) - quantificada pela pesagem da biomassa fresca colhida em cada planta da área útil da parcela;
- v) porcentagem da biomassa seca (PBS, %) - obtida a partir da pesagem de uma amostra fresca (peso verde), a qual foi colocada em estufa a $65 \text{ }^\circ\text{C}$ por 72 horas, posteriormente pesou-se novamente (peso seco) e quantificou-se a PBS pela razão entre peso seco e peso verde;
- vi) produção de biomassa seca (BIOMS, kg planta^{-1}) - quantificada pelo produto entre a biomassa verde e a porcentagem de biomassa seca.

4.5 Análises genético-estatísticas

As análises genético-estatísticas foram realizadas via modelos mistos REML/BLUP, onde o REML (máxima verossimilhança restrita) permitiu estimar os parâmetros genéticos e BLUP (melhor predição linear não viesado) permitiu prever os valores genéticos aditivos e genotípicos.

Para testar a significância dos efeitos aleatórios do modelo, realizou-se uma análise de deviance (ANADEV) para cada corte de avaliação. Empregou-se o teste da razão de verossimilhança (LRT) em que a significância foi avaliada pelo teste qui-quadrado com um grau de liberdade. O LTR é o teste cientificamente recomendado em análise de modelos mistos com dados desbalanceados, substituindo a ANOVA e o teste F nos casos de modelos com dados balanceados (Resende, 2007). Para realizar esse teste, ajustou-se o modelo completo e o modelo reduzido, considerando e desconsiderando o efeito a ser testado, e então subtraiu-se os valores correspondentes a -2 vezes o log verossimilhança (Equação 1).

$$D = -2 \log L. \quad \text{Equação 1}$$

Adotou-se o modelo estatístico associado avaliação de indivíduos em progênes de irmãos completos obtidas sob cruzamentos fatoriais ou dialélicos intrapopulacionais – várias plantas por parcela (Modelo 33), com o auxílio do *software* Selegen REML/BLUP, considerando-se o seguinte modelo misto (Resende, 2007):

$$y = Xr + Za + Wp + Tf + e \quad \text{Equação 2}$$

em que,

y é o vetor de dados;

r é o vetor dos efeitos de repetição (fixos) somados à média geral;

a é o vetor dos efeitos genéticos aditivos individuais (aleatórios);

p é o vetor dos efeitos de parcela (aleatórios);

f é o vetor dos efeitos de dominância de família de irmãos germanos (aleatórios);

e é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios).

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

Obeve-se os seguintes componentes de variância:

Va: variância genética aditiva;

Vparc: variância ambiental entre parcelas;

Vfam: variância da capacidade específica de combinação ou variância genética de dominância entre as famílias;

Ve: variância residual;

Vf: variância fenotípica individual;

h^2_a = herdabilidade individual no sentido restrito;

h^2_g : herdabilidade individual no sentido amplo

$c^2_{\text{parc}} = c^2_2$: coeficiente de determinação dos efeitos de parcelas.

$c^2_{\text{fam}} = c^2_{21}$: coeficiente de determinação dos efeitos da capacidade específica de combinação.

As distribuições e estruturas de médias (E) e variâncias (Var) são dadas por:

$$E \begin{bmatrix} y \\ a \\ d \\ c \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Xb \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Equação 3

$$\text{Var} \begin{bmatrix} y \\ a \\ d \\ c \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V & ZA\sigma_a^2 & ZD\sigma_d^2 & WI\sigma_c^2 & I\sigma_e^2 \\ A\sigma_a^2 Z' & A\sigma_a^2 & 0 & 0 & 0 \\ D\sigma_d^2 Z' & 0 & D\sigma_d^2 & 0 & 0 \\ I\sigma_c^2 W' & 0 & 0 & I\sigma_c^2 & 0 \\ I\sigma_e^2 & 0 & 0 & 0 & I\sigma_e^2 \end{bmatrix}$$

Equação 4

em que,

$$V = ZA\sigma_a^2 Z' + ZD\sigma_d^2 Z' + WI\sigma_c^2 W' + I\sigma_e^2$$

Equação 5

As equações de modelo misto são dadas por:

$$\begin{bmatrix} X'X & X'Z & X'Z & X'W \\ Z'X & Z'Z+A^{-1}\lambda_1 & Z'Z & Z'W \\ Z'X & Z'Z & Z'Z+D^{-1}\lambda_2 & Z'W \\ W'Z & W'Z & W'Z & W'W+I\lambda_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{b} \\ a \\ d \\ \hat{c} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'y \\ Z'y \\ Z'y \\ W'y \end{bmatrix} \quad \text{Equação 6}$$

em que,

$$\lambda_1 = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_a^2} = \frac{1-h_a^2-c^2}{h^2}; \quad \lambda_2 = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_d^2} = \frac{1-h_a^2-c^2}{h_a^2-h^2}; \quad \lambda_3 = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_c^2} = \frac{1-h_a^2-c^2}{c^2} \quad \text{Equação 7}$$

σ_a^2 e h_a^2 : variância genética de dominância e herdabilidade individual no sentido amplo, respectivamente.

D: Matriz de correlação genética de dominância entre os indivíduos em avaliação.

O sistema apresentado prediz isoladamente os efeitos aditivos dominância. Os valores genotípicos totais, dados por $\hat{g} = \hat{a} + \hat{d}$ podem ser preditos diretamente pelas equações de modelo misto:

$$\begin{bmatrix} X'X & X'Z & X'W \\ Z'X & Z'Z+G^{-1}\sigma_e^2 & Z'W \\ W'X & W'Z & W'W+I\lambda_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{b} \\ \hat{g} \\ \hat{c} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'y \\ Z'y \\ W'y \end{bmatrix} \quad \text{Equação 8}$$

em que,

$$G = A\sigma_a^2 + D\sigma_d^2 \quad \text{Equação 9}$$

Os estimadores iterativos dos componentes de variância por REML via algoritmo *Expectation-Maximization* (EM), são:

$$\sigma_e^2 = \left[y'y - b'X'y - a'Z'y - d'Z'y - c'W'y \right] / [N - r(x)]; \quad \text{Equação 10}$$

$$\sigma_c^2 = \left[c'c + \sigma_e^2 tr C^{44} \right] / s; \quad \text{Equação 11}$$

$$\sigma_a^2 = \left[a'A^{-1}a + \sigma_e^2 tr(A^{-1}C^{22}) \right] / q; \quad \text{Equação 12}$$

$$\sigma_d^2 = \left[d'D^{-1}d + \sigma_e^2 tr(D^{-1}C^{33}) \right] / q. \quad \text{Equação 13}$$

Para checar uma possível interação genótipos x ambientes, realizou-se a análise conjunta, empregando-se o modelo descrito abaixo, com modificações, uma vez que o mesmo é aplicado para delineamento em látice, assim a coluna de blocos do látice foi substituída pela coluna de indivíduos.

$$y = Xr + Za + Wp + Sf + Tb + e \quad \text{Equação 14}$$

em que:

y é o vetor de dados;

r é o vetor dos efeitos de repetição (fixos) somados à média geral;

a é o vetor dos efeitos genéticos aditivos individuais (aleatórios);

p é o vetor dos efeitos de parcela (aleatórios);

f é o vetor dos efeitos de dominância de família de irmãos germanos (aleatórios);

b é o vetor do efeito de blocos (aleatórios);

e é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios).

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

Com o emprego do modelo descrito para análise de deviance, estimou-se os componentes de variância; as estimativas de capacidade geral e específica de combinação; os valores genotípicos dos cruzamentos e o *ranking* individual. As famílias foram classificadas por seu valor genotípico. O ranqueamento individual foi feito com base na média genotípica predita ($\mu + g$), uma vez que o capim-elefante pode ser propagado vegetativamente, desta forma o genótipo é herdado integralmente. Assim ranqueou-se os indivíduos superiores para cada caráter avaliado, considerando o número efetivo segundo Resende (2002).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise de Deviance (ANADEV)

Foram detectadas diferenças significativas entre os genótipos para os caracteres número de perfilhos, altura de plantas, diâmetro de colmos, produção de biomassa verde e produção de biomassa seca (Tabela 5), denotando presença de variabilidade genética na população avaliada. Isso possibilita êxito na seleção de genótipos promissores e, conseqüentemente, obtenção de ganhos genéticos nesta população, uma vez que a variabilidade genética constitui-se uma ferramenta essencial para iniciar um programa de melhoramento genético de uma espécie. O efeito não significativo de genótipos para a porcentagem de biomassa seca indica que a população não possui potencial de melhoramento para esse caráter.

Tabela 5. Análise de Deviance em dois cortes de capim-elefante para os caracteres número de perfilho (NP), altura de plantas (ALT), diâmetro de colmo (DC), biomassa verde (BIOMV), biomassa seca (BIOMS) e porcentagem de biomassa seca (PBS) avaliados em genótipos de capim-elefante, Campos dos Goytacazes, RJ, 2014 e 2015.

Caracteres		Efeitos			
		Genótipos		Modelo completo	
		Corte 1	Corte 2	Corte 1	Corte 2
NP	Deviance	2625,87	1802,24	2603,31	1797,61
	LTR	22,56**	4,63*		
ALT	Deviance	-871,28	-595,71	-883,52	-610,73
	LTR	12,24**	15,02**		
DC	Deviance	1486,69	816,45	1468,49	812,53
	LTR	18,20**	3,92*		
BIOMV	Deviance	2278,57	1555,16	2269,00	1546,86
	LTR	9,57**	8,3**		
BIOMS	Deviance	1113,24	912,86	1103,12	904,48
	LTR	10,12**	8,38**		
PBS	Deviance	1929,16	1406,29	1927,34	1405,01
	LTR	1,82 ^{ns}	1,28 ^{ns}		

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

5.2 Análise de variância conjunta

Detectou-se efeito de genótipos significativo ($p < 0,01$) pela análise conjunta de Deviance nos dois cortes os caracteres número de perfilhos, altura de plantas, número de perfilhos, diâmetro do caule, produção de biomassa verde e produção de biomassa seca, indicando alta variabilidade genética entre os genótipos, excetuando a porcentagem de biomassa seca (PBS) (Tabela 6).

Quanto à interação genótipos x cortes, também observou-se efeito significativo para a maioria dos caracteres, pode-se inferir que eles apresentaram desempenho diferenciado dos genótipos em cada corte de avaliação. Menezes et al. (2016a) observaram resposta diferencial de genótipos de capim-elefante frente as condições ambientais no município de Campos dos Goytacazes, RJ, para os caracteres altura de plantas, diâmetro de colmos, largura de lâmina, número de perfilhos, porcentagem de matéria seca e produção de matéria seca.

Tabela 6. Resumo da análise de variância conjunta para número de perfilho (NP), altura de Planta (ALT), diâmetro do colmo (DC), biomassa verde (BIOMV), biomassa seca (BIOMS) e porcentagem de biomassa seca (PBS) avaliados em 25 genótipos de capim-elefante, Campos dos Goytacazes, RJ, 2014 e 2015.

