

**CAPACIDADE COMBINATÓRIA EM CAPIM-ELEFANTE POR MEIO
DE DIALELO CIRCULANTE PARA PRODUÇÃO DE BIOMASSA-
ENERGÉTICA**

ANA KESIA FARIA VIDAL

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

**CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
FEVEREIRO - 2018**

**CAPACIDADE COMBINATÓRIA EM CAPIM-ELEFANTE POR MEIO
DE DIALELO CIRCULANTE PARA PRODUÇÃO DE BIOMASSA-
ENERGÉTICA**

ANA KESIA FARIA VIDAL

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

Orientador: Prof. Rogério Figueiredo Daher

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
FEVEREIRO - 2018

FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do CCH / UENF

027/2018

V648 Vidal, Ana Kesia Faria.

Capacidade combinatória em capim-elefante por meio de dialelo circulante para produção de biomassa-energética / Ana Kesia Faria Vidal. – Campos dos Goytacazes, RJ, 2018.

70 f. : il.

Bibliografia: f. 46 – 57.

Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2018.

Orientador: Rogério Figueiredo Daher.

1. *Pennisetum purpureum* Schum. 2. Biomassa Energética. 3. Melhoramento Genético. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD –633.2

CAPACIDADE COMBINATÓRIA EM CAPIM-ELEFANTE POR MEIO
DE DIALELO CIRCULANTE PARA PRODUÇÃO DE BIOMASSA-
ENERGÉTICA

ANA KESIA FARIA VIDAL

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

Aprovada em 22 de fevereiro de 2018.

Comissão Examinadora:



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



Dr. Janeo Eustáquio de Almeida Filho (D. Sc., Genética e Melhoramento) – UENF



Prof. Dr. Marcelo Vivas (D.Sc., Genética e Melhoramento de Plantas) - UENF



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

*“Mas em todas estas coisas somos mais do que vencedores, por
aquele que nos amou.”*

(Romanos 8:37)

A Deus e à minha família, em especial à minha mãe, Arlinda Faria Machado, às minhas irmãs, Mariana Machado Vidal e Juliana Faria Vidal, e ao meu esposo, Rafael Souza Freitas.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me guiar durante toda esta caminhada iluminando meus pensamentos e me concedendo forças para prosseguir;

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

À Fundação Carlos Chagas de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro – FAPERJ, pela concessão da bolsa;

Ao meu orientador, Rogério Figueiredo Daher, pela oportunidade que me deu de desenvolver este trabalho, por dedicar parte do seu tempo para me ajudar, pelo incentivo, pela dedicação, pela confiança e pela amizade ao longo deste trajeto.

Aos membros de banca, Professor Dr. Marcelo Vivas, Dr. Janeo Eustáquio de Almeida Filho e Dr. Flávio Dessaune Tardin, primeiramente pelo aceite para participar da minha banca e por todas as valiosas contribuições.

Aos Técnicos de Campo da PESAGRO, por toda a ajuda durante as avaliações do experimento, agradeço em especial a Dorian Peres, Enildo, Fernando, José Manoel, Júlio Cesar, Fernando e Romildo Gottardo, por todo carinho recebido e interesse constante em me ajudarem.

Aos professores do Programa, no qual tive a honra de estudar, que desempenharam com dedicação as aulas ministradas, pelas trocas de

conhecimento e experiências, que foram tão importantes para a minha vida acadêmica.

Ao secretário do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, José Daniel Valle de Almeida, pela paciência, carinho e amizade. Por sempre nos receber com um sorriso no rosto e presteza para sanar todas as nossas dúvidas.

À equipe de alunos do capim-elefante, Alexandre Gomes, Avelino Rocha, Brunno Almeida, Erina Rodrigues, Lilia Gravina, Rafael Freitas, Sabrina Cassaro, Yure Pequeno e Wanessa Stida, por toda a ajuda na coleta de dados no campo, pela amizade e momentos de descontração.

Agradeço a todos os colegas do curso de Pós-Graduação com quem vivenciei momentos de estudo e de alegria no decorrer desta jornada.

À minha família, em especial à minha mãe, Arlinda Faria, por ser o alicerce da minha vida, a grande responsável pela minha formação pessoal, e às minhas irmãs, Mariana e Juliana, pelo incentivo e apoio em todos os momentos da minha vida.

Ao Rafael, por todo incentivo, paciência, compreensão, carinho e amor, compartilhando comigo todos os momentos de tristezas e de alegrias durante toda essa jornada.

E a todos os demais que de forma direta ou indireta fizeram parte da minha vida e ficarão guardados em minha memória.

SUMÁRIO

RESUMO	viii
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo Geral	3
2.2 Objetivos Específicos.....	3
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
3.1 O capim-elefante: origem, aspectos gerais e utilização da cultura.....	4
3.2. Melhoramento genético do capim-elefante	7
3.3. Análises dialéticas.....	9
4. MATERIAL E MÉTODOS	11
4.1. Caracterização da área experimental	11
4.2 Genitores	13
4.3. Condução dos experimentos	15
4.4 Caracteres avaliados	15
4.5 Análise genético-estatística	16
4.5.1 Análise de variância (ANOVA).....	16
4.5.2 Análise Dialética de Kempthorne e Curnow (1961)	16
5. RESULTADOS E DISCUSÃO	18
5.1. Análise de variância	18
5.3. Análise dialética de Kempthorne e Curnow para dialelos circulantes	28
5.3.1. Análise de variância para capacidade de combinação	28
5.3.2. Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação.....	31
5.3.3. Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação	36

6. CONCLUSÕES.....	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46

RESUMO

VIDAL, Ana Kesia Faria; M.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; fevereiro, 2018. CAPACIDADE COMBINATÓRIA EM CAPIM-ELEFANTE POR MEIO DE DIALELO CIRCULANTE PARA PRODUÇÃO DE BIOMASSA-ENERGÉTICA; Orientador: Rogério Figueiredo Daher; Conselheiros: Antônio Teixeira do Amaral Júnior e Marcelo Vivas

O estudo das características produtivas em capim-elefante é de grande importância para o sucesso dos programas de melhoramento com o objetivo de aumentar a produtividade da cultura, sendo a hibridação considerada uma das melhores estratégias de se obter indivíduos superiores. Assim sendo, a seleção de genitores constitui uma das etapas mais importantes nos programas de melhoramento. Uma técnica que auxilia na escolha dos genitores, levando em consideração a capacidade de se combinarem em híbridos que produzam populações segregantes promissoras, é a análise dialélica. Diante disso, o objetivo do presente trabalho foi gerar informações sobre a capacidade combinatória de dez genitores de capim-elefante, em esquema de dialelo circulante em quatro cortes de avaliação, para utilização em programas de melhoramento da espécie. Realizaram-se cruzamentos no delineamento genético dialelo circulante entre dez genótipos de capim-elefante (Cubano Pinda, Vrukwna, IAC-Campinas, Capim Cana D'África, Cameroon, CPAC, IJ 7139, União, Guaçu/I.Z.2, Cuba-115). Para avaliação dos híbridos, 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 cinco

plantas centrais. Avaliaram-se Número de Perfilho por Touceira; Diâmetro de colmo; Altura de plantas; Produção de matéria seca da planta; e Porcentagem de matéria seca. Para analisar os resultados, foram utilizados os recursos computacionais do Programa GENES. Para ambos os cortes, a maioria dos caracteres avaliados, exceto %MS e DC, expressou valores significativos para os genótipos, indicando a existência de variabilidade genética. Os genitores G6 (CPAC), G7 (IJ 7139) e G9 (Guaçu/I.Z.2) contiveram os melhores valores de capacidade geral de combinação ($\hat{\sigma}_i$) denotando que contribuirão para elevar a qualidade das principais características da cultura em programas de melhoramento para fins energéticos. O híbrido H11 (Capim Cana D'África x Guaçu/I.Z.2) obteve valores positivos para o efeito $\hat{\sigma}_{ii}$ em todas as cinco características avaliadas, sendo considerado, portanto, um indivíduo potencial para utilização visando à produção de biomassa-energética.

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

ABSTRACT

VIDAL, Ana Kesia Faria; M. Sc .; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; February, 2018. COMBINATION CAPABILITY IN ELEPHANT-GRASS BY PARTIAL DIALEL FOR BIOMASS-ENERGY PRODUCTION; Advisor: Rogério Figueiredo Daher; Co-Advisors: Antônio Teixeira do Amaral Junior and Marcelo Vivas

The study of the productive characteristics in elephant-grass is of great importance for the success of breeding programs with the objective of increasing crop yield, being hybridization regarded as one of the best strategies for obtaining superior individuals. Therefore, the selection of parents is one of the most important stages in breeding programs. One technique that assists in the choice of parents, taking into account the ability to combine in hybrids that produce promising segregating populations, is the diallel analysis. Therefore, the objective of the present work was to generate information on the combinatorial capacity of ten elephant-grass genotypes, in a partial diallel scheme in four cut sections to use in breeding programs of the species. Crosses were made in the circulant diallel genetic design of ten elephant-grass genotypes (Cubano Pinda, Vrukwona, IAC-Campinas, Capim Cana D'Africa, Cameroon, CPAC, IJ 7139, Union, Guaçu / IZ2, Cuba-115). To evaluate the hybrids, an experiment was carried out in a randomized block design with three replications. The plot consisted of a 14 m line with a spacing of 1.40 m between lines and 1.40 m between plants, the useful area was composed of five central plants. Number of Profiles per clump; Thatched diameter; Height of plants; Dry matter production of the plant; and Dry matter percentage were assessed. To

analyze the results, the computational resources of the GENES Program were used. For both cuts, most of the characters evaluated, except %MS and TD, expressed significant values for the genotypes, indicating the existence of genetic variability. The genotypes G6 (CPAC), G7 (IJ 7139) and G9 (Guaçu / IZ2) had the best values of general combining ability (\hat{g}_i) denoting that they will contribute to raise the quality of the main characteristics of the crop in breeding programs for energy purposes. The H11 hybrids (Capim Cana D'Africa x Guaçu / I.Z.2) obtained positive values for the \hat{s}_{ii} effect in all five evaluated characteristics, being therefore considered a potential individual for use in biomass-energy production.

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

1. INTRODUÇÃO

A biomassa se apresenta como um recurso promissor para a produção de energia, revelando vantagens econômicas e ambientais com relevância significativa pelo baixo custo de produção, além de reduzir as emissões de dióxido de carbono (CO₂), podendo ser convertida em produtos químicos, energia térmica/elétrica, biocombustíveis, entre outros materiais essenciais (Fontoura et al., 2015).

O capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) é uma das espécies mais importantes utilizadas para esse fim, devido a apresentar alta produtividade em comparação com o eucalipto e com a cana-de-açúcar, produzindo aproximadamente 40 toneladas de matéria seca por hectare por ano (Sommerville et al., 2010). Tal produção ocorre em função da sua eficiência fotossintética atribuída ao seu metabolismo C4 (Euclides et al., 2008). Esta forrageira também apresenta características como elevado teor de fibras, alta relação C/N e elevado poder calorífico (Rocha et al., 2017, Vidal, et al., 2017).

O estudo das características produtivas em capim-elefante é de grande importância para o sucesso dos programas de melhoramento com o objetivo de aumentar a produtividade da cultura (Silva et al., 2008). Sendo a hibridação considerada uma das melhores estratégias para se obterem indivíduos superiores, com ela é possível a obtenção de híbridos de capim-elefante com desempenho produtivo superior ao dos seus genitores (Menezes et al., 2016). A hibridação consiste do cruzamento de indivíduos com fenótipos desejáveis, de modo que o

vigor híbrido é maximizado ao realizar cruzamentos entre genitores divergentes (Ramalho et al., 2004). Assim sendo, a seleção de genitores constitui uma das etapas mais importantes nos programas de melhoramento.

Uma técnica que auxilia na escolha dos genitores é a análise dialélica. A finalidade da análise dialélica é a de estudar o delineamento genético provendo estimativas de parâmetros úteis na seleção de genitores para hibridação e no entendimento dos efeitos genéticos envolvidos na determinação dos caracteres quantitativos, permitindo, assim, analisar o potencial genético dos genitores e dos cruzamentos (lemma, 2003). No entanto, sua utilização pode ser limitada quando envolve grande número de genitores.

Entretanto, 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 (Cruz et al., 2012). Para contornar esse entrave, Kempthorne e Curnow (1961) desenvolveram a metodologia do dialelo circulante. Com isso, tornou-se viável o estudo da capacidade geral e específica de combinação quando se dispõe de um número elevado de genitores e de escassez de recursos, lançando mão de apenas uma amostra de todos os possíveis cruzamentos entre os genitores (Cruz et al., 2004).

Diversos trabalhos têm demonstrado a eficiência da utilização da metodologia dos dialelos circulantes, como os de Pfann et al., (2009) e Freitas Júnior et al., (2006), em milho. Vivas et al. (2014) avaliaram a eficiência do dialelo circulante, via modelos mistos, na seleção de genótipos de *Carica papaya*. E o de Veiga, Ferreira e Ramalho (2000), com dados simulados. Entretanto, para a cultura do capim-elefante, ainda não existem trabalhos relatando o uso do dialelo circulante. Desta forma, é de grande importância o emprego dessa metodologia para a cultura do capim-elefante, principalmente devido à dificuldade para obter as combinações híbridas.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Gerar informações sobre a cultura do capim-elefante na expectativa de obter híbridos de capim-elefante com potencial para fins energéticos, com o objetivo de serem recomendados aos produtores do Norte Fluminense.