Caracteres		Efeitos		
		Genótipos	Genótipo x Cortes	Modelo completo
NP	Deviance	4518,37	4485,29	4405,3
	LTR	113,07**	79,99**	
ALT	Deviance	-1360,82	-1360,61	-1387,5
	LTR	26,68**	26,89**	
DC	Deviance	2168,06	2167,19	2156,68
	LTR	11,38	10,51**	
BIOMV	Deviance	3856,21	3800,38	3787,57
	LTR	68,64**	12,81	
BIOMS	Deviance	2178,07	2204,35	2148,3
	LTR	29,77**	56,05**	
PBS	Deviance	5314,29	5313,77	5313,66
	LTR	0,63 ^{ns}	0,11 ^{ns}	

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

No entanto, para o caráter porcentagem de biomassa seca, os genótipos apresentam resposta coincidente no que diz respeito à significância dos seus efeitos. Dessa forma, a seleção pode ser realizada em qualquer um dos cortes de avaliação. Resultado este interessante para o programa de melhoramento genético da espécie, uma vez que no melhoramento de plantas, as interações genótipos x ambientes dificultam a identificação de genótipos superiores tanto na seleção quanto na recomendação, pois o desempenho de um genótipo pode alterar de um ambiente para o outro, proporcionando alteração na posição relativa dos genótipos ou mesmo na magnitude das suas diferenças (Falconer e Mackay, 1996). A ausência da interação genótipos x ambientes possibilita recomendar genótipos com base apenas na média dos cortes.

Silva (2016) avaliando famílias de irmãos completos oriundas de genótipos de capim-elefante (IJ7139, Cameroon, Cubano Pinda, BAG-86, Capim Cana D'África, Vrukwona, CPAC e IAC-Campinas) para fins energéticos, também verificou ausência de interação genótipos x ambientes para os caracteres diâmetro de colmos e produção de matéria seca nas condições ambientais do município de Campos dos Goytacazes, RJ.

Conforme o resultado obtido neste trabalho, bem como aqueles reportados na literatura, ressalta-se que é primordial verificar a interação genótipos x ambientes. Uma vez constatada efeito significativo desta fonte de variação, o melhorista pode explorá-la e indicar genótipos para ambientes específicos. Porém, na ausência de interação o trabalho é facilitado, já que o *ranking* genótipo não será alterado frente às condições ambientais.

5.3 Componentes de variância e parâmetros genéticos

A importância das estimativas de parâmetros genéticos em uma determinada população consiste em obter subsídios para nortear as estratégias de melhoramento que devem ser empregadas visando obter êxito com a seleção. As estimativas da variância genotípica e do coeficiente de herdabilidade são os parâmetros mais importantes para a quantificação do potencial de melhoramento da população. De modo geral, a variância genética foi explicada tanto por efeitos genéticos aditivos, quanto pelos efeitos genéticos de dominância (Tabela 7). No entanto, houve predominância de variância de dominância, o que possibilita capitalização da heterose. A predominância dessa variância é desejável em programas de melhoramento genético que objetivam a exploração do vigor apresentado em combinações híbridas, assim sendo, a heterose se manifesta de maneira significativa (Cruz et al., 2012).

Tabela 7. Estimativas dos componentes de variância e parâmetros genéticos para número de perfilho (NP), altura de plantas (AP), diâmetro de colmo (DC), biomassa verde (BIOMV) e biomassa seca (BIOMS) de genitores e famílias de irmãos completos de capim-elefante, Campos dos Goytacazes, RJ, 2014 e 2015.

Parâmetros	NP		ALT		DC		BIOMV		BIOMS	
	Corte 1	Corte 2	Corte 1	Corte 2	Corte 1	Corte 2	Corte 1	Corte 2	Corte 1	Corte 2
$\hat{\sigma}_a^2$	0,295	6,317	0,0002	0,0001	0,011	0,008	0,048	0,073	0,006	0,010
$\hat{\sigma}_{parc}^2$	4,287	13,403	0,025	0,005	0,787	0,615	2,758	8,740	0,310	1,252
$\hat{\sigma}_{fam}^2$	12,421	1,559	0,026	0,015	1,552	0,367	3,464	7,197	0,415	1,051
$\hat{\sigma}_e^2$	36,955	32,810	0,055	0,058	4,487	2,613	20,314	16,830	2,376	3,080
$\hat{\sigma}_f^2$	53,959	54,089	0,106	0,079	6,838	3,604	26,584	32,840	3,107	5,393
\hat{h}_a^2	0,005	0,117	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
\hat{h}_g^2	0,926	0,232	0,967	0,784	0,910	0,410	0,523	0,879	0,537	0,782
\hat{r}_{gg}	0,962	0,482	0,983	0,885	0,954	0,640	0,723	0,937	0,732	0,884
\hat{c}_{parc}^2	0,079	0,248	0,240	0,062	0,115	0,171	0,104	0,266	0,100	0,232
\hat{c}_{fam}^2	0,230	0,029	0,241	0,196	0,227	0,102	0,130	0,219	0,134	0,195
μ	20,20	22,34	3,66	2,80	16,03	15,89	13,28	13,33	4,25	5,17

$\hat{\sigma}_a^2$: variância genética aditiva; $\hat{\sigma}_{parc}^2$: variância ambiental entre parcelas; $\hat{\sigma}_{fam}^2$: variância genética de dominância; $\hat{\sigma}_e^2$: variância residual; $\hat{\sigma}_f^2$: variância fenotípica individual; \hat{h}_a^2 : herdabilidade individual no sentido restrito; \hat{h}_g^2 : herdabilidade individual no sentido amplo; \hat{r}_{gg} : acurácia seletiva; \hat{c}_{parc}^2 : coeficiente de determinação dos efeitos de parcela; \hat{c}_{fam}^2 : coeficiente de determinação dos efeitos da capacidade específica de combinação.

Silva et al. (2015) estimaram a capacidade combinatória de genótipos de capim-elefante (Taiwan A-144, Vruckwona Africana, Pusa Napier nº2, Porto Rico 534-B, Mercker Santa Rita, Taiwan A-146, Mercker S.E.A., Napier nº2), por meio de análise dialélica adaptada a dialelo parcial, para caracteres morfoagronômicos. Conforme os resultados obtidos por estes autores, observou-se predominância de efeitos genéticos de dominância para os caracteres altura de plantas, diâmetro de colmos, e largura da lâmina foliar. Ao passo que, para os caracteres número de perfilhos e produção de matéria seca, não se detectou significância para efeitos genéticos de desvio de dominância.

O coeficiente de herdabilidade expressa a proporção da variância que é atribuída as diferenças genéticas confundidas com os efeitos permanentes do ambiente (Falconer, 1987). A herdabilidade no sentido restrito é útil nos programas de melhoramento genético, pois quantifica a proporção da variância genética que será transmitida à próxima geração. Entretanto, no caso de plantas de propagação vegetativa, como o capim-elefante, a herdabilidade no sentido amplo é mais importante, pois a variabilidade genética é liberada de uma única vez na etapa de cruzamentos, e, posteriormente o genótipo é fixado, não havendo segregação nas próximas fases (Zhou; Joshi, 2012).

As estimativas do coeficiente de herdabilidade no sentido amplo foram consideradas de média a alta magnitude, conforme a classificação de Resende (2002). O maior valor foi observado para o caráter altura de planta no corte 1 ($\hat{h}_g^2=0,967$), indicando que 96,7% da variância é de natureza genética. Ao passo que, o menor valor estimado para este parâmetro foi apresentado pelo caráter número de perfilho ($\hat{h}_g^2=0,232$) (Tabela 7). Valores altos deste coeficiente indicam que os caracteres foram poucos influenciados pelos efeitos de ambientes. Além do ambiente, as estimativas de herdabilidade são influenciadas pela natureza da característica avaliada.

Emerenciano Neto et al. (2015) estimaram a herdabilidade no sentido amplo de híbridos de capim-elefante provenientes de cruzamentos intra e interespecíficos para caracteres morfológicos e produtivos no estado do Rio Grande do Norte. Observaram estimativas de herdabilidade de alta magnitude, com média entre cortes de 78,20% para número de folhas por perfilho, 82,01% para altura de plantas, 77,45% para diâmetro de colmos, 75,95% para teor de matéria seca, 78,48% para produção de matéria seca e 73,53% para número de

perfilhos. Os autores relataram que os altos valores foram atribuídos ao controle ambiental, que foi realizado pela implementação da irrigação, além disso, houve pequena variação de temperatura durante a condução do experimento.

Verificou-se controle genético expressivo para a maioria dos caracteres estudados, que pode ser comprovado pela alta magnitude das estimativas de acurácia seletiva, por exemplo, para altura de plantas no corte 1 ($\hat{r}_{gg}=98,3\%$). Este parâmetro refere-se à precisão da seleção e reflete à correlação entre valores genéticos preditos e valores genéticos verdadeiros dos indivíduos (Resende, 2007), indicando confiança nos valores genéticos preditos para a população. Os baixos valores de acurácia observados para porcentagem de biomassa seca ($\hat{r}_{gg}=0,164$) servem como indicativo que não se deve investir na seleção deste caráter nesta população, visto que há uma reduzida correlação entre o valor real e o valor predito. Assim sendo, optou-se em descartar este caráter para as inferências posteriores quanto à seleção de genótipos neste trabalho.

O coeficiente de determinação dos efeitos de parcela quantifica os efeitos ambientais entre parcelas dentro dos blocos. Verificou-se uma amplitude de 1,4% para o caráter porcentagem de biomassa seca a 24,8% para número de perfilhos, ambos avaliados no corte 2. Baixos valores deste parâmetro, indicam reduzida variabilidade ambiental entre as parcelas. De modo geral, observou-se maior variação entre parcelas para a maioria dos caracteres avaliados no corte 2, este fato pode ter ocorrido em virtude do menor número de plantas avaliados, considerando que a parcela continha dez plantas e, no corte 1 avaliou-se oito plantas, enquanto que no corte 2 avaliou-se no máximo cinco plantas. Porém o método REML/BLUP ajusta todas as variações inerentes aos efeitos de parcelas e blocos, pois fornece valores genéticos livres destes efeitos. Resende (2002) relata que, bons experimentos, com plantas perenes, apresentam valores de \hat{c}_{parc}^2 em torno de 10% de toda variação fenotípica dentro de blocos proporcionada pela variação entre parcelas.

Vale enfatizar que as estimativas de parâmetros genéticos variam de acordo com a estrutura genética da população, bem como as condições ambientais a qual a população foi submetida e avaliada (Ramalho et al., 2012). Isso posto, as estimativas aqui reportadas terão real importância apenas para essa população e nestes ambientes.

5.4 Análise dialélica

As estimativas dos efeitos de capacidade geral de combinação informam a potencialidade do genitor em gerar progênies superiores para o melhoramento de uma espécie e fornecem informações quanto à concentração de alelos aditivos. Assim, dependendo do interesse do melhorista para um determinado caráter, estas estimativas devem apresentar alta magnitude positiva ou negativa. No presente trabalho, almeja-se aumentar a expressão dos caracteres avaliados, desta forma seleciona-se os genitores que apresentarem estimativas de CGC positivas. Quanto mais altas forem as estimativas, o genitor é superior aos demais envolvidos no dialelo, ao passo que quanto mais próximas de zero, o genitor não difere da média geral dos cruzamentos realizados (Cruz et al., 2012).

De posse destas informações, observou-se que para o caráter número de perfilhos, houve destaque dos genótipos Cameron, Guaçu/IZ2 e Cuba 115, indicando que estes contribuem para o aumento da expressão do caráter e podem ser utilizados em programas de melhoramento genético que visem aumento deste caráter, sendo que os dois últimos contribuíram para o incremento superior a três perfilhos no corte 2 (Tabela 8). Ao contrário do que ocorre quando seleciona-se os genótipos Cubano Pinda, Capim Cana D'África e IJ7139, os quais exibiram estimativas de CGC negativas contribuindo para redução no número de perfilhos. No entanto, quando se observa as estimativas destes mesmos genótipos para o caráter diâmetro de colmos, percebe-se que eles exibiram estimativas positivas de CGC, contribuindo para o aumento da expressão do caráter.

Este fato foi observado por Daher et al., (2004) ao identificarem que o diâmetro de colmos está correlacionado negativamente com o número de perfilhos. Isso leva ao fato de atentar-se quanto ao cuidado na escolha dos genitores para compor blocos de cruzamentos que visem aumento da expressão destes caracteres, uma vez que pode-se obter progênies superiores para um caráter em detrimento do outro. Por outro lado, conforme Cunha et al., (2011), o número de perfilhos correlaciona-se positivamente com a produção de matéria seca, que pode ser ratificada quando se observa os genótipos que apresentaram-se promissores para aumento da expressão do caráter número de perfilhos também apresentaram desempenho similar para produção de biomassa seca.

Tabela 8. Estimativas dos efeitos de capacidade geral de combinação (CGC) dos 10 genitores de capim-elefante para os caracteres número de perfilho (NP), altura de plantas (ALT), diâmetro de colmo (DC), biomassa verde (BIOMV) e biomassa seca (BIOMS), Campos dos Goytacazes, RJ, 2014 e 2015.

Genitores	NP		ALT		DC		BIOMV		BIOMS	
	Corte 1	Corte 2	Corte 1	Corte 2	Corte 1	Corte 2	Corte 1	Corte 2	Corte 1	Corte 2
Cubano Pinda	-0,0593	-1,1018	-0,0007	-0,0007	0,0001	-0,0084	-0,0128	-0,0030	-0,0052	-0,0015
Vrukwona	-0,1507	-1,4285	0,0002	0,0000	0,0015	-0,0022	-0,0392	-0,0229	-0,0131	-0,0065
IAC-Campinas	-0,0476	-1,1227	-0,0002	-0,0002	-0,0030	0,0094	-0,0195	-0,0199	-0,0073	-0,0061
Capim Cana D'África	-0,0032	-1,5890	-0,0003	0,0004	0,0003	0,0027	0,0043	-0,0007	0,0012	0,0007
Cameroon	0,0612	0,6408	-0,0001	0,0006	0,0019	0,0056	0,0051	0,0173	0,0018	0,0046
CPAC	-0,0399	-1,0203	0,0004	-0,0006	0,0061	-0,0009	0,0001	-0,0091	0,0004	-0,0038
IJ 7139	-0,0200	-0,2044	-0,0002	-0,0001	0,0061	0,0113	0,0098	0,0008	0,0028	0,0024
União	-0,0238	-0,7967	-0,0003	0,0003	0,0026	-0,0107	-0,0016	-0,0167	-0,0028	-0,0040
Guaçu/I.Z.2	0,1673	3,1479	0,0011	0,0005	-0,0095	0,0129	0,0384	0,0463	0,0173	0,0143
Cuba-115	0,1160	3,4747	0,0001	-0,0002	-0,0060	-0,0198	0,0153	0,0079	0,0049	0,0000

Para o caráter produção de biomassa seca, apesar de observar valores de baixas magnitudes, as estimativas de capacidade geral de combinação foram positivas para os seguintes genótipos Capim Cana D'África, Cameron, IJ7139, Guaçu/IZ2 e Cuba 115. Isso possibilita inferir que, mesmo sem promover altos incrementos de quilograma por planta, estes genótipos apresentaram desempenho favorável, esta afirmativa vale também para o caráter produção de biomassa verde. Este resultado é esperado, uma vez que a quantificação do caráter produção de biomassa seca está diretamente relacionada à produção de biomassa verde.

Em síntese, vale destacar que os genótipos Cameroon, Guaçu/IZ2 e Cuba 115 exibiram estimativas positivas de capacidade geral de combinação para todos os caracteres estudados, em pelo menos um corte de avaliação. Este resultado é interessante no melhoramento desta cultura, pois favorece o aumento na expressão de vários caracteres de forma simultânea, fato bastante relevante, pois dificilmente um mesmo genótipo agrega vários caracteres de interesse. Além disso, com a possibilidade de propagação clonal, estes caracteres são efetivamente aproveitados.

Menezes et al. (2016b) estimaram a capacidade geral combinação de genitores e a capacidade específica de combinação de genótipos de capim-elefante para a produção de biomassa energética em duas épocas de crescimento, águas e seca. Os resultados também mostraram superioridade do genótipo Cameroon para aumento da expressão dos caracteres diâmetro dos colmos, número de perfilhos e produção de biomassa seca. Observou-se ainda alterações na direção das estimativas na época de avaliação das águas. Este fato também foi observado no presente trabalho, pois alguns genótipos tiveram a direção das suas estimativas alteradas para um mesmo caráter de um corte para o outro. Esta situação é consistente, por se tratar de caracteres quantitativos, pois sofrem grande influência do ambiente que irão afetar a magnitude e a direção destas estimativas.

A capacidade específica de combinação é interpretada como o desvio de um híbrido em relação ao que seria esperado com base na capacidade geral de combinação dos seus genitores, possibilitando evidenciar a importância de interações não aditivas resultantes da complementação alélica entre os genitores. Desta forma, altas estimativas de CEC são importantes no que tange a obtenção

de populações segregantes promissoras, pois possibilita a liberação de maior variabilidade, o que é essencial no processo de seleção. Além disso, permite antever a obtenção de ganhos genéticos a partir da heterose manifestada (Cruz, et al., 2012).

De posse das estimativas de capacidade geral e específica de combinação, o interesse do melhorista consiste em selecionar combinações híbridas com estimativas da capacidade específica de combinação mais favorável, que envolvam pelo menos um dos genitores que tenha apresentado favorável efeito da capacidade geral de combinação (Cruz et al., 2012). Partindo deste pressuposto, seleciona-se cruzamentos com média alta e que pelo menos um dos genitores apresente valor de CGC positivo ou negativo, dependendo do interesse. Porém, para capim-elefante esta prerrogativa pode ser desconsiderada, pois o foco da seleção consiste na capitalização dos efeitos de heterose e/ou na variância genética total, a qual é explorada por meio da propagação clonal.

Neste contexto, os híbridos IAC-Campinas x IJ7139 (17), Capim Cana D'África x Guaçu/IZ.2 (21), Cameroon x Guaçu/IZ.2 (23), Cameroon x Cuba 115 (24) e CPAC x Cuba 115 (25) apresentaram desempenho favorável simultaneamente para os caracteres número de perfilhos, produção de biomassa verde e produção de biomassa seca (Tabela 9). Desta forma estas combinações são promissoras para fins energéticos, pois reúnem vários caracteres desejáveis. Menezes et al. (2016b) verificaram superioridade dos híbridos Mercker x Cubano Pinda, Mercker 86-Mexico x IAC-Campinas e Roxo x Guaçu IZ.2, estas combinações contribuíram com um aumento superior a 4 t ha^{-1} de matéria seca.

Para a variável altura de plantas, observou-se estimativas de capacidade específica de combinação positiva nos dois cortes de avaliação apenas para a combinação híbrida Cameroon x Guaçu/IZ.2 (23) (Tabela 9). Altos valores de capacidade específica de combinação estão diretamente associados à divergência dos genitores envolvidos nos cruzamentos e entre os genes que expressam efeito de dominância, resultando na heterose (Pereira et al., 2008).

Tabela 9 Estimativas dos efeitos de capacidade específica de combinação (CEC) das 10 combinações híbridas de capim-elefante para os caracteres número de perfilho (NP), altura de plantas (ALT), diâmetro de colmo (DC), biomassa verde (BIOMV) e biomassa seca (BIOMS) e porcentagem de biomassa seca (PBS), Campos dos Goytacazes, RJ, 2014 e 2015.

Famílias/ Cruzamentos ♀ x ♂	NP		ALT		DC		BIOMV		BIOMS	
	Corte 1	Corte 2	Corte 1	Corte 2	Corte 1	Corte 2	Corte 1	Corte 2	Corte 1	Corte 2
11(1x5)	-0,262	-0,045	-0,113	-0,056	-0,600	-0,577	-1,704	-1,534	-0,545	-0,666
12(1x6)	-0,897	-0,643	-0,014	-0,134	-0,112	-0,160	-1,566	-3,089	-0,444	-1,180
13(1x7)	1,180	-0,707	-0,173	-0,159	-1,038	-0,157	-0,790	-2,252	-0,356	-0,837
14(2x6)	-1,658	-0,366	-0,078	-0,142	-0,686	-0,484	-1,808	-2,081	-0,666	-0,734
15(2x7)	0,155	-0,047	-0,014	-0,061	-0,245	-0,312	-0,451	-1,926	-0,106	-0,624
16(2x8)	-3,008	-0,572	-0,136	-0,100	-1,459	-0,298	-2,953	-2,635	-1,049	-0,923
17(3x7)	4,070	0,875	-0,046	-0,081	0,056	-0,161	1,072	-0,039	0,186	0,255
18(3x8)	-0,520	0,011	-0,159	0,012	-0,746	0,210	-1,416	-1,354	-0,560	-0,494
19(3x9)	0,437	-0,521	-0,047	-0,088	-0,920	-0,240	-1,255	-2,104	-0,340	-0,832
20(4x8)	1,464	-0,767	-0,101	-0,159	-1,194	-0,719	-0,580	-3,564	-0,193	-1,341
21(4x9)	5,998	0,805	-0,015	0,123	-0,202	0,489	3,378	3,323	1,308	1,271
22(4x10)	0,695	-0,225	-0,296	-0,086	-1,858	-0,140	-1,857	-2,277	-0,696	-0,992
23(5x9)	4,244	0,192	0,087	0,037	-0,667	0,372	0,694	1,159	0,249	0,387
24(5x10)	6,954	0,482	-0,165	-0,066	-0,419	-0,481	1,611	-0,101	0,388	-0,230
25(6x10)	3,634	0,204	-0,028	-0,056	-0,820	0,263	0,779	0,808	0,266	0,245

♀: genitor feminino. ♂: genitor masculino.

Em um estudo sobre estimativa da heterose em híbridos oriundos de oito genótipos em capim-elefante (Cubano Pinda, Cameroon, P241-Piracicaba, IAC-Campinas, Mercker 86-México, Roxo, Capim Cana D'África), Menezes et al. (2015) observaram estimativas de heterose varietal positiva e de altas magnitudes exibidas pelos genitores IAC-Campinas, Mercker 86-México e Roxo para produção de matéria seca. Sendo que o híbrido IAC-Campinas x Mercker 86-México, foi o que obteve o maior efeito de heterose específica para os caracteres produção de matéria seca e altura de plantas.

O grupo de genótipos avaliados neste trabalho tem se mostrado bastante promissor para serem utilizados em programas de melhoramento que visem a produção de bioenergia, visto que vários autores (Silva et al., 2014; Menezes et al., 2015; Menezes et al. 2016a, 2016b; Silva, 2016) relataram a superioridade dos mesmos. Após inferências sobre o destaque de algumas combinações híbridas com base em suas estimativas de capacidade específica de combinação, outra etapa importante no processo seletivo é obtenção dos seus valores genotípicos dos cruzamentos.

5.5 Seleção de família

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, são importantes para a identificação e seleção de indivíduos promissores (Resende e Barbosa, 2006). Assim, para cada caráter, apresentou-se o valor genotípico das 15 famílias, bem como os valores médios das famílias superiores, visando maximizar a probabilidade de selecionar indivíduos dentro das melhores famílias (Tabela 10).

Para o caráter número de perfilhos observou-se superioridade das seguintes famílias: Cameroon x Cuba-11 (24), Cameroon x Guaçu/IZ.2 (23), Capim Cana D'África x Guaçu/IZ.2 (21), CPAC x Cuba-115 (25) e IAC-Campinas x IJ 7139 (17), considerando os dois cortes de avaliação. (Tabela 10). O número de perfilho é importante em estudos visando aumento da produtividade de biomassa seca, pois há correlação de natureza genética alta para este caráter (Cunha et al., 2011).