2.2 Objetivos Específicos

- ✓ Estimar a capacidade geral e a capacidade específica de combinação de genótipos de capim-elefante com potencial para produção de biomassa-energética;
- ✓ Avaliar o comportamento *per se*, por meio de características morfoagronômicas, de 15 combinações híbridas em quatro cortes de avaliação;
- ✓ Selecionar híbridos superiores para a produção de energia.

2. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 O capim-elefante: origem, aspectos gerais e utilização da cultura

O capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) é uma forrageira tropical de origem africana, que apresenta alta capacidade de produção e acúmulo de matéria seca de qualidade (Urquiaga et al., 2006). Pertence à família Poaceae, subfamília Panicoideae, tribo Paniceae, a qual reúne os mais importantes gêneros de plantas forrageiras tropicais, como *Brachiaria*, *Panicum*, *Melinis*, *Setaria*, *Axonopus* e *Acroceras*. (Brunken, 1977; Xavier et al., 1993; e Tcacenco e Botrel, 1997).

Após ser descoberta, a espécie se dispersou por toda África, sendo encontrada em uma extensa área da África ocidental, desde Guiné, a oeste, até Moçambique e sul do Quênia, a leste, incluindo Angola e Zimbábue, ao sul. Foi introduzido no Brasil no início do século XX pelo Coronel Napier por meio de mudas provenientes de Cuba. Seu cultivo foi disseminado por todo o País por apresentar boa adaptação ao ambiente tropical (Pereira et al, 2008; Cavalcante e Lira, 2010).

O capim-elefante é uma espécie cujas características morfológicas e fenológicas apresentam ampla variação. Dentre elas, ressaltam-se: ciclo vegetativo perene, hábito de crescimento cespitoso, colmos eretos, cilíndricos, glabros e preenchidos por um parênquima succulento, dispostos em touceiras variando de 3,5 a 6,0 m de altura, com entrenós de 15 a 20 cm 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. Suas inflorescências apresentam aparência de espigas, embora sejam classificadas como panículas espiciformes com espiguetas aladas e verticiladas, pedicelos persistentes. As panículas são de formato cilíndrico, 13 a 30 cm de comprimento, densamente floridas por espiguetas isoladas ou em grupos, e as flores podem ser masculinas ou bissexuais (Deresz, 1999).

O capim-elefante é uma planta alógama, com alto grau de heterozigose. 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). A taxa de polinização cruzada nessa espécie dependerá da época de florescimento e do arranjo físico das populações. Apresenta protogínia com intervalo médio de tempo decorrido entre a emissão dos estigmas e a abertura das anteras de três a quatro dias. A variação entre a época de florescimento dos genótipos permite classificá-los em precoces, intermediários e tardios (Pereira, 1994).

O cultivo dessa espécie é realizado, principalmente, por meio de propagação vegetativa (Pereira e Lédo, 2008), devido às sementes desta espécie apresentarem baixa taxa de germinação e vigor. A propagação vegetativa se apresenta como uma vantagem, pois, uma vez obtido genótipos superiores provenientes de cruzamentos, é possível fixá-los e propagá-los, mantendo assim a constituição genotípica.

Pereira (1994), considerando as principais características com função discriminatória e importância agrônômica, bem como a constituição genética, separou os genótipos de capim-elefante em distintos grupos; são eles:

- Grupo Anão: os genótipos deste grupo são mais adaptados para pastejo em função do menor comprimento dos entrenós. As plantas desse grupo apresentam porte baixo (1,5 m) e elevada relação lâmina: colmo. Um exemplo é a cultivar Mott.

- Grupo Cameroon: apresenta plantas de porte ereto, colmos grossos, predominância de perfilhos basilares, folhas largas, florescimento tardio (maio a julho) ou ausente e touceiras densas. Como exemplo, podem ser citados os genótipos Cameroon, Piracicaba, Vruckwona e Guaçu.

- Grupo Mercker: caracterizado por apresentar menor porte, colmos finos, folhas finas, menores e mais numerosas, e época de florescimento precoce (março a abril). Os genótipos Mercker, Mercker comum, Mercker Pinda fazem parte deste grupo.

- Grupo Napier: os genótipos deste grupo apresentam variedades de plantas com colmos grossos, folhas largas, época de florescimento intermediária (abril a maio) e touceiras abertas. Como exemplares, podem ser citados os genótipos Napier, Mineiro e Taiwan A-146.

- Grupo dos Híbridos: resultante do cruzamento entre espécies de *Pennisetum*, principalmente *P. purpureum* e *P. americanum*. A identificação dos genótipos é importante, pois permite uma recomendação mais próxima da correta para o manejo e o sistema de utilização.

O capim-elefante é uma das mais importantes forrageiras cultivadas no Brasil, sendo amplamente difundida por ser cultivada em condições ambientais divergentes. É uma das espécies forrageiras de maior eficiência fotossintética, elevada capacidade de produção de matéria seca e elevado teor de fibras, o que indica potencial para a produção de energia (Samson et al., 2005).

Embora a maioria dos programas de melhoramento do capim-elefante esteja direcionada ao seu uso como forrageira, essa espécie vem sendo estudada também como fonte alternativa de energia. A planta ideal para tal finalidade deve ser rica em fibras e lignina, com alta relação C: N, aliada à alta produção de biomassa, objetivando assim um produto de boa qualidade e com o mínimo consumo de energia fóssil (Lemus et al., 2002; Quesada, 2005; Samson et al., 2005).

O uso da biomassa de capim-elefante pode ser feito por meio de quatro formas: pela combustão direta, pela gaseificação, pelo carvoejamento e pela hidrólise do bagaço (álcool). A queima direta envolve as etapas de colheita, secagem, transporte e combustão. Sua biomassa *in natura* (queima direta) possui baixa densidade energética quando comparada à da lenha (cavaco de madeira), sendo de baixa densidade a granel (Seye, 2003). Estudos visando à melhoria dessa característica são necessários para que genótipos de capim-elefante possam ser utilizados na combustão direta de maneira mais eficiente.

As vantagens do uso da biomassa como fonte energética, se dá pelo fato de ser uma energia renovável, permitindo assim o reaproveitamento de resíduos,

não contribuindo para o efeito estufa com o gás carbônico (CO₂), já que o mesmo é absorvido pela fotossíntese, o que não ocorre em outras fontes de energia como o petróleo ou o carvão; além disso, apresenta um baixo custo de produção (Evane e Rocha, 2010). Nesse contexto, o Brasil torna-se um país favorecido para o processo da bioconversão, pois possui todos os fatores essenciais, tais como: elevada taxa de incidência solar, excelentes condições edafoclimáticas e uma grande disponibilidade de áreas apropriadas para a agricultura ou a silvicultura (Couto et al., 2004).

3.2. Melhoramento genético do capim-elefante

O melhoramento tem sido definido como a arte e a ciência de obter plantas geneticamente superiores, envolvendo uma mudança genética adaptativa das plantas, praticada de acordo com os interesses do homem (Pereira et al., 2001).

O melhoramento genético é uma das tecnologias mais bem-sucedidas desenvolvidas na agricultura, sendo responsável pelo desenvolvimento de novas variedades, com características superiores em diversas culturas agrícolas. Com o avanço na área de marcadores moleculares, modelos estatísticos e metodologias de seleção, têm se observado um aumento cada vez maior na produtividade das culturas (Fuente et al., 2013).

O melhoramento do capim-elefante por muito tempo foi realizado objetivando genótipos com aptidão apenas para alimentação animal. Entretanto, a grande demanda por combustíveis fósseis, e a emissão de gases de efeito estufa pela utilização desses combustíveis, faz com que novos estudos sejam realizados a fim de substituí-los por fontes alternativas de energia (Partelini et al., 2013).

A Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) tem desenvolvido um programa de melhoramento genético de capim-elefante visando a obter genótipos adaptados às condições edafoclimáticas da Região Norte Fluminense, tanto para produção animal (Silva et al., 2014; Cunha, 2012; Oliveira, et al., 2013; Schneider, 2013) como para produção de energia (Rossi et al., 2014; Lima et al., 2011; Barbé, 2012; Sousa et al., 2016; Daher et al., 2014; Menezes et al., 2014; Oliveira et al., 2014; Santos et al., 2014; Rocha et al., 2015; Freitas et al., 2018).

O capim-elefante apresenta ampla variabilidade genética, que pode ser explorada para obtenção de novas cultivares com características desejáveis

tornando, assim, viável o melhoramento da cultura de acordo com os objetivos pretendidos (Araújo et al., 2008; Cunha et al., 2011).

A caracterização dos materiais que compõem os bancos de germoplasma de capim-elefante se apresenta como um dos maiores problemas relacionados com a identificação dos acessos gerando dúvidas sobre a diversidade genética do germoplasma e a representatividade de diferentes ecossistemas. A maioria das cultivares é constituída por clones selecionados de materiais coletados nas áreas de diversidade da espécie. A descrição fenotípica dos acessos tem sido realizada pela utilização de um conjunto de descritores com base em caracteres morfológicos (altura da planta; número, comprimento e diâmetro dos internódios; comprimento e largura das folhas; presença de pelos); caracteres reprodutivos (época de florescimento; comprimento, diâmetro e cor da inflorescência; tamanho da cariopse); caracteres agronômicos (relação folha/caule, produção de matéria seca); e caracteres nutricionais (digestibilidade, composição bromatológica) (Freitas et al., 2000).

As estratégias de melhoramento genético adotadas em cada espécie de plantas estão diretamente relacionadas com o sistema reprodutivo bem como a forma de propagação. Sendo assim, a metodologia utilizada no melhoramento do capim-elefante é a mesma empregada no desenvolvimento das espécies alógamas (Pereira et al., 2001). O capim-elefante é uma espécie alógama e pode ser propagado por 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). Estas informações são úteis para nortear um programa de melhoramento, ou seja, possibilita um direcionamento de quais métodos empregar.

No entanto, deve-se atentar para algumas características específicas do capim-elefante, que podem contribuir ou dificultar o processo, como florescimento protogínico, que varia de três a quatro dias; elevado número de inflorescência por planta; florescimento gradual; ciclo perene; germoplasma com ampla variabilidade; e possibilidade de cruzamento interespecífico. Também é necessário levar em consideração critérios como complementação alélica e divergência genética para a escolha dos genitores que participarão dos cruzamentos. Isso permite a obtenção de progênie segregante com elevado grau de heterose. Por meio de análises

simples, é possível se obter a capacidade combinatória entre genótipos (Pereira et al., 2001).

3.3. Análises dialélicas

As análises dialélicas apresentam-se como um método comumente utilizado na investigação de caracteres quantitativos no melhoramento genético de plantas (Marchesan, 2008). Foi proposto por Griffing (1956) e representa uma técnica de relevo para o melhoramento de plantas, uma vez que permite a recombinação da variabilidade disponível, admitindo a obtenção de novos genótipos com características superiores (Marchesan, 2008). Possibilitam também obter informações a respeito do desempenho dos genitores em cruzamentos e a identificação de grupos heteróticos; propiciam ainda estimar parâmetros úteis no entendimento dos efeitos genéticos envolvidos na determinação dos caracteres (Machado, 2007).

No sistema dialélico, é escolhido um grupo de p linhagens, que são cruzadas entre si fornecendo o máximo de p^2 combinações. No sistema de cruzamentos dialélicos, a capacidade combinatória é dividida em capacidade geral e capacidade específica de combinação (Cruz et al., 2012). A capacidade geral de combinação (CGC) corresponde ao comportamento dos genitores, quando um genitor é cruzado com outro, e está associada a efeito aditivo dos genes. A capacidade específica de combinação (CEC) corresponde ao comportamento médio dos híbridos e está associada aos desvios de dominância (Griffing, 1956).

Existem diferentes análises dialélicas; são elas: dialelos balanceados (incluem todas as combinações), desbalanceados (número desigual de combinações híbridas), parciais (F1s e genitores), incompletos (número variável de combinações por genitor) e circulantes (combinações por genitor inferior a $p-1$) (Cruz et al., 2012).

Os dialelos circulantes, criados por Kempthorne e Curnow (1961), surgiram com o intuito de solucionar um grande entrave causado pelos cruzamentos dialélicos, pois estes geram um grande número de cruzamentos a serem avaliados, pelo grande número de genitores utilizados, dificultando assim o trabalho dos melhoristas, devido à necessidade de muita mão de obra nas polinizações manuais para obtenção de todos os cruzamentos desejados (Miranda Filho & Geraldi, 1984).

Com o dialelo circulante, apenas parte das possíveis combinações híbridas são utilizadas para estimar os efeitos genéticos, sendo o estudo da capacidade geral e específica de combinação realizado por meio da análise de uma amostra de todos os possíveis cruzamentos entre os genitores, ao contrário dos dialelos completos, em que todas as combinações entre genitores são incluídas, além dos próprios genitores e híbridos recíprocos (Cruz et al., 2004). Embora tenha sido desenvolvido, há algumas décadas, tem sido pouco utilizado, sobretudo em virtude da escassez de informações sobre a eficiência dos dialelos circulantes em comparação aos completos (Veiga et al., 2000; Vivas et al., 2014).

Alguns autores relatam ineficiência com o uso dos dialelos circulantes pelo fato de alguns cruzamentos estarem ausentes. Como é o caso de Cruz et al. (2004), que ressaltam que, ao se avaliar um número reduzido de genitores, representado também por um número pequeno de combinações híbridas, os poucos graus de liberdade associados aos efeitos da CEC poderão proporcionar certa dificuldade em se apontar diferenças significativas nos ensaios dialélicos. Afirmam ainda que o esquema dialélico circulante não permite identificar as melhores combinações que ficaram ausentes do dialelo.