Tabela 10. Estimativas dos valores genotípicos do cruzamento (Vgc) para os caracteres número de perfilho (NP), altura de plantas (ALT), diâmetro de colmo (DC), biomassa verde (BIOMV) e biomassa seca (BIOMS) das 15 famílias de irmãos completos de capim-elefante, Campos dos Goytacazes, RJ, 2014 e 2015.

Famílias/Cruzamentos	NP		ALT		DC		BIOMV		BIOMS		
	♀ x ♂	Corte 1	Corte 2	Corte 1	Corte 2	Corte 1	Corte 2	Corte 1	Corte 2	Corte 1	Corte 2
11(1x5)		19,94	22,06	3,54	2,74	15,43	15,31	11,57	11,80	3,71	4,51
12(1x6)		19,26	20,63	3,64	2,66	15,92	15,72	11,71	10,23	3,81	3,99
13(1x7)		21,34	20,98	3,48	2,64	15,00	15,73	12,49	11,07	3,90	4,34
14(2x6)		18,45	20,75	3,58	2,66	15,35	15,40	11,45	11,23	3,58	4,43
15(2x7)		20,27	21,47	3,64	2,74	15,79	15,58	12,81	11,39	4,14	4,55
16(2x8)		17,11	20,65	3,52	2,70	14,57	15,59	10,30	10,67	3,20	4,25
17(3x7)		24,24	22,55	3,61	2,72	16,09	15,74	14,35	13,28	4,44	5,43
18(3x8)		19,65	21,39	3,50	2,81	15,29	16,10	11,85	11,95	3,69	4,67
19(3x9)		20,70	22,83	3,61	2,71	15,11	15,66	12,03	11,24	3,92	4,35
20(4x8)		21,65	20,38	3,56	2,64	14,84	15,17	12,70	9,75	4,06	3,83
21(4x9)		26,28	23,92	3,64	2,92	15,83	16,39	16,68	16,67	5,57	6,45
22(4x10)		20,95	23,06	3,36	2,71	14,17	15,74	11,43	11,05	3,56	4,18
23(5x9)		24,56	24,42	3,74	2,84	15,36	16,27	13,99	14,52	4,51	5,57
24(5x10)		27,24	24,88	3,49	2,73	15,61	15,40	14,90	13,24	4,65	4,95
25(6x10)		23,87	23,77	3,63	2,74	15,21	16,14	14,06	14,13	4,52	5,42
μ de famílias		21,70	22,25	3,57	2,73	15,30	15,73	12,82	12,15	4,08	4,73
μ famílias superiores		25,24	23,63	3,64	2,86	15,67	16,23	14,80	14,37	4,64	5,56

♀: genitor feminino. ♂: genitor masculino.

Para o caráter altura de plantas, o destaque ocorreu para as famílias oriunda dos cruzamentos Cameroon x Guaçu/IZ.2 (23), Capim Cana D'África x Guaçu/IZ.2 (21), Vrukvena x IJ 7139 (15), CPAC x Cuba-115 (25) em ambos os cortes. Porém, quando considerou-se as famílias superiores no corte 1, observou-se que estas corresponderam a 53,33% de superioridade em relação à média geral.

Para diâmetro de colmo, a coincidência de desempenho superior nos dois cortes de avaliação foi verificada para as famílias oriundas dos cruzamentos Capim Cana D'África x Guaçu/IZ.2 (21), ($V_{gc}=15,83$ e $16,39$) e Cameroon x Guaçu/IZ.2 (23) ($V_{gc}= 15,36$ e $16,27$) nos cortes 1 e 2 respectivamente, vale destacar que estes valores superaram a médias das famílias superiores, indicando alto potencial produtivo destas famílias.

Dentre os caracteres investigados neste trabalho, a produção de biomassa seca é a que apresenta maior importância quando o objetivo é aumento da produção de bioenergia. Desta forma, 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 superiores para o caráter produção de biomassa foram Capim Cana D'África x Guaçu/IZ.2 (21), Cameroon x Cuba-115 (24), CPAC x Cuba-115 (25), Cameroon x Guaçu/IZ.2 (23) e IAC-Campinas x IJ 7139 (17), considerando os dois cortes de avaliação (Tabela 10). Como já foi mencionado, a quantificação da produção de biomassa verde está diretamente relacionada à produção da biomassa verde, assim sendo as mesmas famílias superiores para o caráter produção de biomassa seca também se mostraram promissoras para produção de biomassa verde.

É importante frisar que estas famílias mantiveram desempenho superior independente do corte de avaliação. Esta situação é favorável, pois sabe-se que o capim-elefante, assim como as demais plantas forrageiras, está sujeito a estacionalidade temporal (Cunha et al., 2011), apresentando oscilação de produtividade em determinados períodos do ano. Como é possível realizar dois cortes por ano, o ideal é selecionar genótipos em que a produção de biomassa seca seja a mais estável possível ao longo das colheitas.

Vale ressaltar que, analisando os cinco caracteres em conjunto, destacam-se as famílias oriundas dos cruzamentos Capim Cana D'África x Guaçu/I.Z.2 (21), Cameroon x Guaçu/IZ.2 (23) Cameroon x Cuba-115 (24) por estarem presente dentre melhores famílias, apresentaram o melhor desempenho para todos os caracteres avaliados. No melhoramento de caracteres quantitativos, dificilmente é possível agregar em um mesmo genótipo, várias características de interesse. Assim, deve-se selecionar o maior número de indivíduos dentro desta família a fim de obter maior número de genótipos potenciais para serem avaliados nas próximas etapas em programas de melhoramento de capim-elefante. As famílias com Vgc inferior à média geral devem ser descartadas, uma vez que estas terão menor probabilidade de gerar progênies superiores.

Alguns estudos, empregando a estratégia de seleção de famílias via REML/BLUP, têm sido reportados com êxito na cultura da cana-de-açúcar (Oliveira et al., 2008; Oliveira et al., 2011 Lucius, 2014; Xavier et al., 2014). Oliveira et al. (2008) utilizaram o método REML/BLUP com o objetivo de selecionar famílias superiores de irmãos completos de cana-de-açúcar para produção de biomassa. Os autores concluíram que a seleção de famílias com valores genotípicos acima da média experimental, possibilitou ganhos significativos para tonelada de cana por hectare. Além disso, relataram que a seleção de famílias, por meio de modelos mistos REML/BLUP, pode ser uma estratégia importante para identificar famílias com elevados valores genotípicos, onde haveria maior probabilidade de seleção de clones potenciais.

Já para a cultura do capim-elefante estes estudos são escassos, vale citar o estudo de Silva (2016), que selecionou plantas segregantes para clonagem de capim-elefante para a produção de energia via REML/BLUP. Neste estudo avaliou-se oito famílias de irmãos completos de capim-elefante e quantificou-se os seguintes 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, selecionou-se 18 plantas potenciais para produção de matéria seca, as quais apresentaram maior ganho para este caráter. As progênies oriundas da família IJ7139 x Cameroon, obtiveram destaque com maiores ganhos para produção matéria seca e fibra em detergente neutro.

A seleção de famílias aumenta probabilidade de identificar indivíduos superiores, pois seleciona-se tanto as melhores famílias quanto os indivíduos superiores dentro de cada família (Santos et al., 2008; Cruz et al., 2012). Isto posto, ranqueou-se os indivíduos superiores, incluindo-se genitores e famílias, apresentando-se valor fenotípico individual (f), valor genético aditivo predito ($\mu + a$), valor genético de dominância predito ($\mu + d$) e média genotípica predita ($\mu + g$) das progênes para cada caráter. O *ranking* dos indivíduos foi realizado com base na média genotípica predita, que é o valor mais importante na obtenção de ganho na cultura do capim-elefante, por se tratar de uma espécie de propagação vegetativa.

O ranqueamento dos indivíduos superiores para os caracteres número de perfilhos, altura de plantas, diâmetro de colmos, produção de biomassa verde e produção de biomassa seca estão apresentados nas Tabelas 11, 12, 13, 14 e 15, respectivamente. A planta 2 da família Capim Cana D'África x Guaçu/IZ.2 (21) do bloco 2 apresentou maior desempenho para o caráter número de perfilho ($\mu + g = 47,42$) (Tabela 11) Já no corte 2 o melhor indivíduo trata-se de um clone do genótipo Cuba 115, isso indica o potencial deste sobre os cruzamentos realizados. É importante aludir que a média genotípica predita no corte 2 é bem inferior comparada ao valor fenotípico do indivíduo. Isso pode ser devido à grande variação ambiental no referido ambiente.

Para a variável altura de plantas, vale ressaltar o destaque do clone do genótipo Vrukvona, representado pelas plantas 5 do bloco 1 no corte 2. Ainda neste corte, observa-se que família Capim Cana D'África x Guaçu/IZ.2 (21) reuniu o maior número de indivíduos superiores (Tabela 12). Das 34 progênes ranqueadas 35,30% dos indivíduos selecionados pertencem à essa família a qual está entre as famílias que se destacaram para todos os caracteres avaliados. Este fato reforça a importância de selecionar os indivíduos com base no desempenho das famílias. Em relação ao diâmetro de colmo, os primeiros indivíduos ranqueados em ambos os cortes são clones dos genitores envolvidos nos cruzamentos (Tabela 13), podendo inferir êxito na escolha destes genótipos para serem utilizados em blocos de cruzamentos visando fins energéticos, visto que plantas mais altas tendem a apresentar maiores produção de biomassa.

O indivíduo 5 da família Cana IAC-Campinas x IJ 7139, do blocos 2, apresenta melhor desempenho para produção de biomassa seca (Tabela 15).

Além disso, observa-se que a maioria dos indivíduos selecionados pertence às famílias superiores reportadas na Tabela 10, com base no valor genotípico. Dentre os genitores que se destacaram em relação às famílias cita-se Cubano Pinda, IJ 7139, Guaçu/IZ.2 e Cuba 115, ocupando posição entre os dez melhores indivíduos. Ressalta-se ainda que, todos os indivíduos selecionados apresentaram média genotípica predita superior à média geral.

Tabela 11. Seleção dos indivíduos superiores de genótipos de capim-elefante para o caráter número de perfilhos.