Já trabalhos como os de Vieira et al. (2011) verificaram que a metodologia de dialelo circulante é eficaz na identificação de indicar híbridos promissores com relação à resistência à ferrugem polissora e ao elevado rendimento de grãos. Freitas Junior et al. (2006) afirmam que o dialelo circulante, em um conjunto de ambientes, provê resultados mais adequados do que a avaliação em um único ambiente. Pfann et al. (2009) concluíram que a utilização de dialelo circulante para avaliação das capacidades geral e específica de combinação em milho pode contribuir para a obtenção de híbridos promissores

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.

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.

Os dados meteorológicos foram obtidos da estação automática agrometeorológica, localizada próximo à área experimental. Na Figura 1, estão apresentados os valores mensais de precipitação pluvial e temperatura referentes ao período da condução do experimento (novembro de 2014 a março de 2017).

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). No período de avaliação do experimento, a precipitação pluviométrica foi bem inferior à normal climatológica, sendo a média dos anos de 2014 a 2017 de 659,75 mm.

1 **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 ⁻¹
0,0 - 0,1	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

2 CC = Capacidade de campo PMP = Ponto de murcha permanente

3

4

5 **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							%	c.molc. dm ⁻³		c.molc. 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

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

7 Alumínio V = Saturação de bases

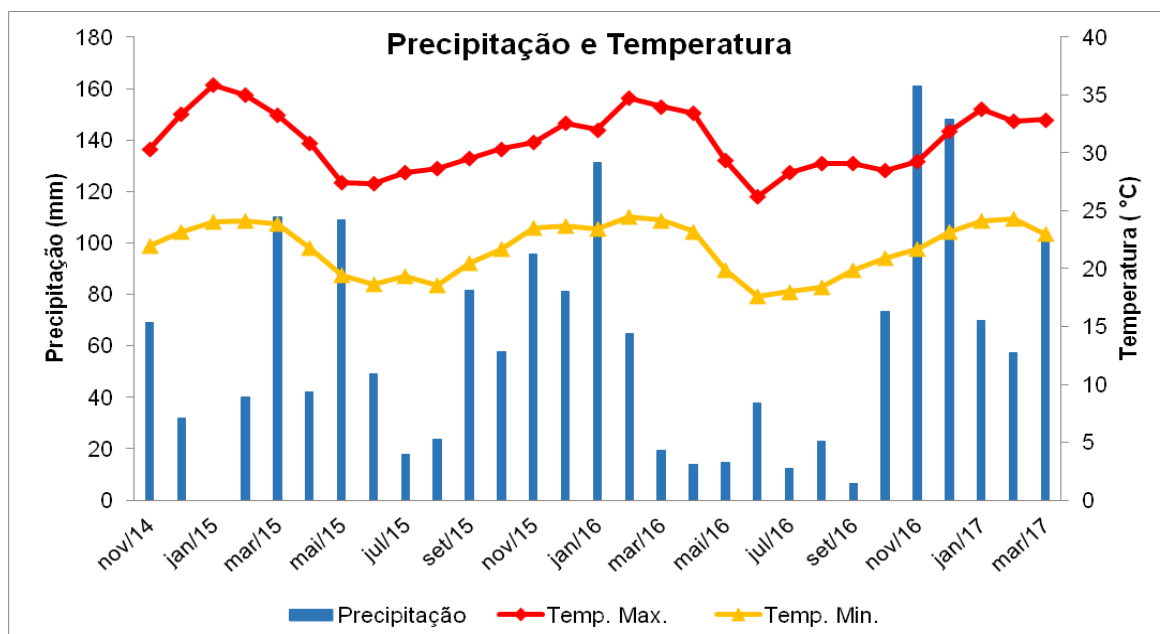


Figura 1. Precipitação pluviométrica e temperaturas máxima e mínima ocorridas durante a condução do experimento de capim-elefante. Campos dos Goytacazes, RJ, 2014-2017.

4.2 Genitores

A população de trabalho foi obtida utilizando 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).

Para obtenção da população, realizaram-se cruzamentos controlados, em delineamento genético dialelo circulante. 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 F1s;

$n = ps / 2$: número total de cruzamentos ($n=15$); $k = (p+1-s)/2$: número inteiro que designa o início ($k=4$).

Para tanto, utilizaram-se três cruzamentos de cada genótipo com as demais, proporcionando valor de $s = 3$. A Tabela 4 contém as 15 combinações híbridas obtidas.

Tabela 3. Identificação dos dez genitores de capim-elefante da coleção de trabalho do banco de germoplasma de capim-elefante da UENF utilizados nos cruzamentos dialélicos.

Nº CAMPO	GENÓTIPO	PROCEDÊNCIA
1	Cubano Pinda	UFRRJ – Seropédica – RJ
2	Vrukwona	CENARGEM – Brasília – DF
3	IAC-Campinas	UFRRJ – Seropédica – RJ
4	Capim Cana D'África	IPEACS Linhares – ES
5	Cameroon	ESALQ – Piracicaba – SP
6	CPAC	CENARGEM – Brasília – DF
7	IJ 7139	EPAGRE – Itajaí – SC
8	União	-
9	Guaçu/I.Z.2	Nova Odessa – SP
10	Cuba-115	Cuba

Tabela 4. Esquema de cruzamentos em dialelo circulante entre dez genótipos de capim-elefante com $S = 3$.

Genótipos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1					H1	H2	H3			
2						H4	H5	H6		
3							H7	H8	H9	
4								H10	H11	H12
5									H13	H14
6										H15
7										
8										
9										
10										

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; e 10: Cuba-115

4.3. Condução dos experimentos

O preparo do solo consistiu de duas gradagens aradoras. O transplante das plântulas para o campo foi realizado no dia 17 de dezembro de 2014. Foi realizada irrigação suplementar por sistema de aspersão convencional apenas na fase de implantação e estabelecimento das plantas (três primeiros meses).

Para avaliação dos híbridos, juntamente com os genitores, utilizou-se o delineamento de blocos casualizados com três repetições, sendo a unidade experimental constituída por uma linha de 15 m com espaçamento de 1,50 m entre fileiras e 1,50 entre plantas.

Na condução do experimento, a adubação foi realizada de acordo com os resultados obtidos na análise de solos, parcelada em cinco épocas: no plantio e uma em cada corte de avaliação. O corte da planta foi feito rente ao solo e pesada no campo. Uma fração de cada touceira (três perfilhos) foi levada ao laboratório para secagem em estufa de ventilação forçada, a 65°C por 72 horas, para posterior determinação da massa de matéria seca.

Os cortes foram realizados de seis em seis meses de modo que o primeiro ocorreu no dia 14 de julho de 2015, o segundo foi realizado no dia 19 de fevereiro de 2016, o terceiro corte no dia 02 de setembro de 2016 e o quarto, em 5 de março de 2017.

4.4 Caracteres avaliados

As avaliações foram realizadas em cinco plantas individuais de cada parcela e foram aferidos os seguintes caracteres:

- ✓ Número de Perfilhos por Touceira – foi realizada por meio da contagem do número de perfilhos por touceira;
- ✓ Diâmetro de colmo – foram medidos os diâmetros do colmo de três perfilhos ao acaso de cada parcela cerca de 20 cm do solo, utilizando-se um paquímetro digital, expresso em milímetros;
- ✓ Altura de plantas – foram tomadas as medidas da base do perfilho até a inflexão da folha mais alta com uma trena, expressa em metros;
- ✓ Produção de matéria seca da planta – foi retirada uma amostra de cada parcela ao acaso, e cada parte foi picada e acondicionada em saco de papel identificado, pesado e colocado em estufa a 65 °C por 72 horas. Em seguida, as amostras foram novamente pesadas para obtenção da amostra seca ao ar (ASA),

de acordo com a metodologia descrita por Silva e Queiroz (2002), expressa em t/ha^{-1} .

✓ Porcentagem de matéria seca – o material seco foi moído em moinho tipo Willey com peneira de 1 mm e acondicionado em sacos plásticos para a determinação da amostra seca em estufa (ASE). Para a determinação da ASE, 2 g de cada material moído foram mantidos em estufa a 105°C por 12 horas e, posteriormente, novamente pesados, de acordo com a metodologia descrita por Silva e Queiroz (2002), expressa em porcentagem (%).

4.5 Análise genético-estatística

Para analisar os resultados, foram utilizados os recursos computacionais do Programa GENES (Cruz, 2013).

4.5.1 Análise de variância (ANOVA)

A partir das características mensuradas nas cinco plantas individuais nos 15 híbridos, foi obtida a média de cada parcela e realizada a análise de variância por corte, empregando-se o seguinte modelo genético-estatístico:

$$Y_{ij} = \mu + g_i + b_j + \xi_{ij}$$

em que,

Y_{ij} : valor observado do i-ésimo genótipo no j-ésimo bloco;

μ : constante geral;

g_i : efeito do genótipo i, (i=1, 2, 3,...25);

b_j : efeito do bloco j, (j=1, 2 e 3) NID, (0, σ^2_b);

ξ_{ij} : erro experimental associado à observação Y_{ij} NID, (0, σ^2).

4.5.2 Análise Dialélica de Kempthorne e Curnow (1961)

Foi utilizado o método de Kempthorne e Curnow (1961), fundamentados em cruzamentos dialélicos circulantes.

Para a análise genético-estatística dos resultados, empregou-se o seguinte modelo genético-estatístico:

$$Y_{ij} = \mu + g_i + g_j + s_{ij} + \xi_{ij},$$

em que:

Y_{ij} = média da observação associada à combinação híbrida ij ($i \neq j$) ou ao i -ésimo genitor ($i = j$);

μ = média geral;

g_i e g_j = efeitos da capacidade geral de combinação (CGC) associados aos progenitores i e j ;

s_{ij} = efeito da capacidade específica de combinação (CEC) associado aos progenitores i e j ; e

ξ_{ij} = erro experimental médio.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Análise de variância

O resultado da análise de variância individual para cada corte das características morfoagronômicas avaliadas no 1º, 2º, 3º e 4º cortes de avaliação, envolvendo 15 híbridos resultantes dos cruzamentos dialélicos, estão apresentados na Tabela 5.

Pode-se verificar que, no primeiro corte de avaliação, houve significância ($P < 0,01$) entre genótipos para as características produção de matéria seca (PMS) e número de perfilhos (NP). Já para a característica percentagem de matéria seca, foi significativo a 5% ($P < 0,05$), de acordo com o teste F de Fisher. As características altura (ALT) e diâmetro de colmo (DC) não apresentaram diferenças significativas ($P < 0,05$).

Resultados diferentes foram obtidos no segundo corte de avaliação em relação ao primeiro corte. Não houve diferenças significativas em nenhuma das características avaliadas, exceto na característica PMS, em que houve significância de 1% ($p < 0,01$). A capacidade de produção de biomassa elevada é uma das características mais importantes a ser avaliada nesta cultura (Morais et al., 2011), e a presença de variabilidade genética na população avaliada possibilita êxito na seleção de genótipos promissores e, conseqüentemente, obtenção de ganhos genéticos nessa população.

Tabela 5. Estimativas dos quadrados médios, das médias e coeficiente de variação de cinco características morfoagronômicas avaliadas em genótipos de capim-elefante no primeiro corte de avaliação. Campos dos Goytacazes, RJ, 2014-2017.

F.V.	GL	PMS	%MS	NP	ALT	DC
Corte 1						
Blocos	2	11,279	1,889	2,895	0,444	16,060
Híbridos	14	62,416**	3,953*	46,229**	0,052 ^{ns}	1,283 ^{ns}
Resíduo	28	8,994	1,706	14,747	0,045	1,393
Média		18,28	28,09	21,91	3,53	15,23
CV(%)		16,41	4,65	17,53	6,06	7,75
Corte 2						
Blocos	2	37,258	18,605	3,971	0,060	0,538
Híbridos	14	66,519**	3,288 ^{ns}	38,483 ^{ns}	0,033 ^{ns}	1,660 ^{ns}
Resíduo	28	5,879	3,585	26,785	0,021	1,145
Média		19,24	33,03	21,99	2,71	15,58
CV(%)		12,6	5,73	23,53	5,39	6,87
Corte 3						
Blocos	2	4,772	340,170	0,093	0,423	3,177
Híbridos	14	12,725**	21,683 ^{ns}	28,886**	0,241**	5,659 ^{ns}
Resíduo	28	1,804	110,785	5,115	0,039	3,185
Média		3,34	37,02	11,58	1,99	12,1
CV(%)		40,18	28,43	19,53	9,93	14,75
Corte 4						
Blocos	2	33,486	79,214	20,181	2,247	3,180
Híbridos	14	39,288**	4,948 ^{ns}	49,002**	0,087 ^{ns}	3,829 ^{ns}
Resíduo	28	7,131	4,823	14,141	0,063	2,731
Média		8,52	28,54	13,5	2,27	17,49
CV(%)		31,35	7,7	27,85	11,1	9,45

** e * significativos a 1 e a 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F, ^{ns} não-significativo, pelo teste F.

De acordo com os resultados obtidos no terceiro corte, ocorreram diferenças significativas, pelo teste F ($P < 0,01$), para a fonte de variação tratamento em todas as características, exceto para as características %MS (percentagem de matéria

seca), que, semelhantemente ao segundo corte, não apresentaram diferenças significativas, e para diâmetro de colmo (DC), que não apresentou diferenças significativas ($P < 0,05$) em nenhum dos cortes avaliados. O efeito não significativo de genótipos indica que a população não possui potencial de melhoramento para tal característica (%MS e DC) confirmando a variabilidade genética entre os genótipos para as demais características avaliadas (Tabela 5).

Com base nos resultados obtidos, foi observado que, no quarto corte, ocorreram diferenças significativas, pelo teste F a ($P < 0,01$), para as características produção de matéria seca (PMS) e número de perfilhos (NP). Já para as características %MS, ALT e DC, semelhante ao observado no segundo corte de avaliação, não foram observadas diferenças significativas para tais características.

Os coeficientes de variação experimental (CV%) das características morfoagronômicas apresentaram, de modo geral, menores valores na avaliação no 1º e 2º cortes. No 1º corte, variaram de 4,65% na característica %MS até 16,41% na característica PMS. No 2º corte, variaram entre 5,39% na característica %MS e 23,53% na característica NP. Já no 3º corte, variaram entre 9,93% para ALT a 40,18% e de 7,7% para %MS a 31,35% para PMS no quarto corte, corroborando os resultados que frequentemente são encontrados em pesquisas com a cultura (Oliveira et al., 2014; Rossi et al., 2014; Rocha et al., 2015; Menezes et al., 2016).

Essas variações indicam a precisão do experimento e, em experimentação agropecuária, podem ser considerados baixos, quando inferiores a 10%; médios, quando de 10% a 20%; altos, quando de 20% a 30 %; e muito altos, quando superiores a 30% (Fonseca e Martins, 1996).

Observa-se que, no primeiro, terceiro e quarto cortes, os maiores coeficientes de variação estão relacionados à característica produção de matéria seca (PMS). Tal variação pode ser explicada pelo fato de a característica em estudo ser de herança poligênica e, com isso, muito influenciada pelo ambiente; desse modo, esses valores são aceitáveis (Silva, 2011).

Visando à obtenção de híbridos com capacidade de produção de biomassa, verifica-se que os genótipos revelaram uma elevada média de produção de matéria seca. Os resultados encontrados neste trabalho corroboram os encontrados por Vidal et al., (2017) que, ao avaliarem características de produção e de qualidade de biomassa de seis genótipos de capim-elefante sob cinco diferentes idades de

produção em Campos dos Goytacazes, obtiveram produção de matéria seca de 19,11 t.ha⁻¹ aos seis meses.

Com base nas médias dos tratamentos, observa-se que não houve discrepância entre as médias do primeiro corte e do segundo corte. Com relação ao terceiro corte de avaliação, as médias encontradas foram inferiores quando comparadas ao primeiro e ao segundo cortes. Tal redução pode ser explicada pelas condições climáticas nos meses de crescimento, conforme apresentado na Figura 1, em que é possível observar que o período entre os meses de março a setembro de 2016 foi o de menor precipitação observada, o que acarretou uma baixa produtividade nesse corte. Sousa et al. (2016), avaliando os genótipos de capim-elefante, também observaram que os genótipos foram influenciados pelas condições ambientais (temperatura, luminosidade, distribuição de precipitação) ocorridas durante o período de crescimento da cultura.

5.2. Teste de comparação de médias

As estimativas das médias da característica produção de matéria seca (PMS) avaliada em 15 híbridos resultantes dos cruzamentos dialélicos circulantes, em quatro cortes, pelo teste de Scott-Knott de comparação de médias a 5% de probabilidade, estão descritas na Tabela 6.

Analisando os valores médios referentes à característica PMS no 1º, 2º, 3º e 4º cortes de avaliação, o híbrido que mais se destacou foi o H11 (Capim Cana D'África x Guaçu/I.Z.2), com uma produção total de 21,719 t.ha⁻¹, somando os quatro cortes de avaliação. Com relação aos cortes individuais, o híbrido H11 apresentou uma produção total de 30,305 t.ha⁻¹ no primeiro corte; 31,347 t.ha⁻¹ no segundo corte; e 17,282 t.ha⁻¹ no quarto corte de avaliação. Com relação ao 3º corte, quatro híbridos apresentaram desempenho superior em relação aos demais, sendo eles os híbridos H7 (IAC-Campinas x IJ 7139), H11(Capim Cana D'África x Guaçu/I.Z.2), H14 (Cameroon x Cuba-115) e H15 (CPAC x Cuba-115).

Tabela 6. Valores médios para característica produção de matéria seca (PMS) dos quatro cortes de avaliação em 15 híbridos resultantes dos cruzamentos dialélicos circulantes, segundo o Teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. Campos dos Goytacazes, RJ, 2014-2017.

Genótipos	Produção de Matéria Seca (t/ha ⁻¹)				
	Corte 1	Corte 2	Corte 3	Corte 4	Média
H1	14,298c	18,003c	1,602b	5,519c	9,855c
H2	15,808c	14,315c	2,653b	5,881c	9,664c
H3	17,880c	16,727c	2,202b	5,724c	10,633c
H4	15,204c	17,438c	2,698b	6,022c	10,340c
H5	18,518c	18,198c	1,568b	6,508c	11,197c
H6	13,607c	16,081c	1,626b	5,408c	9,180c
H7	20,917c	23,822b	6,184a	12,300b	15,805b
H8	15,884c	19,129c	2,302b	5,316c	10,657c
H9	16,706c	16,770c	1,771b	6,578c	10,456c
H10	17,707c	13,224c	2,048b	8,176c	10,288c
H11	30,305a	31,347a	7,945a	17,282a	21,719a
H12	13,167c	15,570c	2,049b	7,858c	9,660c
H13	20,587c	22,859b	4,038b	11,497b	14,745b
H14	25,075b	20,903c	5,893a	10,692b	15,640b
H15	18,496c	24,219b	5,563a	13,030b	15,327b
Média	18,277	19,240	3,343	8,519	12,344

Pode-se notar que o 1° e o 2° cortes apresentaram médias superiores quando comparadas ao 3° e ao 4° cortes. Essa diferença aconteceu em função da baixa precipitação ocorrida nos meses de crescimento do 3° corte; já no 4° corte, mesmo com um melhor índice pluviométrico, os híbridos não atingiram seu ponto máximo de crescimento. Tal fato se deu em virtude de muitos perfilhos terem sido danificados com a seca ocorrida no 3° corte, não ocorrendo a brotação dos mesmos com a retomada das chuvas. Segundo Corsi et al. (1998), a falta de água impõe limitações sobre a taxa de expansão de folhas, o número de folhas por perfilho e o número de perfilhos e, por consequência, acarreta uma menor produção de matéria seca.

Levando em consideração a significativa falta de chuvas verificada no segundo ano de avaliação, ainda assim os resultados obtidos foram satisfatórios. Menezes, (2014) avaliando híbridos de capim-elefante, concluiu que a maior produção de matéria seca encontrada entre os híbridos foi de 19,76 t.ha⁻¹ no corte das águas. Morais et al. (2009) analisaram cinco genótipos quanto à produção e observaram uma produção superior média de 23,6 t.ha⁻¹ para a cultivar 'Gramafante' em um intervalo de corte de nove meses, sendo esses resultados inferiores aos encontrados neste trabalho. Já Flores et al. (2012), ao pesquisarem a respeito do desempenho dos genótipos Paraíso e Roxo para produção de biomassa com o intuito de uso energético, nas condições edafoclimáticas do Cerrado, obtiveram média acima de 30 t.ha⁻¹.

Na Tabela 7, estão descritas as estimativas das médias da característica percentagem de matéria seca (%MS) avaliada em 15 híbridos resultantes dos cruzamentos dialélicos circulantes, em quatro cortes, pelo agrupamento de Scott-Knott de comparação de médias a 5% de probabilidade.

Como é possível notar, houve a formação de dois grupos, com diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade ($P < 0,05$), para o 1º corte de avaliação, sendo os híbridos H1 (Cubano Pinda x Cameroon), H2 (Cubano Pinda x CPAC), H5 (Vrukwnona x IJ 7139), H9 (IAC-Campinas x Guaçu/I.Z.2), H10 (Capim Cana D'África x União), H11 (Capim Cana D'África x Guaçu/I.Z.2) e H13 (Cameroon x Guaçu/I.Z.2) os híbridos que mais se destacaram, com maior percentagem observada de 30,07% para o híbrido 11 (Capim Cana D'África x Guaçu/I.Z.2).

Com relação ao 2º, 3º e 4º cortes e à produção total, não foram observadas diferenças significativas entre os genótipos ($P < 0,05$) (Tabela 7). A maior percentagem encontrada foi de 34,70% para o híbrido 7 (IAC-Campinas x IJ 7139), 40,65% para o híbrido 8 IAC-Campinas x União) e 31,56% para o híbrido 11 (Capim Cana D'África x Guaçu/I.Z.2) no 2º, 3º e 4º cortes, respectivamente. As médias observadas neste trabalho corroboram as encontradas por Rossi et al. (2014) e Vidal et al. (2017), que obtiveram percentagens de matéria seca de 37,16% e 36,08%, respectivamente.

Tabela 7. Valores médios para característica percentagem de matéria seca (%MS) dos quatro cortes de avaliação em 15 híbridos resultantes dos cruzamentos dialélicos circulantes, segundo o Teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. Campos dos Goytacazes, RJ, 2014-2017.

Genótipos	Percentagem de Matéria Seca (%)				
	Corte 1	Corte 2	Corte 3	Corte 4	Média
H1	29,02a	32,09a	40,62a	28,06a	32,44a
H2	29,74a	33,26a	38,35a	28,81a	32,53a
H3	27,40b	33,18a	38,34a	27,47a	31,59a
H4	27,27b	33,94a	31,56a	28,43a	30,30a
H5	28,69a	33,89a	33,80a	28,53a	31,22a
H6	27,60b	33,72a	34,77a	28,47a	31,13a
H7	25,89b	34,70a	38,13a	27,51a	31,55a
H8	26,85b	34,09a	40,65a	26,48a	32,01a
H9	29,07a	32,88a	38,43a	30,81a	32,79a
H10	28,53a	33,47a	35,15a	28,90a	31,51a
H11	30,07a	32,71a	39,06a	31,56a	33,35a
H12	27,15b	31,60a	34,14a	28,83a	30,42a
H13	28,64a	32,65a	35,36a	28,80a	31,36a
H14	27,44b	30,99a	38,60a	28,20a	31,30a
H15	27,92b	32,28a	38,38a	27,26a	31,46a
Média	28,09	33,03	37,02	28,54	31,66

Já para a característica número de perfilhos (NP) avaliada em 15 híbridos resultantes dos cruzamentos dialélicos circulantes, em quatro cortes, pelo teste de Scott-Knott de comparação de médias a 5% de probabilidade, apresentadas na Tabela 8, houve diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade para todos os cortes de avaliação, exceto para o corte 2, em que os genótipos não apresentaram diferenças significativas. Na análise de produção total dos quatro cortes, também não foram encontradas diferenças significativas ($P < 0,05$).

Tabela 8. Valores médios para característica número de perfilhos (NP) dos quatro cortes de avaliação em 15 híbridos resultantes dos cruzamentos dialélicos circulantes, segundo o Teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. Campos dos Goytacazes, RJ, 2014-2017.

Genótipos	Número de Perfilhos				
	Corte 1	Corte 2	Corte 3	Corte 4	Média
H1	18,40b	21,86a	9,53b	10,76b	15,14a
H2	19,40b	17,80a	10,33b	9,73b	14,31a
H3	22,13b	17,86a	10,66b	9,71b	15,09a
H4	18,26b	19,13a	9,73b	9,26b	14,10a
H5	20,60b	21,26a	9,20b	11,86b	15,73a
H6	17,06b	18,13a	7,48b	10,60b	13,32a
H7	26,00a	26,40a	16,93a	17,53a	21,71a
H8	20,55b	23,40a	10,65b	10,40b	16,25a
H9	19,60b	20,53a	9,13b	12,18b	15,36a
H10	21,80b	17,00a	9,77b	11,68b	15,06a
H11	28,53a	27,46a	15,33a	20,80a	23,03a
H12	18,73b	22,06a	10,56b	12,40b	15,94a
H13	18,40b	21,86a	9,53b	10,76b	19,98a
H14	19,40b	17,80a	10,33b	9,73b	22,80a
H15	22,13b	17,86a	10,66b	9,71b	20,85a
Média	21,91	21,99	11,58	13,5	17,25

Os híbridos H7 (IAC-Campinas x IJ 7139), H11 (Capim Cana D'África x Guaçu/I.Z.2) e H14 (Cameroon x Cuba-115) foram superiores em todos os cortes de avaliação que apresentaram diferenças significativas (1°, 3° e 4°). Já os híbridos H13 (Cameroon x Guaçu/I.Z.2) e H15 (CPAC x Cuba-115) foram superiores em apenas 2 cortes, o H13 nos cortes 1 e 4, e o H15 nos corte 3 e 4, sendo o maior número de perfilhos encontrados de 23, este no híbrido H11 (Capim Cana D'África x Guaçu/I.Z.2) no 1° corte de avaliação (Tabela 8).

Com relação à característica altura de plantas (ALT), só foram obtidas diferenças significativas ($P < 0,05$) no terceiro corte de avaliação (Tabela 9), com a formação de dois grupos, onde os híbridos H7 (IAC-Campinas x IJ 7139), H11 (Capim Cana D'África x Guaçu/I.Z.2), H13 (Cameroon x Guaçu/I.Z.2), H14

(Cameroon x Cuba-115) e H15 (CPAC x Cuba-115) apresentaram os melhores desempenhos quando comparados aos demais híbridos avaliados.

Tabela 9. Valores médios para característica altura (ALT) dos quatro cortes de avaliação em 15 híbridos resultantes dos cruzamentos dialélicos circulantes, segundo o Teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. Campos dos Goytacazes, RJ, 2014-2017.