Ordem	Bloco		Família		Planta		f		$\mu+a$		$\mu+d$		$\mu+g$	
	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2
1	2	1	21	10	2	5	47	46	20,37	27,18	47,25	24,97	47,42	29,81
2	1	3	22	9	6	5	48	34	20,36	26,18	46,17	23,89	46,33	27,73
3	1	1	24	23	5	2	46	45	20,36	25,52	44,09	24,43	44,25	27,62
4	2	3	25	21	8	4	44	45	20,32	24,60	43,92	25,33	44,04	27,59
5	3	2	21	24	7	4	44	39	20,35	25,44	43,61	24,35	43,76	27,45
6	1	2	17	24	3	1	43	38	20,24	25,35	41,41	24,22	41,44	27,23
7	3	3	24	24	1	1	40	35	20,34	25,35	39,92	24,22	40,06	27,23
8	3	1	21	17	3	3	40	51	20,34	23,55	39,59	25,98	39,73	27,19
9	3	3	24	23	7	5	39	36	20,34	25,30	38,92	24,10	39,05	27,06
10	2	2	8	25	2	5	38	40	20,25	24,86	38,92	24,46	38,97	26,98
11	2	2	20	21	3	2	38	36	20,26	24,22	38,75	24,77	38,81	26,65
12	2	1	24	24	2	5	39	35	20,34	25,06	38,48	23,79	38,62	26,51
13	1	1	24	25	7	2	39	37	20,33	24,63	37,06	24,11	37,19	26,41
14	3	3	24	23	3	4	37	33	20,33	25,03	36,91	23,71	37,04	26,40
15	1	3	9	24	3	3	36	31	20,42	25,00	35,66	23,70	35,88	26,36
16	2	1	15	17	4	5	38	47	20,18	23,20	35,32	25,46	35,30	26,32
17	2	2	23	23	5	5	36	29	20,36	24,96	35,11	23,59	35,27	26,21
18	1	2	23	17	5	5	36	42	20,36	23,01	34,63	25,19	34,78	25,87
19	1	1	21	24	6	2	36	32	20,32	24,79	34,01	23,40	34,13	25,86
20	3	1	11	22	7	4	35	41	20,26	24,41	33,90	23,78	33,96	25,85
21	3	2	22	25	6	1	35	33	20,31	24,25	33,72	23,55	33,83	25,46
22	2	1	17	24	5	1	33	30	20,21	24,62	33,75	23,14	33,75	25,42
23	3	2	23	25	8	3	33	32	20,35	24,16	33,57	23,42	33,73	25,24
24	2	1	24	25	3	5	34	31	20,32	24,10	33,46	23,33	33,58	25,10
25	3	2	13	19	2	5	36	33	20,21	24,26	33,51	23,15	33,52	25,07
26	2	1	13	1	4	1	33	44	20,21	22,59	33,31	24,76	33,31	25,02
27	1	1	10	22	5	3	34	37	20,37	24,06	33,12	23,26	33,29	24,98
28	1	1	21	21	5	3	35	32	20,31	23,54	33,01	23,77	33,12	24,98
29	1	1	23	22	3	2	34	36	20,35	23,97	32,62	23,13	32,77	24,76
30	1	1	11	21	8	1	33	31	20,25	23,46	32,71	23,64	32,76	24,76
31	3	3	23	5	5	3	32	31	20,35	23,74	32,57	23,31	32,72	24,72
32	1	3	24	7	4	4	34	37	20,31	23,18	32,04	23,76	32,15	24,60
33	1	1	1	23	1	1	30	31	20,19	24,29	28,27	22,61	28,25	24,57
34	1	1	5	23	5	3	28	31	20,30	24,29	27,63	22,61	27,74	24,57

C1:Corte 1; C2: Corte 2; f: valor fenotípico individual; ($\mu + a$): valor genético aditivo predito; $\mu + d$: valor genético de dominância predito; $\mu + g$: média genotípica predita

Tabela 12. Seleção dos indivíduos superiores de genótipos de capim-elefante para o caráter altura de plantas.

Ordem	Bloco		Família		Planta		f		$\mu+a$		$\mu+d$		$\mu+g$	
	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2
1	3	1	24	2	3	5	3,85	5,00	3,66	2,80	4,38	4,55	4,38	4,55
2	2	1	4	18	6	1	4,10	5,00	3,66	2,80	4,26	4,50	4,26	4,51
3	1	2	10	4	5	3	4,15	3,90	3,66	2,80	4,21	3,60	4,21	3,60
4	3	3	18	8	3	3	4,10	3,20	3,66	2,80	4,20	3,13	4,20	3,13
5	1	1	9	5	3	4	4,00	3,10	3,66	2,80	4,19	3,08	4,20	3,08
6	2	2	12	21	4	3	4,00	3,20	3,66	2,80	4,19	3,07	4,19	3,07
7	2	1	14	1	7	5	4,10	3,10	3,66	2,80	4,17	3,06	4,17	3,06
8	3	3	23	21	6	4	4,05	3,10	3,66	2,80	4,16	3,06	4,16	3,06
9	2	3	3	21	5	3	4,00	3,05	3,66	2,80	4,13	3,02	4,13	3,02
10	1	1	20	21	4	5	3,60	3,00	3,66	2,80	4,12	3,00	4,12	3,00
11	1	2	6	21	1	1	4,00	3,10	3,66	2,80	4,11	2,99	4,11	2,99
12	2	1	21	21	1	4	4,00	2,95	3,66	2,80	4,11	2,96	4,11	2,96
13	3	2	23	23	8	2	4,00	3,05	3,66	2,80	4,09	2,96	4,09	2,96
14	1	3	14	23	2	2	3,70	3,00	3,66	2,80	4,08	2,95	4,08	2,95
15	1	3	14	23	6	5	3,70	3,00	3,66	2,80	4,08	2,95	4,08	2,95
16	1	2	25	21	7	2	3,80	3,05	3,66	2,80	4,07	2,95	4,07	2,95
17	2	2	17	21	1	5	4,00	3,05	3,66	2,80	4,07	2,95	4,07	2,95
18	2	3	19	21	8	5	4,10	2,95	3,66	2,80	4,07	2,94	4,07	2,94
19	2	3	23	14	6	4	4,10	3,00	3,66	2,80	4,07	2,93	4,07	2,93
20	2	3	23	11	8	4	4,10	3,05	3,66	2,80	4,07	2,93	4,07	2,93
21	2	3	13	11	4	5	3,90	3,05	3,66	2,80	4,06	2,93	4,06	2,93
22	3	2	18	25	6	2	4,00	3,10	3,66	2,80	4,06	2,93	4,06	2,93
23	2	2	12	17	1	5	3,90	3,10	3,66	2,80	4,05	2,93	4,05	2,93
24	1	1	18	21	5	2	3,45	2,90	3,66	2,80	4,05	2,92	4,05	2,92
25	3	1	20	21	1	3	4,00	2,90	3,66	2,80	4,04	2,92	4,04	2,92
26	2	1	14	23	8	2	4,00	2,90	3,66	2,80	4,03	2,91	4,03	2,91
27	3	2	13	11	5	3	3,80	3,00	3,66	2,80	4,02	2,91	4,02	2,91
28	2	1	11	24	4	5	4,00	2,95	3,66	2,80	4,01	2,91	4,01	2,91
29	2	3	11	24	6	3	4,00	2,90	3,66	2,80	4,01	2,91	4,01	2,91
30	1	3	23	18	2	3	3,90	2,90	3,66	2,80	4,00	2,91	4,00	2,91
31	1	3	23	21	4	1	3,90	2,90	3,66	2,80	4,00	2,90	4,00	2,90
32	1	3	12	11	2	1	3,90	3,00	3,66	2,80	4,00	2,89	4,00	2,89
33	2	3	15	11	4	2	3,90	3,00	3,66	2,80	4,00	2,89	4,00	2,89
34	1	1	17	15	3	1	3,60	2,90	3,66	2,80	4,00	2,88	4,00	2,88

C1:Corte 1; C2: Corte 2; f: valor fenotípico individual; ($\mu + a$): valor genético aditivo predito; $\mu + d$: valor genético de dominância predito; $\mu + g$: média genotípica predita

Tabela 13. Seleção dos indivíduos superiores de genótipos de capim-elefante para o caráter diâmetro de colmos.

Ordem	Bloco		Família		Planta		f		$\mu+a$		$\mu+d$		$\mu+g$	
	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2
1	2	1	8	5	6	2	22,35	21,38	16,04	15,90	21,50	18,17	21,50	18,18
2	1	1	1	3	7	4	19,33	20,87	16,04	15,90	21,16	17,89	21,17	17,90
3	3	1	15	1	2	5	21,86	20,91	16,04	15,89	20,95	17,88	20,96	17,88
4	1	3	4	7	1	3	20,88	19,50	16,04	15,90	20,93	17,79	20,93	17,80
5	3	3	10	21	6	2	22,20	20,15	16,03	15,90	20,76	17,58	20,76	17,59
6	2	3	6	2	6	3	21,31	19,54	16,04	15,89	20,60	17,47	20,61	17,48
7	1	3	18	25	5	5	18,88	19,58	16,04	15,88	20,43	17,44	20,44	17,44
8	1	1	12	21	2	1	19,23	18,54	16,04	15,90	20,19	17,27	20,20	17,28
9	3	2	14	21	3	1	21,57	18,42	16,04	15,90	20,15	17,26	20,16	17,27
10	3	1	17	23	4	3	21,15	19,03	16,04	15,90	20,06	17,22	20,06	17,23
11	3	2	18	23	3	1	20,15	18,56	16,04	15,90	19,72	17,20	19,72	17,21
12	2	3	25	23	2	1	20,17	18,50	16,04	15,90	19,67	17,13	19,68	17,15
13	3	3	14	14	4	3	21,05	19,80	16,04	15,89	19,61	17,10	19,62	17,10
14	2	3	14	21	7	1	19,25	18,96	16,04	15,90	19,52	17,08	19,52	17,09
15	3	3	17	23	3	2	20,03	18,34	16,04	15,90	18,90	17,07	18,90	17,08
16	2	1	11	15	2	4	19,83	19,70	16,04	15,90	18,89	17,00	18,90	17,01
17	1	1	15	18	1	1	17,84	18,49	16,04	15,89	18,77	16,97	18,78	16,98
18	3	3	23	18	5	4	19,45	18,42	16,03	15,89	18,77	16,96	18,77	16,96
19	2	1	12	11	7	1	18,72	19,30	16,04	15,89	18,69	16,88	18,69	16,88
20	2	3	21	25	5	4	19,29	18,20	16,03	15,88	18,61	16,86	18,61	16,85
21	3	2	12	18	5	3	19,10	17,65	16,04	15,89	18,57	16,82	18,57	16,83
22	1	3	14	19	2	5	16,64	17,56	16,04	15,91	18,56	16,81	18,57	16,82
23	3	1	12	17	4	2	19,07	17,52	16,04	15,90	18,53	16,77	18,54	16,78
24	3	2	25	19	5	2	18,65	18,68	16,04	15,90	18,50	16,76	18,51	16,77
25	3	1	16	13	1	3	18,08	18,34	16,04	15,89	18,30	16,75	18,30	16,76
26	2	2	19	25	5	2	18,11	17,79	16,03	15,88	18,26	16,76	18,26	16,76
27	1	3	15	18	8	5	17,32	17,85	16,04	15,89	18,23	16,72	18,24	16,72
28	1	2	13	12	4	2	17,22	18,25	16,04	15,89	18,15	16,68	18,15	16,68
29	2	2	17	21	7	3	18,59	16,98	16,04	15,90	18,09	16,65	18,09	16,66
30	2	2	17	12	4	4	18,36	18,20	16,04	15,89	17,85	16,66	17,86	16,66
31	1	1	20	22	5	1	16,15	18,57	16,04	15,88	17,82	16,65	17,82	16,65
32	2	2	12	21	4	5	17,81	16,85	16,04	15,90	17,74	16,60	17,75	16,61
33	3	2	21	17	5	5	17,72	18,00	16,03	15,90	17,74	16,57	17,74	16,59
34	3	3	12	18	7	2	18,24	17,51	16,04	15,89	17,67	16,58	17,68	16,58

C1:Corte 1; C2: Corte 2; f: valor fenotípico individual; ($\mu + a$): valor genético aditivo predito; $\mu + d$: valor genético de dominância predito; $\mu + g$: média genotípica predita

Tabela 14. Seleção dos indivíduos superiores de genótipos de capim-elefante para o caráter produção de biomassa verde.