Genótipos	Altura de Plantas (m)				
	Corte 1	Corte 2	Corte 3	Corte 4	Média
H1	3,43a	2,72a	1,73b	2,26a	2,54a
H2	3,68a	2,62a	1,98b	2,15a	2,60a
H3	3,44a	2,58a	1,79b	2,61a	2,49a
H4	3,50a	2,61a	1,92b	2,14a	2,56a
H5	3,60a	2,72a	2,01b	2,50a	2,64a
H6	3,54a	2,66a	1,69b	2,32a	2,48a
H7	3,62a	2,69a	2,36a	2,47a	2,78a
H8	3,42a	2,84a	1,86b	2,14a	2,55a
H9	3,54a	2,68a	1,61b	2,13a	2,54a
H10	3,49a	2,58a	1,80b	2,23a	2,51a
H11	3,62a	2,97a	2,51a	2,22a	2,93a
H12	3,18a	2,68a	1,80b	2,03a	2,45a
H13	3,73a	2,85a	2,38a	2,44a	2,86a
H14	3,51a	2,71a	2,11a	2,06a	2,66a
H15	3,59a	2,72a	2,34a	2,33a	2,78a
Média	3,53	2,71	1,99	2,27	2,62

Os valores variaram de 3,68 m para o híbrido H2 (Cubano Pinda x CPAC), no primeiro corte de avaliação, a 1,61 m para o híbrido H9 (IAC-Campinas x Guaçu/I.Z.2), no terceiro corte de avaliação. Os valores médios dos 15 híbridos avaliados variaram de 3,53 m, no primeiro corte, a 1,99 m no terceiro corte. Os resultados obtidos no presente estudo superam os encontrados por Menezes et al. (2014), que obtiveram o maior híbrido com altura média de 2,60 m. Lima et al. (2006) encontraram valores semelhantes com o mesmo intervalo de corte, obtendo uma média de 3,05 m em Nova Odessa (SP) e 3,37 m em Brotas (SP).

O diâmetro do colmo é uma característica de grande importância para a cultura do capim-elefante, pois apresenta correlação positiva com produção de matéria seca (Xia et al., 2010). Na Tabela 10, estão descritas as estimativas das médias da característica diâmetro de colmo (DC) avaliada em 15 híbridos resultantes dos cruzamentos dialélicos circulantes, em quatro cortes, pelo teste de Scott-Knott de comparação de médias a 5% de probabilidade.

Como é possível observar, não foram encontradas diferenças significativas entre os genótipos em nenhum dos cortes avaliados, sendo os maiores valores encontrados de 15,78 mm; 16,89 mm; 14,87 mm; e 19,26 mm no 1º, 2º, 3º e 4º cortes, respectivamente. Os resultados encontrados corroboram os encontrados por Oliveira et al. (2014), que observaram valores médios de 13,7 mm e 13,3 mm para o primeiro e segundo cortes de 85 genótipos de capim-elefante avaliados para uso energético. Pereira et al. (2006) também encontraram valores semelhantes de diâmetro do colmo, obtendo uma média de 10,8 mm.

Tabela 10. Valores médios para característica diâmetro de colmo (DC) dos quatro cortes de avaliação em 15 híbridos resultantes dos cruzamentos dialélicos circulantes, segundo o teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. Campos dos Goytacazes, RJ, 2014-2017.

Genótipos	Diâmetro de Colmo (mm)				Média
	Corte 1	Corte 2	Corte 3	Corte 4	
1	15,05a	14,71a	9,40a	16,92a	14,02a
2	15,77a	15,56a	11,27a	16,84a	14,86a
3	14,78a	15,57a	11,10a	17,85a	14,83a
4	15,24a	14,90a	11,53a	18,53a	15,05a
5	15,69a	15,26a	12,40a	17,87a	15,3a
6	15,45a	15,28a	11,77a	15,59a	14,52a
7	16,32a	15,57a	13,07a	19,16a	16,03a
8	15,30a	16,54a	12,54a	17,46a	15,46a
9	14,90a	15,41a	11,73a	17,11a	14,79a
10	14,34a	14,42a	10,98a	18,17a	14,48a
11	15,67a	16,89a	14,13a	19,26a	16,49a
12	13,58a	15,60a	11,57a	15,20a	16,49a
13	15,35a	16,66a	14,87a	17,60a	16,49a
14	15,65a	14,90a	11,60a	17,84a	16,12a
15	15,38a	16,41a	13,53a	16,99a	15,58a
Média	15,23	15,56	12,10	17,49	15,37

5.3. Análise dialélica de Kempthorne e Curnow para dialelos circulantes

5.3.1. Análise de variância para capacidade de combinação

As estimativas dos quadrados médios de híbridos de capim-elefante das capacidades geral e específica de combinação (CGC e CEC) e do resíduo para as características produção de matéria seca (PMS); Percentagem de matéria seca (%MS); Número de perfilhos (NP) Altura da planta (ALT); e Diâmetro de colmo (DC) nos quatro anos de avaliação são apresentadas na Tabela 11. Pode-se verificar que, para a característica produção de matéria seca (PMS), houve significância para as capacidades geral e específica de combinação nos quatro cortes de avaliação ($P < 0,01$).

Tabela 11. Estimativas dos quadrados médios de híbridos de capim-elefante das capacidades geral e específica de combinação (CGC e CEC) e do resíduo para as características produção de matéria seca (PMS); Percentagem de matéria seca (%MS); Número de perfilhos (NP); Altura da planta (ALT); e Diâmetro de colmo (DC) nos quatro cortes de avaliação. Campos dos Goytacazes, RJ, 2014-2017.

Quadrados médios	Corte 1	Corte 2	Corte 3	Corte 4
PMS				
Tratamentos	62,416**	66,517**	12,725**	39,288**
CGC	49,020**	49,021**	10,587**	44,754**
CEC	98,010**	98,011**	16,578**	29,442**
Resíduo	8,994	5,879	1,804	7,131
%MS				
Tratamentos	3,953**	3,288 ^{ns}	21,683**	4,948**
CGC	4,2958*	4,6248 ^{ns}	24,418**	6,622**
CEC	3,3259 ^{ns}	0,1638 ^{ns}	16,752**	1,9207 ^{ns}
Resíduo	1,706	3,585	110,785	4,823
NP				
Tratamentos	46,229**	38,483*	28,886**	49,002**
CGC	49,0204**	41,14065 ^{ns}	32,27159**	57,80513**
CEC	41,10288**	33,75816 ^{ns}	22,82718**	33,09372**
Resíduo	14,747	26,785	5,115	14,141
ALT				
Tratamentos	0,052 ^{ns}	0,060 ^{ns}	0,241 ^{ns}	0,087 ^{ns}
CGC	0,062708 ^{ns}	0,024309 ^{ns}	0,26735 ^{ns}	0,114625 ^{ns}
CEC	0,03318 ^{ns}	0,05274 ^{ns}	0,19902 ^{ns}	0,04398 ^{ns}
Resíduo	0,045	0,021	0,039	0,063
DC				
Tratamentos	1,283 ^s	1,660 ^{ns}	5,659**	3,829**
CGC	1,04143 ^{ns}	1,307709 ^{ns}	6,992385**	4,09115**
CEC	1,7304*	2,2917 ^{ns}	3,25332*	3,36282*
Resíduo	1,393	1,145	3,185	2,731

** significativo a 1% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo.

Nos casos em que a CGC é significativa, pode-se inferir que pelo menos um dos genitores difere dos demais quanto à concentração de alelos favoráveis. A

significância de CEC é indicativa de que as diferenças entre as médias dos cruzamentos para as características em questão não se devem apenas ao comportamento individual dos genitores (Cruz et al., 2012).

Com relação à característica percentagem de matéria seca (%MS) para a fonte de variação capacidade geral de combinação, houve significância em todos os cortes de avaliação, exceto no 2º corte, em que não houve diferenças significativas ($P < 0,05$). A presença de efeitos significativos para a CGC quanto às características avaliadas indica que os genitores diferiram entre si na frequência de alelos favoráveis, possuindo genitores mais promissores do que outros para a produção de híbridos superiores (Pfann et al., 2009). Com relação à capacidade específica de combinação, houve diferenças significativas ($P < 0,01$) apenas no 3º corte de avaliação; os demais cortes não apresentaram diferenças significativas para a característica %MS (Tabela 11).

A característica número de perfilhos (NP) apresentou significância para as fontes de variação capacidade geral de combinação (CGC) e capacidade específica de combinação (CEG) em quase todos os cortes avaliados ($P < 0,01$), exceto no segundo corte de avaliação, no qual não foram observadas diferenças significativas para ambas as fontes de variação. Essa significância para ambas as capacidades de combinação ratificam a importância de ambos os efeitos gênicos aditivos e não aditivos como causas da variação genética observada para essas características (Colombo et al., 2014).

A significância dos quadrados médios para a CEC indica a presença de efeitos gênicos não aditivos envolvidos no controle dessas características (Sibiya et al., 2011) e que algumas combinações híbridas tendem a apresentar desempenho diferente do esperado com base na CGC.

Para a característica altura da planta (ALT), os resultados da análise de variância mostraram que não houve significância para nenhuma das fontes de variação, ou seja, não foi evidenciado nenhum tipo de ação gênica, o que demonstra completa ausência de variabilidade genética entre os genitores (Silva et al., 2014).

As somas de quadrados das CGC para a característica diâmetro de colmo (DC) foram significativas ao nível de 1% de probabilidade no 3º e 4º cortes de avaliação; já no 1º e 2º cortes não foram observadas significâncias ($P < 0,05$). Com relação à capacidade específica de combinação (CEC), apenas o 2º corte não

apresentou diferenças significativas, ($P < 0,05$) (Tabela 11). A presença de quadrados médios significativos para a CEC indica a prevalência de efeitos de dominância e que os híbridos podem ser explorados (Medeiros et al., 2014).

5.3.2. Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação

Quanto às estimativas da capacidade geral de combinação no 1º corte de avaliação, observou-se que, para a característica PMS, os genótipos que se destacaram com valores positivos foram os genitores G4 (1,1981), G5 (2,8579), G6 (2,5622), G7 (5,9271), G8 (0,134) e G9 (4,1896), sendo os maiores valores observados de 5,9271, no genótipo G7 (IJ 7139), seguido do G9 (Guaçu/I.Z.2), com uma estimativa para \hat{g}_i de 4,1896. Esses resultados indicam que, ao selecionar genótipos G7 e G9 como genitores em cruzamentos, ocorrerá a produção de híbridos com elevada produção de matéria seca, ao contrário de quando se selecionam os genótipos G1, G2, G3 e G10, pois estes apresentaram valores negativos para a PMS; com isso, a tendência é que ocorra a diminuição da PMS em sua progênie (Tabela 12).

Com relação à característica %MS, os genótipos G3 (IAC-Campinas), G5 (Cameroon), G7 (IJ 7139), G8 (União) e G10 (Cuba-115) apresentaram os seguintes valores para \hat{g}_i : -1,023; -0,416; -0,786; -0,178; e -0,521, respectivamente. De acordo com GRIFFING (1956), altos valores de \hat{g}_i , positivos ou negativos indicam que determinado genitor seja superior ou inferior, acarretando combinações desejáveis ou indesejáveis quando associados com diferentes genitores. Sendo assim, esses genitores, devido a apresentarem estimativas negativas para \hat{g}_i , proporcionaram menores percentagens de matéria seca em sua progênie (Tabela 12).

Tabela 12. Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação (\hat{g}_i) de dez genótipos de capim-elefante para as características produção de matéria seca (PMS); Percentagem de matéria seca (%MS); Número de perfilhos (NP); Altura da planta (ALT); e Diâmetro de colmo (DC) avaliadas em 15 combinações híbridas resultantes de cruzamentos dialélicos circulantes no 1º corte de avaliação. Campos dos Goytacazes, RJ, 2014-2017.

Genitor	CGC – 1º corte				
	PMS	%MS	NP	ALT	DC
G1	-6,064	1,0251	-6,327	-0,175	-0,683
G2	-5,375	0,0792	-6,447	-0,152	-0,282
G3	-3,859	-1,023	-2,869	-0,155	-0,018
G4	1,1981	0,202	0,4281	-0,137	-0,566
G5	2,8579	-0,416	4,4908	0,0834	0,5112
G6	2,5622	0,0301	2,4726	0,2252	0,7517
G7	5,9271	-0,786	6,2126	0,1879	0,693
G8	0,134	-0,178	0,8608	0,1052	0,0871
G9	4,1896	1,587	1,9581	0,1734	0,0994
G10	-1,571	-0,521	-0,779	-0,157	-0,594

A utilização dos genitores G3 (IAC-Campinas) e G10 (Cuba-115) em cruzamentos pode conduzir à diminuição de todas as características avaliadas (PMS, %MS, NP, ALT e DC). Tal fato não é desejável em programas de melhoramento genético do capim-elefante para a produção de biomassa para fins energéticos. Entretanto, os genótipos G6 (CPAC) e G9 (Guaçu/I.Z.2) se apresentaram como excelentes genitores, em virtude de terem apresentado estimativas para \hat{g}_i positivas em todas as cinco características morfoagronômicas avaliadas. Pois, quanto mais altas forem as estimativas, mais 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).

Em relação aos efeitos da \hat{g}_i no 2º corte de avaliação, pode-se observar que os genitores G6 e G9, apesar de não terem se destacado quanto à característica ALT e %MS, respectivamente, se mantiveram como bons genitores, devido a apresentarem valores positivos nas outras quatro características avaliadas. (Tabela 13).

Tabela 13. Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação (\hat{g}_i) de dez genótipos de capim-elefante para as características produção de matéria seca

(PMS); Percentagem de matéria seca (%MS); Número de perfilhos (NP); Altura da planta (ALT); e Diâmetro de colmo (DC) avaliadas em 15 combinações híbridas resultantes de cruzamentos dialélicos circulantes no 2º corte de avaliação. Campos dos Goytacazes, RJ, 2014-2017.

Genitor	CGC – 2º corte				
	PMS	%MS	NP	ALT	DC
G1	-6,117	-0,805	-5,113	-0,079	-0,364
G2	-4,121	-0,021	-2,722	-0,039	-0,884
G3	-1,857	0,4925	1,3445	-0,007	-0,533
G4	0,0001	0,1057	0,4881	0,0047	-0,705
G5	2,2127	-0,13	3,9972	0,047	-0,617
G6	3,0886	0,9802	0,8872	-0,014	0,331
G7	4,3735	1,0043	2,0181	-0,004	0,4815
G8	-1,103	0,5375	-2,186	-0,002	0,542
G9	4,2996	-0,439	0,4881	0,1097	1,3597
G10	-0,777	-1,725	0,7972	-0,018	0,3883

Outros genótipos que se destacaram no segundo corte de avaliação foram os genótipos G4 (Capim Cana D'África) e G7 (IJ 7139), que também apresentaram valores positivos em quatro das cinco características avaliadas, sendo também considerados genitores promissores para serem utilizado nos programas de melhoramento do capim-elefante que visem ao aumento da produção da biomassa-energética (Tabela 13).

A recomendação dos genitores mais promissores para inclusão em programas de seleção é realizada com base nessas estimativas, pois possibilitam a comparação da importância relativa dos efeitos da capacidade geral de combinação (\hat{g}_i) dos vários genitores envolvidos (Falconer, 1987).

Considerando-se a característica altura de planta, no terceiro corte de avaliação, os genótipos G4 (Capim Cana D'África), G5 (Cameroon), G6 (CPAC), G7 (IJ 7139), G8 (União) e G9 (Guaçu/I.Z.2.) apresentaram valores positivos para as estimativas de capacidade geral de combinação (\hat{g}_i), porém quando comparados a trabalhos realizados por Silva et al. (2014) com capim-elefante, que para esta mesma característica obteve valores positivos variando de 1,6621 a 13,1250, os valores obtidos neste trabalho são considerados baixos, representando que os

genótipos avaliados não apresentaram elevado potencial para a característica altura de planta (Tabela 14).

Elevados valores positivos para as estimativas de \hat{g}_i indicam que a média dos cruzamentos que envolvem um determinado genitor é superior à média geral de todos os genitores envolvidos. Por conseguinte, reduzidos valores (e positivos) são indicativos de que o valor da capacidade geral de combinação dos genitores não difere expressivamente da média geral dos cruzamentos dialélicos (Cruz et al., 2004).

No 3º corte de avaliação, semelhante ao 2º corte, nenhum genótipo apresentou valores positivos nas cinco características avaliadas, sendo os genitores mais promissores para serem utilizados em programas de melhoramento da cultura os genótipos G5 (Cameroon), G6 (CPAC) e G9 (Guaçu/I.Z.2.), por terem apresentado valores positivos em quase todas as características avaliadas, exceto o G5 e G6 para %MS (-0.439 e -1.086, respectivamente) e o G9 para a característica NP (-0,165). Com relação aos piores desempenhos obtidos, o genótipo G2 (Vrukwna) apresentou estimativas negativas para todas as cinco características avaliadas, corroborando o resultado obtido no segundo corte.

Tabela 14. Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação (\hat{g}_i) de dez genótipos de capim-elefante para as características produção de matéria seca (PMS); Percentagem de matéria seca (%MS); Número de perfilhos (NP); Altura da planta (ALT); e Diâmetro de colmo (DC) avaliadas em 15 combinações híbridas resultantes de cruzamentos dialélicos circulantes no 3º corte de avaliação. Campos dos Goytacazes, RJ, 2014-2017.

Genitor	CGC – 3º corte				
	PMS	%MS	NP	ALT	DC
G1	-3,222	2,7738	-4,859	-0,59	-2,7
G2	-2,851	-3,474	-5,422	-0,459	-1,729
G3	-0,884	1,5656	-0,62	-0,273	-1,437
G4	0,5753	-1,966	0,1952	0,0511	-0,956
G5	1,3802	-0,439	2,1015	0,2902	0,0195
G6	2,419	-1,086	3,9406	0,5002	1,5054
G7	2,2939	-0,554	4,3179	0,5011	2,0459
G8	-0,298	1,1256	-0,33	0,0175	1,0381
G9	0,8848	0,8738	-0,165	0,1511	2,2686
G10	-0,299	1,1811	0,8415	-0,19	-0,056

No quarto e último corte de avaliação, os genótipos mais uma vez apresentaram altos valores para PMS, característica de maior importância para a cultura. De acordo com os resultados, os genitores que obtiveram valores positivos para a estimativa \hat{g}_i foram os genótipos G4 (Capim Cana D'África), G5 (Cameroon), G6 (CPAC), G7 (IJ 7139) e G9 (Guaçu/I.Z.2) (Tabela 15).

Analisando os quatro cortes de avaliação simultaneamente, pode-se inferir que as estimativas dos efeitos de \hat{g}_i permitiram identificar quais genitores se revelaram mais interessantes por apresentarem magnitudes positivas de \hat{g}_i . Dentre estes, os genitores G6 (CPAC) e G9 (Guaçu/I.Z.2) contiveram os maiores valores de capacidade geral de combinação (\hat{g}_i) denotando que contribuirão para elevar a qualidade das principais características da cultura em programas de melhoramento para fins energéticos.

Tabela 15. Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação (\hat{g}_i) de dez genótipos de capim-elefante para as características produção de matéria seca (PMS); Percentagem de matéria seca (%MS); Número de perfilhos (NP); Altura da planta (ALT); e Diâmetro de colmo (DC) avaliadas em 15 combinações híbridas resultantes de cruzamentos dialélicos circulantes no 1º corte de avaliação. Campos dos Goytacazes, RJ, 2014-2017.

Genitor	CGC – 4º corte				
	PMS	%MS	NP	ALT	DC
G1	-6,198	0,5478	-6,964	-0,261	-2,05
G2	-5,238	1,0778	-5,743	-0,186	-1,299
G3	-2,888	0,0169	-3,134	-0,061	0,0175
G4	1,7968	1,1905	-0,432	0,0458	1,0511
G5	1,9571	-0,853	2,6385	0,1522	1,5302
G6	3,7707	-0,822	3,1457	0,1895	1,8402
G7	4,4329	-1,252	4,8166	0,164	1,9111
G8	-0,109	-1,353	0,4957	-0,121	-0,343
G9	2,9778	1,7305	3,6885	0,1658	-0,369
G10	-0,501	-0,283	1,4885	-0,088	-2,29

5.3.3. Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação

As estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação para cinco características morfoagronômicas avaliadas em 15 combinações híbridas resultantes dos cruzamentos entre dez genitores em esquema de dialelo circulante, no 1º corte de avaliação, estão apresentadas na Tabela 16.

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. Dessa forma, altas estimativas de CEC são importantes no que tange à obtenção de populações segregantes promissoras, pois possibilitam a liberação de maior variabilidade, o que é essencial no processo de seleção (Cruz, et al., 2012).

Tabela 16. Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação ($\hat{\sigma}_{ij}$) de 15 híbridos de capim-elefante para as características produção de matéria seca (PMS); Percentagem de matéria seca (%MS); Número de perfilhos (NP); Altura da planta (ALT); e Diâmetro de colmo (DC) avaliadas em 15 combinações híbridas resultantes de cruzamentos dialélicos circulantes no 1º corte de avaliação. Campos dos Goytacazes, RJ, 2014-2017.

Híbridos	CEC – 1º Corte				
	PMS	%MS	NP	ALT	DC
H1	-0,773	0,3253	-1,676	-0,005	-0,009
H2	1,0329	0,5994	1,3427	0,1036	0,4703
H3	-0,26	-0,925	0,3327	-0,099	-0,461
H4	-0,26	-0,925	0,3327	-0,099	-0,461
H5	-0,311	1,3112	-1,077	0,0382	0,0476
H6	0,5711	-0,387	0,7445	0,0609	0,4135
H7	0,5711	-0,387	0,7445	0,0609	0,4135
H8	1,3312	-0,034	0,6564	-0,056	-0,6014
H9	-1,902	0,4208	-1,401	-0,005	-0,413
H10	-1,902	0,4208	-1,401	-0,005	-0,413
H11	6,6401	0,1958	4,2318	0,0573	0,9048
H12	-4,738	-0,617	-2,831	-0,053	-0,492
H13	-4,738	-0,617	-2,831	-0,053	-0,492
H14	5,5105	0,2912	4,5064	0,0573	0,5012
H15	-0,773	0,3253	-1,676	-0,005	-0,009

Segundo Griffing (1956), as melhores combinações híbridas são aquelas que apresentam maior efeito de $\hat{\sigma}_{ij}$ e que os genitores apresentam alta CGC. É válido ressaltar, porém, que dois parentais de elevada CGC nem sempre proporcionam a formação da melhor combinação do dialelo (Cruz e Vencovsky, 1989).

Como é possível observar na Tabela 16, os efeitos de $\hat{\sigma}_{ij}$ positivos para a característica PMS foram para as combinações híbridas H2 (Cubano Pinda x CPAC), H6 (Vrukwnona x União), H7 (IAC-Campinas x IJ7139), H8 (IAC-Campinas x União), H11 (Capim Cana D'África x Guaçu/I.Z.2) e H14 (Cameroon x Cuba-115), com destaque para as combinações H11 e H14, que obtiveram $\hat{\sigma}_{ij}$ de maior magnitude (6,6401 e 5,5105, respectivamente).

Os genitores envolvidos nos cruzamentos para obtenção dos híbridos H11 e H14, de modo geral, apresentaram também elevada CGC, G4 – Capim Cana D'África (1,1981), G5 – Cameroon (2,8579) e G9 – Guaçu/I.Z.2 (4,1896), exceto o G10 – Cuba-115, uma vez que apresentou $\hat{\sigma}_i$ negativa (-1,571). Tal fato não interfere na recomendação do híbrido, pois, de acordo com Cruz & Vencovsky (1989), os híbridos mais promissores serão aqueles que apresentem elevados efeitos (positivos ou negativos, a depender da característica em questão) da CEC e que sejam provenientes do cruzamento de genitores divergentes, dos quais pelo menos um deles apresente elevada CGC.

Para a característica NP, os híbridos H11 e H14 também obtiveram destaque para $\hat{\sigma}_{ii}$ com valores elevados e positivos, 4,2318 e 4,5064, respectivamente, indicando que os genótipos com maiores produções de matéria seca também apresentam maior número de perfilhos. Esses resultados corroboram os resultados encontrados por Daher et al. (2004) que, avaliando dois cortes de capim-elefante (o quarto e o sétimo cortes), verificaram que o NP apresentava efeito direto sobre a PMS.

Com relação à característica %MS, oito híbridos apresentaram valores positivos para CEC, sendo eles H1 (Cubano Pinda x Cameroon), H2 (Cubano Pinda x CPAC), H5 (Vrukwona x IJ 7139), H9 (IAC-Campinas x Guaçu/I.Z.2), H10 (Capim Cana D'África x União), H11 (Capim Cana D'África x Guaçu/I.Z.2), H14 (Cameroon x Cuba-115) e H15 (CPAC x Cuba-115), com destaque para o híbrido H5, com valor de 1,3112 para $\hat{\sigma}_{ii}$.

Com relação às características ALT e DC, seis híbridos apresentaram valores positivos para estas características, porém nenhuma combinação apresentou valores para $\hat{\sigma}_{ij}$ de elevada magnitude, sendo as combinações com valores positivos para estas características, simultaneamente, os híbridos H2 (Cubano Pinda x CPAC), H5 (Vrukwona x IJ 7139), H6 (Vrukwona x União), H7 (IAC-Campinas x IJ7139), H11 (Capim Cana D'África x Guaçu/I.Z.2) e H14 (Cameroon x Cuba-115).

Para a característica PMS no segundo corte de avaliação, observa-se que o híbrido H11 manteve sua superioridade apresentando uma $\hat{\sigma}_{ij}$ de 7,8069, porém o híbrido o H14, embora continue apresentando valores positivos para $\hat{\sigma}_{ij}$, foi de magnitude menor (divergência entre genitores), 0.2268 (Tabela 17). Podem-se destacar também os híbridos H1 (Cubano Pinda x Cameroon), H6 (Vrukwona x

União), H7 (IAC-Campinas x IJ7139) e H8 (IAC-Campinas x União), pois apresentaram valores positivos e significativos para CEC como estipulado por Cruz et al. (2012).

Avaliando as estimativas para CEC, simultaneamente para as cinco características avaliadas no segundo corte, observa-se que as combinações híbridas H8 (IAC Campinas x União) e H11 (Capim Cana D'África x Guaçu/I.Z.2) obtiveram valores positivos para todas as características avaliadas, demonstrando serem híbridos com elevado potencial para produção de bioenergia. O conhecimento do potencial dos genótipos como genitores e das melhores combinações híbridas é importante para a obtenção de famílias superiores, embora, após essa seleção, deva-se avaliar e identificar clones superiores dentro de mesma família (Lucius et al., 2014).

Os híbridos H3 (Cubano Pinda x IJ 7139), H4 (Vrukwona x CPAC), H9 (IAC-Campinas x Guaçu/I.Z.2) e H10 (Capim Cana D'África x União) apresentaram $\hat{\sigma}_e$ negativas nas cinco características avaliadas no segundo corte de avaliação, demonstrando que não serão promissores para serem utilizados para fins energéticos.

Tabela 17. Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação ($\hat{\sigma}_{ii}$) de 15 híbridos de capim-elefante para as características produção de matéria seca (PMS); Percentagem de matéria seca (%MS); Número de perfilhos (NP); Altura da planta (ALT); e Diâmetro de colmo (DC) avaliadas em 15 combinações híbridas resultantes de cruzamentos dialélicos circulantes no 2º corte de avaliação. Campos dos Goytacazes, RJ, 2014-2017.