Ordem	Bloco		Família		Planta		f		$\mu+a$		$\mu+d$		$\mu+g$	
	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2
1	1	1	1	1	1	1	32,10	40,80	13,28	13,36	22,29	36,92	22,29	36,95
2	2	2	21	17	2	5	28,30	35,10	13,31	13,35	22,21	35,12	22,24	35,14
3	2	1	13	9	4	3	31,50	27,82	13,30	13,39	21,67	29,46	21,69	29,53
4	3	3	21	7	7	4	26,94	27,98	13,31	13,35	21,35	27,68	21,39	27,70
5	3	1	21	10	3	5	26,70	29,10	13,31	13,36	21,23	27,60	21,26	27,63
6	2	2	17	21	5	2	28,00	24,50	13,29	13,36	20,99	26,16	21,00	26,20
7	3	3	24	4	1	1	25,48	24,20	13,30	13,34	20,36	24,79	20,38	24,80
8	1	3	21	24	5	3	24,46	20,10	13,31	13,36	20,17	24,39	20,20	24,42
9	1	3	9	23	2	4	25,38	22,02	13,33	13,37	19,94	24,05	19,99	24,09
10	2	3	21	25	5	5	23,75	21,26	13,31	13,34	19,88	23,69	19,91	23,70
11	3	2	6	25	6	3	26,70	24,20	13,29	13,34	19,64	23,66	19,65	23,67
12	3	1	24	17	3	3	23,80	20,86	13,30	13,33	19,50	23,22	19,52	23,23
13	1	1	10	23	5	2	25,10	25,06	13,31	13,37	19,39	22,99	19,42	23,04
14	1	2	8	25	7	5	24,00	23,68	13,29	13,34	19,32	22,99	19,32	23,00
15	1	1	21	21	3	3	22,70	23,00	13,31	13,36	19,27	22,68	19,30	22,71
16	3	1	21	22	4	4	22,40	21,86	13,31	13,35	19,03	22,54	19,06	22,56
17	3	1	25	25	6	2	23,50	19,20	13,30	13,34	18,89	22,28	18,91	22,29
18	2	2	25	24	3	4	24,64	22,06	13,30	13,35	18,77	21,83	18,79	21,85
19	3	3	21	18	5	5	21,86	21,04	13,30	13,32	18,76	21,79	18,78	21,79
20	2	2	25	19	8	5	24,50	18,82	13,30	13,36	18,70	20,61	18,72	20,64
21	3	3	23	21	6	4	23,10	21,74	13,31	13,36	18,36	20,53	18,39	20,56
22	1	2	24	21	5	1	22,00	19,80	13,30	13,35	18,22	20,15	18,24	20,18
23	1	1	24	21	4	1	21,82	20,88	13,30	13,35	18,13	19,97	18,14	20,00
24	1	2	21	21	1	5	20,36	19,60	13,30	13,35	18,07	19,89	18,10	19,92
25	1	3	17	15	3	4	20,60	17,02	13,28	13,33	17,85	19,70	17,86	19,70
26	2	3	23	21	8	1	21,24	20,64	13,31	13,35	17,77	19,12	17,80	19,15
27	2	2	24	17	3	4	21,30	22,40	13,29	13,33	17,72	18,86	17,73	18,86
28	3	1	23	24	5	2	21,70	17,04	13,31	13,35	17,65	18,55	17,68	18,57
29	1	1	23	21	5	5	20,78	19,56	13,31	13,35	17,30	18,28	17,33	18,30
30	2	2	24	24	5	1	20,30	19,10	13,29	13,35	17,21	18,04	17,22	18,06
31	2	3	15	21	4	5	22,90	19,74	13,27	13,35	17,20	17,97	17,19	17,99
32	1	1	25	14	7	1	19,49	14,08	13,29	13,32	17,17	17,98	17,18	17,97
33	1	1	22	15	6	1	22,20	13,76	13,30	13,33	16,95	17,94	16,97	17,94
34	2	2	21	25	3	1	18,00	19,14	13,30	13,33	16,94	17,18	16,97	17,18

C1:Corte 1; C2: Corte 2; f: valor fenotípico individual; ($\mu + a$): valor genético aditivo predito; $\mu + d$: valor genético de dominância predito; $\mu + g$: média genotípica predita

Tabela 15. Seleção dos indivíduos superiores de genótipos de capim-elefante para o caráter produção de biomassa seca.

Ordem	Bloco		Família		Planta		f		$\mu+a$		$\mu+d$		$\mu+g$	
	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2
1	1	2	21	17	5	5	10,65	16,72	4,27	5,19	7,84	14,28	7,86	14,29
2	3	1	7	1	8	1	11,77	15,26	4,27	5,18	7,84	12,65	7,86	12,66
3	3	2	21	21	7	2	9,95	11,68	4,27	5,19	7,64	11,23	7,66	11,25
4	2	3	21	7	2	4	9,10	11,49	4,27	5,18	7,48	10,71	7,49	10,72
5	1	2	1	9	1	3	10,95	11,11	4,26	5,19	7,46	10,23	7,46	10,25
6	3	3	21	25	3	5	9,40	9,82	4,27	5,18	7,35	9,97	7,37	9,98
7	1	1	9	21	2	1	9,31	10,30	4,28	5,19	7,00	9,91	7,02	9,92
8	1	2	24	25	5	3	9,42	10,68	4,26	5,18	6,97	9,86	6,98	9,87
9	2	3	13	24	4	3	9,49	8,90	4,26	5,18	6,73	9,54	6,74	9,55
10	1	1	21	10	1	4	8,38	10,35	4,27	5,18	6,65	9,34	6,67	9,35
11	2	1	17	23	5	2	8,68	10,33	4,26	5,19	6,58	9,09	6,58	9,10
12	1	3	8	4	7	1	8,52	9,72	4,26	5,18	6,53	8,99	6,53	9,00
13	3	2	23	17	5	4	8,58	11,12	4,27	5,18	6,50	8,55	6,52	8,55
14	3	3	24	23	3	4	8,00	8,43	4,26	5,19	6,47	8,46	6,47	8,48
15	2	1	21	25	5	2	6,94	7,70	4,27	5,18	6,35	8,33	6,36	8,33
16	3	1	6	21	6	3	8,59	8,67	4,26	5,18	6,34	8,24	6,34	8,25
17	3	2	21	21	5	1	7,28	8,64	4,27	5,18	6,24	8,12	6,25	8,13
18	3	3	21	21	4	4	7,27	8,58	4,27	5,18	6,24	8,09	6,25	8,10
19	2	2	25	25	8	5	8,09	8,56	4,26	5,17	6,23	7,69	6,24	7,70
20	3	3	24	18	1	5	7,31	7,92	4,26	5,17	6,11	7,68	6,11	7,68
21	1	2	21	19	3	5	7,32	7,69	4,26	5,18	6,10	7,66	6,11	7,66
22	3	1	25	22	6	4	7,27	7,78	4,26	5,18	5,97	7,32	5,98	7,33
23	2	2	25	15	3	5	7,36	8,05	4,26	5,18	5,85	7,32	5,85	7,32
24	1	3	25	21	7	1	6,95	7,67	4,26	5,18	5,82	7,16	5,82	7,17
25	2	3	23	15	8	4	6,71	6,64	4,27	5,18	5,79	7,07	5,80	7,07
26	2	3	21	23	3	5	5,84	6,98	4,26	5,18	5,77	6,98	5,78	6,99
27	1	1	21	17	6	3	6,64	6,59	4,26	5,17	5,74	6,97	5,75	6,97
28	1	3	23	21	5	3	7,00	7,32	4,27	5,18	5,70	6,80	5,71	6,81
29	2	1	15	23	4	1	7,51	8,03	4,25	5,18	5,68	6,74	5,68	6,75
30	2	2	24	24	5	4	6,66	6,94	4,26	5,18	5,64	6,50	5,64	6,50
31	3	1	23	24	6	2	6,92	6,25	4,27	5,18	5,63	6,48	5,64	6,49
32	2	1	24	15	3	1	6,60	5,22	4,26	5,17	5,61	6,42	5,61	6,42
33	3	2	23	24	8	1	6,78	6,85	4,27	5,18	5,56	6,40	5,57	6,41
34	1	1	17	14	3	1	6,10	5,31	4,25	5,17	5,41	6,38	5,41	6,38

C1: Corte 1; C2: Corte 2; f: valor fenotípico individual; ($\mu + a$): valor genético aditivo predito; $\mu + d$: valor genético de dominância predito; $\mu + g$: média genotípica predita

6. CONCLUSÕES

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

Houve predominância dos efeitos genéticos de dominância na expressão dos caracteres.

Os genótipos possuem desempenho coincidentes para maioria dos caracteres em ambos os cortes, exceto para diâmetro do colmo.

Os genitores Capim Cana D'África, IJ7139, Cameroon, Guaçu/IZ2 e Cuba 115 se destacaram para produção de biomassa, sendo que os três últimos foram promissores para todos os caracteres estudados em pelo menos um corte de avaliação.

Os híbridos IAC-Campinas x IJ7139, Capim Cana D'África x Guaçu/IZ.2, Cameroon x Guaçu/IZ.2, Cameroon x Cuba 115 e CPAC x Cuba 115 apresentaram desempenho favorável simultaneamente para os caracteres número de perfilhos, produção de biomassa verde e produção de biomassa seca.

A família Capim Cana D'África x Guaçu/I.Z.2 reuniu o maior número de indivíduos potenciais para as variáveis altura de planta, diâmetro de colmo, produção de biomassa verde e produção de biomassa seca.

O indivíduo 5 da família Cana IAC-Campinas x IJ 7139, do blocos 2, apresenta melhor desempenho para produção de biomassa seca.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allard, R. W., & Bradshaw, A. D. (1964). Implications of genotype-environmental interactions in applied plant breeding. *Crop science*, 4(5), 503-508.
- Alves, A. A., Laviola, B. G., Formighieri, E. F., & Carels, N. (2015). Perennial plants for biofuel production: Bridging genomics and field research. *Biotechnology journal*, 10(4), 505-507.
- Anand, I. J., & Murty, B. R. (1969). Serial analysis of combining ability in diallel and fractional diallel crosses in linseed. *Theoretical and Applied Genetics*, 39(2), 88-94.
- Araújo, M. S. B (2016) Interação genótipo versus cortes anuais e comparação de métodos de estabilidade e de índices de seleção em capim-elefante (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Campos dos Goytacazes-RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 81p.
- Araújo, S. A. C., Deminics, B. B., & Campos, P. R. S. S. (2008). Melhoramento genético de plantas forrageiras tropicais no Brasil. *Arquivo de Zootecnia*, 57(R), 61-76.

- Assis, L. C. D. S. L., Lira, M. D. A., Santos, M. V. F. D., Dubeux Júnior, J. C. B., & Cunha, M. V. D. (2010). Estimativa de parâmetros genéticos sob duas estratégias de avaliação em híbridos intra e interespecíficos de capim- elefante. *Revista Brasileira de Zootecnia*.
- Bennet, J. M., Catovsky, D., Daniel, M. T., Flandrin, G., Galton, D. A. G., Gralnick, H. T., & Sultan, C. (1976). Proposals for the classification of the acute leukemias. *Br J Haematol*, 33(45), 1-8.
- Bordonal, R.O, Lal, R., Aguiar, D. A., de Figueiredo, E. B., Perillo, L. I., Adami, M., ... & La Scala, N. (2015). Greenhouse gas balance from cultivation and direct land use change of recently established sugarcane (*Saccharum officinarum*) plantation in south-central Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 547-556.
- Borém, A. (2005) melhoramento de espécies cultivadas. Viçosa: Ed. UFV, Imprensa Universitária, 969p.
- Borges, L. S., de Aquino, F. C., & Evangelista, A. F. (2016) Potencial do capim elefante para geração de bioenergia-revisão. *Nutritime Revista Eletrônica*, 13 (1), 4518-4523.
- Braz, T. G. D. S., Fonseca, D. M. D., Jank, L., Resende, M. D. V. D., Martuscello, J. A., & Simeão, R. M. (2013). Genetic parameters of agronomic characters in *Panicum maximum* hybrids. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 42(4), 231-237.
- Brunken, J.N. (1977) A systematic study of *Pennisetum* Sect. *Pennisetum* (Gramineae). *American Journal of Botany*, 64(2): 161-76.
- Carias, C. M. D. O. M., Gravina, G. A., Ferrão, M. A. G., da Fonseca, A. F. A., Ferrão, R. G., Vivas, M., & Viana, A. P. (2016). Predição de ganhos genéticos via modelos mistos em Progênies de café conilon. *Coffee Science*, 11(1), 39-45.