Híbridos	CEC – 2º Corte				
	PMS	%MS	NP	ALT	DC
H1	2,6669	-0,005	0,9936	0,0429	0,112
H2	-1,897	0,0545	0,0336	0,0033	0,0142
H3	-0,77	-0,05	-1,027	-0,046	-0,126
H4	-0,77	-0,05	-1,027	-0,046	-0,126
H5	-1,295	-0,124	-0,018	0,0542	0,0833
H6	2,0648	0,1732	1,0455	-0,008	0,0429
H7	2,0648	0,1732	1,0455	-0,008	0,0429
H8	2,8485	0,03	2,2491	0,1397	0,9524
H9	-4,913	-0,203	-3,295	-0,132	-0,995
H10	-4,913	-0,203	-3,295	-0,132	-0,995
H11	7,8069	0,0136	4,5018	0,147	0,657
H12	-2,894	0,1895	-1,207	-0,015	0,3383
H13	-2,894	0,1895	-1,207	-0,015	0,3383
H14	0,2268	-0,185	0,2136	-0,028	-0,45
H15	2,6669	-0,005	0,9936	0,0429	0,112

No terceiro corte, os híbridos, com destaque para PMS, continuaram sendo os H11 e H14, com $\hat{\sigma}_{ii}$ de 3,1422 e 1,4693, respectivamente. Outros híbridos que obtiveram valores positivos, porém de menor magnitude, foram os híbridos H1 (Cubano Pinda x Cameroon), H2 (Cubano Pinda x CPAC), H6 (Vrukwnona x União), H7 (IAC-Campinas x IJ7139) e H8 (IAC-Campinas x União) (Tabela 18).

Tabela 18. Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação ($\hat{\sigma}_{ii}$) de 15 híbridos de capim-elefante para as características produção de matéria seca (PMS); Percentagem de matéria seca (%MS); Número de perfilhos (NP); Altura da planta (ALT); e Diâmetro de colmo (DC) avaliadas em 15 combinações híbridas resultantes de cruzamentos dialélicos circulantes no 3º corte de avaliação. Campos dos Goytacazes, RJ, 2014-2017.

Híbridos	CEC – 3º Corte				
	PMS	%MS	NP	ALT	DC
H1	0,1005	1,2624	0,7052	0,037	-0,019
H2	0,1127	-0,36	-0,334	0,077	0,3648
H3	-0,213	-0,902	-0,371	-0,114	-0,346
H4	-0,213	-0,902	-0,371	-0,114	-0,346
H5	-1,218	0,8061	-1,279	-0,025	-0,016
H6	1,4314	0,0961	1,6497	0,1388	0,3617
H7	1,4314	0,0961	1,6497	0,1388	0,3617
H8	0,141	0,9361	0,0179	0,1224	0,8394
H9	-1,572	-1,032	-1,668	-0,261	-1,201
H10	-1,572	-1,032	-1,668	-0,261	-1,201
H11	3,1422	3,1297	3,717	0,3152	0,7185
H12	-1,57	-2,098	-2,049	-0,054	0,4826
H13	-1,57	-2,098	-2,049	-0,054	0,4826
H14	1,4693	0,8352	1,3442	0,017	-0,463
H15	0,1005	1,2624	0,7052	0,037	-0,019

Observa-se no 3º corte de avaliação em relação à característica DC que os valores maiores de efeito de $\hat{\sigma}_{ii}$ foram as combinações híbridas H2 (Cubano Pinda x CPAC), H6 (Vrukwona x União), H7 (IAC-Campinas x IJ7139) e H8 (IAC-Campinas x União), H11 (Capim Cana D'África x Guaçu/I.Z.2), H12 (Capim Cana D'África x Cuba-115) e H13 (Cameroon x Guaçu/I.Z.2) (Tabela 22).

A característica ALT apresentou os maiores efeitos e positivos de capacidade específica de combinação para as combinações híbridas H1 (Cubano Pinda x Cameroon), H2 (Cubano Pinda x CPAC), H6 (Vrukwona x União), H7 (IAC-Campinas x IJ7139), 8 (IAC-Campinas x União), H11 (Capim Cana D'África x Guaçu/I.Z.2), H14 (Cameroon x Cuba-115) e H15 (CPAC x Cuba-115) (Tabela 18). Esses resultados são favoráveis para o capim-elefante destinado à produção de

energia, visto que, segundo Rossi et al. (2014), analisando correlações canônicas entre as características morfoagronômicas e as da qualidade de biomassa, existe correlação positiva entre a ALT e a porcentagem de celulose e lignina. Isso porque, com o aumento da idade da planta, ocorre também o aumento da proporção de colmo no material colhido.

Em relação à característica NP no 3º corte de avaliação, as combinações híbridas que apresentaram os maiores valores de efeito $\hat{\sigma}_{ii}$ e positivos foram H1 (Cubano Pinda x Cameroon), H6 (Vrukwona x União), H7 (IAC-Campinas x IJ7139), 8 (IAC-Campinas x União), H11 (Capim Cana D'África x Guaçu/I.Z.2), H14 (Cameroon x Cuba-115) e H15 (CPAC x Cuba-115).

Na Tabela 19, é possível observar que, para a característica PMS, os híbridos H1 (Cubano Pinda x Cameroon), H6 (Vrukwona x União), H7 (IAC-Campinas x IJ7139), H11 (Capim Cana D'África x Guaçu/I.Z.2), H14 (Cameroon x Cuba-115) e H15 (CPAC x Cuba-115) apresentaram valores positivos de efeito $\hat{\sigma}_{ii}$. Já para a característica %MS, os híbridos que se destacaram foram os híbridos H2 (Cubano Pinda x CPAC), H5 (Vrukwona x IJ 7139), H6 (Vrukwona x União), H7 (IAC-Campinas x IJ7139), H9 (IAC-Campinas x Guaçu/I.Z.2), H10 (Capim Cana D'África x União), H11 (Capim Cana D'África x Guaçu/I.Z.2) e H14 (Cameroon x Cuba-115).

Para característica ALT, apenas cinco combinações apresentaram valores positivos, são essas H1 (Cubano Pinda x Cameroon), H5 (Vrukwona x IJ 7139), H6 (Vrukwona x União), H7 (IAC-Campinas x IJ7139), H11 (Capim Cana D'África x Guaçu/I.Z.2) e H15 (CPAC x Cuba-115), porém esses efeitos de $\hat{\sigma}_{ii}$ foram de baixa magnitude, 0,0997; 0,0688; 0,0688; 0,1297; e 0,0997, respectivamente.

Tabela 19. Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação ($\hat{\sigma}_{ii}$) de 15 híbridos de capim-elefante para as características produção de matéria seca (PMS); Percentagem de matéria seca (%MS); Número de perfilhos (NP); Altura da planta (ALT); e Diâmetro de colmo (DC) avaliadas em 15 combinações híbridas resultantes de cruzamentos dialélicos circulantes no 4º corte de avaliação. Campos dos Goytacazes, RJ, 2014-2017.

Híbridos	CEC – 4º Corte				
	PMS	%MS	NP	ALT	DC
H1	1,2408	-0,176	1,5918	0,0997	-0,053
H2	-0,211	0,543	0,0445	-0,058	-0,443
H3	-1,03	-0,367	-1,636	-0,042	0,4961
H4	-1,03	-0,367	-1,636	-0,042	0,4961
H5	-1,206	0,163	-0,707	-0,027	-0,235
H6	2,2362	0,2039	2,3436	0,0688	-0,261
H7	2,2362	0,2039	2,3436	0,0688	-0,261
H8	-0,206	-0,725	-0,466	-0,026	0,2924
H9	-2,031	0,5212	-1,878	-0,043	-0,031
H10	-2,031	0,5212	-1,878	-0,043	-0,031
H11	3,988	0,0976	4,0391	0,1297	1,0852
H12	-1,957	-0,619	-2,161	-0,087	-1,054
H13	-1,957	-0,619	-2,161	-0,087	-1,054
H14	0,7165	0,7948	0,5691	-0,013	1,107
H15	1,2408	-0,176	1,5918	0,0997	-0,053

No quarto corte de avaliação, apenas a combinação H11 apresentou positivos valores para o efeito $\hat{\sigma}_{ii}$ em todas as cinco características avaliadas, sendo para PMS de 3,988, para %MS de 0,0976, para NP de 4,0391, para ALT de 0,1297 e para DC de 1,0852 (Tabela 19). Com isso, essa combinação híbrida se apresentou promissora, já que o objetivo é a associação positiva entre estas características avaliadas (Gonçalves et al., 2014).

De acordo com Souza Sobrinho et al. (2005), deve-se selecionar híbridos com desempenho estável em sucessivos cortes, principalmente quanto à PMS. Com base nessa informação, ao considerar os quatro cortes de avaliação, é notável que os híbrido H11 e H14 tenham se destacado entre os demais com os melhores desempenhos para as características avaliadas, além de reunir genitores com

resultados satisfatórios para a estimativa de CGC. É importante ressaltar que a significância dos quadrados médios para CEC é indicativa da manifestação de genes de efeitos não aditivos para o caráter, permitindo ganhos genéticos com a exploração da heterose (Bastos et al., 2003).

6. CONCLUSÕES

Para ambos os cortes, a maioria dos caracteres avaliados em ambos os cortes, exceto %MS e DC, expressaram valores significativos para os genótipos, indicando a existência de variabilidade genética;

Os genitores G6 (CPAC), G7 (IJ 7139) e G9 (Guaçu/I.Z.2) contiveram os maiores valores de capacidade geral de combinação ($\hat{\sigma}_i$) denotando que contribuirão para elevar a qualidade das principais características da cultura em programas de melhoramento para fins energéticos;

O híbrido H11 (Capim Cana D'África x Guaçu/I.Z.2) apresentou valores positivos para o efeito $\hat{\sigma}_{ii}$ em todas as cinco características avaliadas, sendo, portanto, considerado um indivíduo potencial para utilização visando à produção de biomassa-energética.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araújo, S.A. C., Deminicis, B. B., Campos, P. R. S. S. (2008) Melhoramento genético de plantas forrageiras tropicais no Brasil. *Archivos de Zootecnia*, 57:61-76.
- Barbé, T. C. da (2012) *Variação de caracteres morfoagronômicos, fisiológicos e da qualidade da biomassa energética de capim-elefante (Pennisetum purpureum Schum.) em função da idade da planta*, (Doutorado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes-RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense- UENF, 140p.
- Bastos, I. T.; Barbosa, M. H. P.; Cruz, C. D.; Burnquist, W. L.; Bressiani, J.A.; Silva, F. L. da. (2003) Análise dialélica em clones de cana-de-açúcar. *Bragantia*, Campinas, v. 62, n. 2, p. 199-206.
- Brunken, J.N. (1977) A systematic study of *Pennisetum* Sect. *Pennisetum* (Gramineae). *American Journal of Botany*, 64 (2): 161-176.
- Cavalcante, M., Lira, M.A. (2010) Variabilidade genética em *Pennisetum purpureum* Schumacher. *Revista Caatinga*, 23 (2): 153-163.

- Colombo, A. G., Vaz-de-Melo, A., Taubinger, M., Tavares, R.C., Silva, R.R. (2014) Análise dialéctica para resistência a ferrugem polissora em milho em diferentes níveis de adubação fosfatada. *Bragantia*, Campinas, 73(1):65-71.
- Corsi, M.; Silva, S.C.; Faria, V.P. (1998). Princípios de manejo do capim-elefante sob pastejo. *Informe Agropecuário*, v.19, n.192, p.36-43.
- Couto, L. C., Couto, L, Watzlawick, L. F., Câmara, D. (2004) Vias de valorização energética da biomassa. *Biomassa e Energia*. 1:71-92
- Cruz, C. D., Regazzi, A. J., Carneiro, P. C. S. (2012) *Métodos biométricos aplicados ao melhoramento genético: volume 1*. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária. 514p.
- Cruz, C. D.; Vencovsky, R. (1989) Comparação de alguns métodos de análise dialéctica. *Revista Brasileira de Genética*, 12(2):425-436.
- Cruz, C.D. GENES – (2013). A software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiarum Agronomy*, v.35, p.271-276.
- Cruz, C.D.; Regazzi, A.J.; Carneiro, P.C.S. (2004) *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. 3. ed. Viçosa: Editora UFV, v.1, 480 p
- 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) Association between the morphological and productive characteristics in the selection of elephant grass genotype. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40(3): 482-488.
- Cunha, R. C. V. (2012). *Análise de estabilidade da produção forrageira de genótipos de capim-elefante avaliados em Campos dos Goytacazes-RJ*. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes-RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 46p.
- Daher, R. F., Souza, L. B., Gravina, G. A., Machado, J. C., Ramos, H. C., Silva, V. Q., Gottardo, R. D. (2014). Use of elephant grass for energy production in Campos dos Goytacazes-RJ, Brazil. *Genetics and molecular research: GMR*, 13(4):10898.