- Carvalho, M. M., Alvim, M. J., Xavier, D. F., & Carvalho, L. D. A. (1997). *Capim-elefante: produção e utilização*. Embrapa-SPI; Juiz de Fora: Embrapa-CNPGL.
- Cruz, C. D. (2013). GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 35(3), 271-276.
- Cruz, C. D.; Regazzi, A. J., Carneiro, P. C. S. (2012) Métodos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, v.1, 514p.
- 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.
- Daher, R. F., Souza, L. B., Gravina, G. A., Machado, J. C., Ramos, H. C. C., Silva, V. Q. R., ... & Gottardo, R. D. (2014). Use of elephant grass for energy production in Campos dos Goytacazes-RJ, Brazil. *Genetics and Molecular Research*, 13(4), 10898-10908.
- Daher, R. F.; Pereira, A. V.; Pereira, M. G.; Lédo, F. J. S.; Amaral Junior, A. T.; Rocabado, J. M.A.; Ferreira, C. F.; Tardin, F. D. (2004) Análise de trilha de caracteres forrageiros docapim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.). *Ciência Rural*, 34:1531-1535.
- Dall'Agnol, M., Scheffer-Basso, S. M., Nascimento, J. A. L., Silveira, C. A., & Fischer, R. G. (2004). Produção de forragem de capim-elefante sob clima frio. Curva de crescimento e valor nutritivo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 33(5), 1110-1117.
- Davide, L. C., Techio, V. H., Nunes, J. D., & Pereira, A. V. (2007). Variação cromossômica numérica em *Pennisetum*. *Ciência e Agrotecnologia*, 31(2), 398-405.

- Deresz, F. (1999) *Utilização do capim-elefante sob pastejo rotativo para produção de leite e carne*. Juiz de Fora, Embrapa-CNPGL, 29p. (Circular técnica 54).
- Duarte, J. B., & Vencovsky, R. (1999). *Interação Genótipos x Ambientes: Uma Introdução à Análise AMMI*. Sociedade Brasileira de Genética. *Série Monografias*. Ribeirão Preto.
- Eberhart, S. T., & Russell, W. A. (1966). Stability parameters for comparing varieties. *Crop science*, 6(1), 36-40.
- Eisenhart, C. (1947). The assumptions underlying the analysis of variance. *Biometrics*, 3(1), 1-21.
- Emerenciano Neto, J. V., de França, A. F., da Silva Bezerra, M. G., Cortes, L. C. D. S. L., & de Aguiar, E. M. (2015). Parâmetros genéticos de caracteres morfológicos e produtivos em híbridos intra e interespecíficos de capim-elefante. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, 5(1).
- Eufrade Junior, H. J., de Melo, R. X., Sartori, M. M. P., Guerra, S. P. S., & Ballarin, A. W. (2016). Sustainable use of eucalypt biomass grown on short rotation coppice for bioenergy. *Biomass and Bioenergy*, 90, 15-21.
- Falconer, D. S., & Mackay, T. F. (1996). *Introduction to quantitative genetics*. Harlow: Longman Group Ltd. 4.ed. London: Longman, 464p.
- Falconer, D.S. (1987) *Introdução à genética quantitativa*. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 279p
- Ferreira, R. P.; Pereira, A. V. (2005) *Melhoramento de forrageiras*. In: BOREM, A. (Ed.). *Melhoramento de espécies cultivadas*. Viçosa, MG: UFV, p. 781-812.
- Ferreira, R. T., Viana, A. P., Barroso, D. G., Resende, M. D. V. D., & Amaral Júnior, A. T. D. (2012). Toona ciliata genotype selection with the use of individual BLUP with repeated measures. *Scientia Agricola*, 69(3), 210-216.

- Figueiredo, U. J. D. (2015). Capacidade combinatória e estratégias de seleção em *Brachiaria ssp.* Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Lavras, MG, Universidade Federal de Lavras – UFLA, 142p.
- 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.
- 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, 80p.
- Freitas Júnior, do Amaral Júnior, A. T., Pereira, M. G., Cruz, C. D., & Scapim, C. A. (2006). Capacidade combinatória de milho pipoca por meio de dialelo circulante. *Pesquisa. Agropecuária. Brasileira, Brasília*, 41(11), 1599-1607.
- Fritsche-Neto, R., Gonçalves, M. C., Vencovsky, R., & Souza Júnior, C. L. (2010). Prediction of genotypic values of maize hybrids in unbalanced experiments. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 10(1), 32-39.
- Garbuglio, D. D., & de Araújo, P. M. (2014). Potencial genético de linhagens parcialmente endogâmicas e híbridos comerciais. *UNOPAR Científica Ciências Biológicas e da Saúde*, 5(1).
- Genovese, A. L., Udaeta, M. E. M., & Galvao, L. C. R. (2006). Aspectos energéticos da biomassa como recurso no Brasil e no mundo. *Proceedings of the 6. Encontro de Energia no Meio Rural.*
- Ghosh, S. K. (2016). Biomass & Bio-waste Supply Chain Sustainability for Bio-energy and Bio-fuel Production. *Procedia Environmental Sciences*, 31, 31-39.

- Hanna, W. W., Gaines, T. P., Gonzalez, B., & Monson, W. G. (1984). Effect of ploidy on yield and quality of pearl millet x Napiergrass hybrids. *Agronomy Journal*, 76(6), 969-971.
- Henderson, C. R. (1975). Best linear unbiased estimation and prediction under a selection model. *Biometrics*, 423-447.
- IRENA (2016), 'Renewable Energy and Jobs'. IRENA, Abu Dhabi. Energy and Jobs. Annual Review
- Jackson, P. A., & McRae, T. A. (1998). Gains from selection of broadly adapted and specifically adapted sugarcane families. *Field Crops Research*, 59(3), 151-162.
- Kempthorne, O, Curnow, R. N. (1961). The partial diallel cross. *Biometrics*, 17:229-250.
- Köpen, W. (1948). Climatologia. *Buenos Aires: Gráfica Panamericana*.
- Laurent, A., Pelzer, E., Loyce, C., & Makowski, D. (2015). Ranking yields of energy crops: a meta-analysis using direct and indirect comparisons. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 46, 41-50
- .
- Lima, E. S., Silva, J. F. C., Vásquez^{1c}, H. M., Araújo, S. A. C., F. N., Carneiro, R. F. V., ... & Costa, D. P. B. (2008). Composição e digestibilidade in vitro de genótipos de capim-elefante, aos 56 dias de rebrota. *Archivos de zootecnia*, 57(218), 279-282.
- Lima, R. S., Daher, R. F., Goncalves, L. S., Rossi, D. A., do Amaral Júnior, A. T., Pereira, M. G., & Lédo, F. J. S. (2011). RAPD and ISSR markers in the evaluation of genetic divergence among accessions of elephant grass. *Genetic Molecular Research*, 10, 1304-1313.

- Lira, M. de A.; Santos, M.V.F. dos; Dubeux Júnior, J.C.B.; Mello, A.C.L. de (2010). Capim-elefante: fundamentos e perspectivas. Recife: IPA: UFRPE, 229p.
- 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.
- Mazarella, V. N. G.; Ferreira, P. H.; Seguchi H. J. M. (2016) Balanços energéticos de capim-elefante x eucalipto: o capim como alternativa energética para indústrias cerâmicas. *Revista Biomassa BR*, nº 22.
- Mazarella, V. N. G., Seguchi, H. J. M., & Ferreira, P. H. (2015). BALANÇO ENERGÉTICO DO CAPIM ELEFANTE X EUCALIPTO. *Engineering Sciences*, 3(1).
- Mendonça, J. C., Sousa, E. F., Bernardo, S., Sugawara, M. T., Peçanha, A. L., & Gottardo, R. D. (2007). Determinação do coeficiente cultural (Kc) do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em Campos dos Goytacazes, RJ. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 471-475.
- Menezes, B. R. S, Daher, R. F., Gravina, G. A., Gottardo, R. D., Schneider, L. S. A., & dos Santos Rocha, A. (2016a). Comportamento Per se de híbridos de capim-elefante para fins energéticos. *Comunicata Scientiae*, 7(1), 73.
- Menezes, B. R. S, Daher, R. F., Gravina, G. A., Pereira, A. V.; Pereira M. G.; Tardim, F. D.; Silva, V. B.; Rodrigues, E. V.; Araújo, A. S. B.; Oliveira, M. L. F.; Almeida, B. O. (2016b) Combining ability in elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum) for energy biomass production. *Australian Journal of Crop Science*. 10 (9) , 1297-1305
- Menezes, B. R., Daher, R. F., Gravina, G. D. A., Pereira, A. V., Sousa, L. B., Rodrigues, E. V., ... & Novo, A. A. (2015). Estimates of heterosis parameters

in elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schumach.) for bioenergy production. *Chilean journal of agricultural research*, 75(4), 395-401.

Miranda Filho, J.B.; Hallauer A.R (1982). *Quantitative Genetics in Maize Breeding*, 1982.

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 open-pollinated progenies of *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. *Scientia Forestalis*, 203-209.

MME (2016). *Resenha energética brasileira (maio de 2016)*. Disponível em [http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/02+Resenha+Energ%C3%A9tica+Brasileira+2016+++Ano+Base+2015+\(PDF\)/66e011ce-f34b-419e-adf1-8a3853c95fd4](http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/02+Resenha+Energ%C3%A9tica+Brasileira+2016+++Ano+Base+2015+(PDF)/66e011ce-f34b-419e-adf1-8a3853c95fd4) Acesso em 09 jul. 2016.

Mohammed, I. Y., Abakr, Y. A., Kazi, F. K., Yusup, S., Alshareef, I., & Chin, S. A. (2015). Comprehensive characterization of napier grass as a feedstock for thermochemical conversion. *Energies*, 8(5), 3403-3417.

Monteiro, I. J. G., Abreu, J. G., Cabral, L. D. S., Ribeiro, M. D., Reis, R. H. P. (2011). Silagem de capim-elefante aditivada com produtos alternativos. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 33(4), 347-352.

Murty, B. R., Arunachalam, V., & Anand, I. J. (1967). Diallel and partial diallel analysis of some yield factors in *Linum usitatissimum*. *Heredity*, 22, 35-41.

Oliveira, É. O.; Daher, R. F., Ponciano, N. J., de Amaral Gravina, G., de Almeida Sant'ana, J. A., Gottardo, R. D., ... & dos Santos Rocha, A. (2015). Variation of Morpho-Agronomic and Biomass Quality Traits in Elephant Grass for Energy Purposes According to Nitrogen Levels. *American Journal of Plant Sciences*, 6(11), 1685.

- Oliveira, E. S.; Daher, R. F.; Tunes, E. N.; Soares, R. T. R. N.; Gonçalves, A. C. S.; Gravina, G. A. (2012) Potencial de germinação de estacas e avaliação de características morfoagronômicas em seis cultivares de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum) para fins energéticos em Campos dos Goytacazes, RJ. *Natureza on line*, 10 (1): 39-45.
- Oliveira, M. L. F., Daher, R. E. F., de Amara Gravina, G., da Silva, V. B., Rodrigues, E. V. O., Shimoya, A., ... & dos Santos Rocha, A. (2014). Pre-breeding of elephant grass for energy purposes and biomass analysis in Campos dos Goytacazes-RJ, Brazil. *African Journal of Agricultural Research*, 9(36), 2743-2758.
- Oliveira, R. A., Daros, E., Bessalho Filho, J. C., Zambon, J. L. C., Ido, O. T., Weber, H., ... & Neto, H. Z. (2008). Seleção de famílias de cana-de-açúcar via modelos mistos. *Scientia agraria*, 9(3), 269-274.
- Oliveira, R. A., Daros, E., de Resende, M. D. V., Bessalho-Filho, J. C., Zambon, J. L. C., Souza, T. R., & Lucius, A. S. F. (2011). Procedimento Blupis e seleção massal em cana-de-açúcar. *Bragantia*, 70(4), 796-800.
- Ong, H. C., Silitonga, A. S., Masjuki, H. H., Mahlia, T. M. I., Chong, W. T., & Boosroh, M. H. (2013). Production and comparative fuel properties of biodiesel from non-edible oils: *Jatropha curcas*, *Sterculia foetida* and *Ceiba pentandra*. *Energy conversion and management*, 73, 245-255.
- Osava, M. (2007) Capim elefante, novo campeão em biomassa no Brasil. Consultado em: <http://www.nuca.ie.ufrj.br/infosucro/assuntos/biomassa_0710.htm> em 19/02/2016.
- Paciullo, D. S. C., Campos, N. R., Gomide, C. A. M., CASTRO, C. D., Tavela, R. C., & Rossiello, R. O. P. (2008). Crescimento de capim-braquiária influenciado pelo grau de sombreamento e pela estação do ano. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 43(7), 917-923.

- Paterlini, E. M., Arantes, M. D. C., Gonçalves, F. G., Vidaurre, G. B., Bauer, M. D. O., & Moulin, J. C. (2013). Evaluation of elephant grass for energy use. *Journal of Biotechnology and Biodiversity*, 4(2), 119-125.
- Patterson, H. D., & Thompson, R. (1971). Recovery of inter-block information when block sizes are unequal. *Biometrika*, 58(3), 545-554.
- 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.
- Pegoraro, R. F., Mistura, C., Wendling, B., Fonseca, D. M. D., & Fagundes, J. L. (2009). Water and nitrogen management in the cultivation of elephant grass. *Ciência e Agrotecnologia*, 33(2), 461-467.
- Pereira, A. V. e Lédo, F. J. S. (2008) Melhoramento genético de *Pennisetum purpureum*. In: Resende, R. M. S., Vale, C. B. e Jank, L. (Eds.). Melhoramento de forrageiras tropicais, p.89-116.
- Pereira, A. V., Machado, M. A., Azevedo, A. L. S., do Nascimento, C. S., Campos, A. L., & da Silva Lédo, F. J. (2008). Diversidade genética entre acessos de capim-elefante obtida com marcadores moleculares. *R. Bras. Zootec*, 37(7), 1216-1221.
- Pereira, A.V., Valle, C.B., Ferreira, R.P., Miles, J.W. (2001) Melhoramento de forrageiras tropicais. In: Nass, L.L., Valois, A.C.C., Melo, I.S., Valadares Inglis, M.C. (Eds.). *Recursos genéticos e melhoramento*. Rondonopoli: p. 549 – 602.
- Pfann, A. Z., Faria, M. V., de Andrade, A. A., do Nascimento, I. R., Faria, C. M. D. R., & Bringhentti, R. M. (2009). Capacidade combinatória entre híbridos simples de milho em dialelo circulante. *Ciência Rural*, 39(3), 635-641.

- Piepho, H. P., Möhring, J., Melchinger, A. E., & Büchse, A. (2008). BLUP for phenotypic selection in plant breeding and variety testing. *Euphytica*, 161(1-2), 209-228.
- Quijada, R. M. (1980) Interacción genotipo x ambiente. In: FAO/DANIDA. *Mejora genética de arboles forestales*. Merida: FAO/Danida, p. 231-235.
- Quirino, W. F., Vale, A. T., Andrade, A. P. A., Abreu, V. L. S., & AZEVEDO, A. D. S. (2005). Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. *Revista da Madeira*, 89(100), e106.
- Ramalho, M. A. P.; Santos, J. B.; Zimmermann, M. J. (1993). *Genética quantitativa em plantas autógamas - aplicações ao melhoramento do feijoeiro*. Goiânia: Editora UFG, 271p.
- Ramalho, M.A.P.; Santos, J.B.; Pinto, C.A.B.P.; Souza, E. A.; Gonçalves, F. M. A.; Souza, J. C. (2012). *Genética na agropecuária*. 5.ed. Lavras: UFLA, 566p.
- Resende, M. D. V. (2002). *Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas*. Brasília: Embrapa, 975p.
- Resende, M. D. V. (2007) *SELEGEN-REML/BLUP: Sistema estatístico de seleção genética computadorizada via modelos lineares mistos*. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 359p.
- 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.
- Rocha, A. S, Daher, R. E. F., de Amaral Gravina, G., Vander Pereira, A., Rodrigues, E. V. O., Viana, A. P., ... & da Silva Oliveira, E. (2015). Comparison of stability methods in elephant-grass genotypes for energy purposes. *African Journal of Agricultural Research*, 10(47), 4283-4294.

- Rocha, E.P., Souza, D.F., Damasceno, S.M. (2009) Estudo da viabilidade da utilização de briquete de capim como fonte alternativa de energia para queima em alto-forno. *Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica*, 8, Uberlândia: Associação dos Bibliotecários do Rio de Janeiro, v. 2, p. 1015-1100.
- Rocha, J. R. D. A. S. (2015). Pré-melhoramento genético do capim-elefante para a produção de bioenergia. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Viçosa - MG, Universidade Federal de Viçosa- UFV, 50p.
- 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. *Genet. Mol. Res*, 12(3), 2391-2399.
- 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.
- Rossi, D. A., da Silva Menezes, B. R., Daher, R. F., de Amaral Gravina, G., de Lima, R. N., da Silva Lédo, F. J., ... & de Souza, C. L. M. (2014). Canonical correlations in elephant grass for energy purposes. *African Journal of Biotechnology*, 13(36).
- Rueda, J. A., Ortega-Jiménez, E., Hernández-Garay, A., Enríquez-Quiroz, J. F., Guerrero-Rodríguez, J. D., & Quero-Carrillo, A. R. (2016). Growth, yield, fiber content and lodging resistance in eight varieties of *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone intended as energy crop. *Biomass and Bioenergy*, 88, 59-65.
- Sá, J. M.; Segundo Urquiaga, S. Jantalia, C. P.; Soares, L. H. B.; Alves, B. J. R., Boddey, R. M., Marchão, R. L., & Vilela, L. (2013). Balanço energético da

produção de grãos, carne e biocombustíveis em sistemas especializados e mistos. *Pesq. agropecuária. brasileira*, 48(10), 1323-1331.

Salazar-Zeledón, E., Moya, R., & Valaert, J. (2015). Biomass and Bioenergy Production of *Arundo donax* L., *Pennisetum purpureum* Schum. and *Pennisetum purpureum* Schumack. x *Pennisetum glaucum* L. in Short Rotation Cropping System in Costa Rica. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 9(6), 572-579.

Silva, A. L., Tardin, F. D., Rotta, G. W., Baldoni, A. B., Barelli, M. A. A., da Silva, A. F., ... & da Costa Parrella, R. A. (2016). Characterization of biomass sorghum cultivars aiming to generate energy for the north region of Mato Grosso, Brazil. *Nativa*, 4(3), 175-178.

Silva, E., & Rocha, C. R. (2010). Eucalipto e capim elefante: características e potencial produtivo de biomassa. *Revista Agrogeoambiental*, 2(1) 143-152.

Silva, V. B (2016) Predição de ganhos genéticos com seleção entre e dentro de famílias de irmãos completos de capim-elefante para fins energéticos (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Campos dos Goytacazes-RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 60p.

Silva, V. Q. R., Damer, R. F., de Amaral Gravina, G., da Silva Ledo, F. J., Tardin, F. D., & de Souza, M. C. (2014) Capacidade combinatoria de capim elefante com base em caracteres morfoagronomicos. *Boletim de Indústria Animal*, 71(1), 63-70.

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. Online), 11: 85-91.

Szczerbowski, D., Pitarelo, A. P., Zandoná Filho, A., & Ramos, L. P. (2014). Sugarcane biomass for biorefineries: comparative composition of

carbohydrate and non-carbohydrate components of bagasse and straw. *Carbohydrate polymers*, 114, 95-101.

Tcacenco, F.A., Botrel, M.A. (1997) Identificação e avaliação de acessos e cultivares de capim-elefante. In: Carvalho, M.M., Alvin, M.J., Xavier, D.F. (eds.) *Capim-elefante: produção e utilização*. 2. ed. Brasília: Embrapa SPI e Juiz de Fora: Embrapa-Gado de Leite, p.1- 30.

Techio, V. H., Davide, L. C., Pedrozo, C. Â., & Vander Pereira, A. (2008). Viabilidade do grão de pólen de acessos de capim-elefante, milheto. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 28(1), 7-12.

Teixeira, J. E. D. C., Bonine, C. A. V., Dias, D. D. C., Scarpinati, E. A., Aguiar, A. M., Toledo, F. H. R. B., ... & Vencovsky, R. (2013). Cruzamentos dialélicos entre clones elite de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*. *Scientia Forestalis* 41(100), 497-505.

United Nations Framework Convention on Climate Change - UNFCCC (2015) Adoption of the Paris Agreement. FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1. Disponível em: <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf> Acesso em 10 de jul. de 2016.

Veiga, R. D., Ferreira, D. F., & Ramalho, M. A. P. (2000). Eficiência dos dialelos circulantes na escolha de genitores. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35(7), 1395-1406.

Vencovsky, R., & Barriga, P. (1992). Genética biométrica no fitomelhoramento.

Verissimo, M. A. A., Silva, S. D. D. A., Aires, R. F., Daros, E., & Panziera, W. (2012). Adaptability and stability of early sugarcane genotypes in Rio Grande do Sul, Brazil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 47(4), 561-568.

Viana, A. P. & Resende, M. D. V. (2014) *Genética quantitativa no melhoramento de fruteiras*. 1. Ed. Rio de Janeiro: Interciência, 296p.

- Viana, J. M. S., de Almeida, Í. F., de Resende, M. D. V., Faria, V. R., & e Silva, F. F. (2010). BLUP for genetic evaluation of plants in non-inbred families of annual crops. *Euphytica*, 174(1), 31-39.
- Vivas, M., Silveira, S. F., Viana, A. P., Amaral Jr, 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: GMR*, 13, 4797-4804.
- Xavier, D. F., Daher, R. F., Botrel, M. D. A. e Pereira, J. R. (1993). Poder germinativo de sementes de capim-elefante. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 22(4):565-571.
- Zanetti, J.B. (2010) Identificação de genótipos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schumach.) de alta produção de biomassa com qualidade para fins energéticos. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Seropédica - RJ, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro- UFRRJ, 84p.
- Zhou, M., & Joshi, S. (2012). Trends in broad sense heritability and implications for sugarcane breeding in South Africa. *Sugar Tech*, 14.