- 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 do capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.). *Ciência Rural*, 34:1531-1535.
- 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).
- Euclides, VPB; Macedo, MCM; Valle, CB; Barbosa, WV. (2008) Rendimento forrageiro e características da estrutura de pastagem das cultivares *Brachiaria brizantha* sob pastejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 43. pp. 1805 – 1812.
- Evane, S.; Rocha, C. R. (2010). Eucalipto e Capim-elefante: Característica e Potencial Produtivo de Biomassa. *Revista Agrogeoambiental*, Pouso Alegre: IFSULDEMINAS, v.2, n.1.
- Falconer, D. S. (1987) *Introdução à genética quantitativa*. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Imprensa Universitária. 279p.
- Falconer, D. S.; Mackay, T. F. C. (1996) *Introduction to quantitative genetics*. 4th ed. Edinburgh: Longman. 462p.
- Faria, A. P.; Moda-Cirino, V.; Buratto, J. S.; Silva, C. F. B.; Destro, D. (2009) Interação genótipo x ambiente na produtividade de grãos de linhagens e cultivares de feijão. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 31(4):579-585.
- Ferreira, G. D. G.; Santos, M. V. F; Lira, M. A.; Melo A. C. L.; Almeida, O. C.; Ribeiro, C. R.; Oliveira, R. L.; Palmieri, A. D. (2013) Quantitative and qualitative characteristics of elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum) clones in the semi-arid lands of Pernambuco (Brazil). *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 26:15-23.

- Flores, R. A.; Urquiaga, S.; Alves, B. J. R.; Collier, L. S.; Boddey, R. M. (2012) Yield and quality of elephant grass biomass produced in the Cerrados region for bioenergy. *Engenharia Agrícola*, 32(5):831-839.
- Fonseca, J.S.; Martins, G.A. (1996). *Curso de estatística*. 6.ed. São Paulo: Atlas, 320p.
- Fontoura, C.F. Brandão, L.E.; Gomes, L.L. Elephant grass biorefineries: towards a cleaner Brazilian energy matrix? *Journal of Cleaner Production*, v. 96, p. 85-93, 2015.
- 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.
- Freitas, F.V. (2000). *Avaliação e seleção para pastejo de clones de capim-elefante (Pennisetum purpureum Schum.) e de um híbrido com o milheto (Pennisetum glaucum (E.) Leek)*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 105p.
- Freitas, R.S., Barbé, T.C., Daher, R.F., Vidal, A.K.F., Stida, W.S., da Silva, V.B., Menezes, B.R. da S., & Pereira, A.V. (2018). Chemical Composition and Energy Yield of Elephant-Grass Biomass as Function of Five Different Production Ages. *Journal of Agricultural Science*; Vol. 10, No. 1.
- Fuentes-Llanillo, R.; Guimarães, M. de F.; Tavares Filho, J. (2013). Morfologia e propriedades físicas de solo segundo sistemas de manejo em culturas anuais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.17, n.5, p.524-530. Campina Grande.
- Gonçalves, L. S. A.; Freitas Júnior, S. P.; Amaral Júnior, A. T.; Scapim, C. A.; Rodrigues, R.; Marinho, C. D.; Pagliosa, E. S. (2014) Estimating combining ability in popcorn lines using multivariate analysis. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 74(1):10-15.

- Griffing, B. (1956) Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Australian Journal of Biological Sciences*, Melbourne, 9:463-493.
- Hanna, W. W. (1999) *Melhoramento do capim-elefante*. In: Passos, L. P.; Carvalho, L. A.; Martins, C. E.; Pereira, A. V. (Ed.). eds. *Biologia e Manejo do Capim-Elefante*. Juiz de Fora: Embrapa-CNPGL, p. 19-27.
- 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.
- Iemma, M. (2003). *Uso do melhor preditor linear não viesado (BLUP) em análises dialélicas e predição de híbridos*. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agronômica) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. 81 p.
- Kempthorne, O, Curnow, R. N. (1961). The partial diallel cross. *Biometrics*, 17:229-250.
- Lemus, R.; Brummer, E. C.; Moore, K. J.; Molstad, N. E.; Burras, C. L.; Barker, M. F. (2002) Biomass yield and quality of 20 switchgrass populations in southern Iowa, USA: *Biomass & Bioenergy*, 23:433-442.
- Lima, R. S., Daher, R. F., Goncalves, L. S., Rossi, D. A., do Amaral Júnior, A. T., Pereira, M. G., e Lédo, F. J. S. (2011) RAPD and ISSR markers in the evaluation of genetic divergence among accessions of elephant grass. *Genetics Molecular Research*, 10:1304-1313.
- Lima, J.A.; Ferrari Junior, E.; Andrade, J.B. de; Ghisi, O.M.A. (2006) *Avaliação do capim-elefante (Pennisetum purpureum) cv Guaçu visando a produção alternativa de energia*. In: 43ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, João Pessoa, PB.

- Lucius, A. S. F.; Oliveira, R. A.; Daros, E.; Zambon, J. L. C.; Bespalhok Filho, J. C.; Verissimo, M. A. A. (2014) Desempenho de famílias de cana-de-açúcar em diferentes fases no melhoramento genético via REML/BLUP. *Semina: Ciências Agrárias*, 35(1):101-112.
- Machado, J.C. (2007). *Estabilidade de produção e da capacidade de combinação em híbridos de milho*. Lavras, Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Lavras. Lavras. 68p.
- Marchesan, C. B. (2008). *Análise genética de um cruzamento dialélico parcial em pimentão visando caracteres agronômicos e resistência ao oídio*. Dissertação (Mestrado em Genética, Melhoramento Vegetal e Biotecnologia) – Pós-Graduação – IAC, Campinas. 60 p.
- Medeiros, A. M.; Rodrigues, R.; Gonçalves, L. S. A.; Pombo, S. C.; Oliveira, H. S.; Santos, M. H. (2014) Gene effect and heterosis in *Capsicum baccatum* var. *pendulum*. *Ciência Rural*, 44(6):1031-1036.
- 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., 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. (2016) 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., do Amaral Júnior, A. T., Oliveira, A. V., Schneider, L. S., e Silva, V. B. (2014) Correlações e análise de trilha em capim-elefante para fins energéticos. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 9(3):465-470.

- Miranda Filho, J.B.; Geraldi, I.O. (1984). An adapted model for the analysis of partial diallel crosses. *Revista Brasileira de Genética*, Ribeirão Preto, v.7, p.677-688.
- Morais, R. F.; Quesada, D. M.; Reis, V. M.; Urquiaga, S.; Alves, B. J. R.; Boddey, R. M. (2011) Contribution of biological nitrogen fixation to elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum.). *Plant and Soil*, 349:1-12.
- Morais, R. F.; Souza, B. J.; Leite, J. M.; Soares, L. H. B.; Alves, B. J. R.; Boddey, R. M.; Urquiaga, S. (2009) Elephant grass genotypes for bioenergy production by direct biomass combustion. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44(2):133-140.
- Oliveira, A. V. (2013) *Avaliação do desenvolvimento e de características morfoagronômicas e qualidade de Biomassa energética de 73 genótipos de capim-elefante em Campos dos Goytacazes-RJ*. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes-RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 76p.
- Oliveira, M. L. F., Daher, R. F., Gravina, G. D. A., da Silva, V. B., Viana, A. P., Rodrigues, E. V., Rocha, A. D. S. (2014). Pre-breeding of elephant grass for energy purposes and biomass analysis in Campos dos Goytacazes-RJ, Brazil. *African Journal of Agricultural Research*, 9(36):2743-2758.
- Pereira, A. V. (1994) Germoplasma e diversidade genética do capim-elefante. In: Simpósio sobre capim-elefante, 2, Juiz de Fora. *Anais...* Coronel Pacheco: EMBRAPA-CNPGL. p.1-11.
- Pereira, A. V. (1994) Germoplasma e diversidade genética do capim elefante. In: Simpósio sobre Capim Elefante, 2., Juiz de Fora. *Anais* Coronel Pacheco: EMBRAPA CNPGL, 1994. p. 111
- 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 Léo, F. J. (2008). Diversidade genética entre acessos de capim-elefante obtida com marcadores moleculares. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37(7), 1216-1221.
- Pereira, A. V.; Daher, R. F.; Pereira, M. G.; Léo, F. J. S.; Souza Sobrinho, F.; Amaral Junior, A. T.; Freitas, V. P.; Pereira, T. N. S.; Ferreira, C. F. (2006) Análise de cruzamentos dialélicos entre capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) e milho (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.). 1. Características morfoagronômicas. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 28p.
- 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. *Recursos genéticos e melhoramento*. Rondonópolis, p. 549 – 602.
- Pfann, A. Z.; Faria, M. V.; Andrade, A. A.; Nascimento, I. R.; Faria, C. M. D. R.; Bringhamti, R. M. (2009) Capacidade combinatória entre híbridos simples de milho em dialelo circulante. *Ciência Rural*, 39(3):635-641.
- Pimentel Gomes, F. (2009). *Curso de estatística experimental*. 15.ed. Piracicaba: FEALQ, 451p
- Pimentel-Gomes, F., Garcia, C. H (2002) *Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos*. Piracicaba: FEALQ, 309p.
- Quesada, D. M. (2005) *Parâmetros quantitativos e qualitativos da biomassa de diferentes genótipos capim elefante para produção de agroenergéticos*. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 65p.
- Ramalho, M. A. P.; Santos, J. B. Dos; César, A. B. P. P. (2004). *Genética na agropecuária*. 3. ed. Lavras: UFLA, 472 p.

- 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.
- Rocha, A. S., Daher, R. E. F., Gravina, G. A., Pereira, A. V., Rodrigues, E. V. O., Viana, A. P., Oliveira, E. S. (2015) Comparison of stability methods in elephant-grass genotypes for energy purposes. *African Journal of Agricultural Research*, 10 (47):4283-4294.
- Rocha, J. R. A. S. C.; Machado, J. C.; Carneiro, P. C. S.; Carneiro, J. C.; Resende, M. D. V.; Pereira, A. V.; Carneiro, J. E. S. (2017). Elephant grass ecotypes for bioenergy production via direct combustion of biomass. *Industrial Crops and Products*, Amsterdam, v. 95, p. 27-32.
- 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).
- Samson, R.; Mani, S.; Boddey, R.; Sokhansanj, S.; Quesada, D.; Urquiaga, S.; Reis, V.; Ho Lem, C. (2005). The potential of c4 perennial grasses for developing a global . *Critical Reviews in Plant Sciences*, v.24, p.1-35.
- Santos, M. M. P., Daher, R. F., Ponciano, N. J., Gravina, G. A., Pereira, A. V., e Santos, C. L. (2014) Respostas do capim-elefante sob doses de adubação azotada de cobertura para fins energéticos. *Revista de Ciências Agrárias*, 37(1):100-108.
- Schneider, L. S. A. (2013) *Avaliação morfoagronômica, adaptabilidade e estabilidade da produção de forrageira de capim-elefante*. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Campos dos Goytacazes-RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 72p.
- Seye, O. (2003) *Análise de Ciclo de Vida Aplicada ao Processo Produtivo de Cerâmica Estrutural tendo como Insumo Energético Capim Elefante (Pennisetum*

Purpureum Schaum.). Tese (Doutorado). Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 147p.

Sibiya, J.; Tongoona, P.; Derera, J.; Rij, N. V.; Makanda I. (2011) Combining ability analysis for *Phaeosphaeria* leaf spot resistance and grain yield in tropical advanced maize inbred lines. *Field Crops Research*, 120(1):86-93.

Silva, D. J.; Queiroz, A. C. *Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos*. 3. Ed. Viçosa, 2002. 235p

Silva, M. A. (2008) Interação genótipo x ambiente e estabilidade fenotípica de cana-de-açúcar em ciclo de cana de ano. *Bragantia*, 67(1):109-117.

Silva, M. A.; Lira, M. A.; Santos, M. V. F.; Dubeux Junior, J. C. B.; Cunha, M. V.; Freitas, E. V. (2008) Análise de trilha em caracteres produtivos de *Pennisetum* sob corte em Itambé, Pernambuco. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37(7):1185-1191.

Silva, V. Q. R. (2011) *Dialelo parcial em capim-elefante: Capacidade combinatória em caracteres morfoagronômicos e bromatológicos em Campos dos Goytacazes, RJ*. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF. Campos dos Goytacazes. 110p

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 combinatória de capim elefante com base em caracteres morfoagronômicos. *Boletim de Indústria Animal*, 71(1), 63-70.

Sommerville, C.; Youngs, H.; Taylor, C.; Davis, S. C.; Long, S. P. (2010). Feedstocks for lignocellulosic biofuels. *Science*, v. 329, p.790-792.

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.

- Souza Sobrinho F.; Pereira A. V.; Ledo, F. J. S.; Botrel, M. A.; Oliveira, J. S.; Xavier, D. F. (2005) Avaliação agrônômica de híbridos interespecíficos entre capim-elefante e milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 40(9):873-880.
- 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, milho. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 28(1), 7-12.
- Urquiaga, S.; Alves, B.J.R.; Boddey, R.M. *Capim-elefante: uma fonte alternativa promissora para a produção de energia*. 2006.
- 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.
- 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.
- Vidal, A. K. F., Barbé, T. C., Daher, R. F., Filho, J. E. A., De Lima, R. S. N., Freitas, R. S., Rossi, D. A., Oliveira, É. S., Menezes, B. R. S., Entringer, G. C., Peixoto, W. F. S., & Cassaro, S. (2017). Production potential and chemical composition of elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum.) at different ages for energy purposes. *African Journal of Biotechnology*, 16(25), 1428-1433.
- Vieira, R.A., Scapim, C.A., Tessmann, D.J., Hata, F.T. (2011). Diallel analysis of yield, popping expansion, and southern rust resistance in popcorn lines. *Revista Ciência Agronômica*, 42(3):774-780.

- 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. A., Pereira, J. R. (1993) Poder germinativo de sementes de capim-elefante. *Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, 22 (4): 565-569.
- Xia, Z.; Hongru, G.; Chenglong, D.; Xiaoxian, Z.; Jianli, Z.; Nengxiang, X. (2010). Path coefficient and cluster analyses of yield and morphological traits in *Pennisetum purpureum*. *Tropical Grasslands, Brisbane*, v.44, p.95–102.