

REPETIBILIDADE DE CARACTERES MORFOAGRONÔMICOS,  
ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE GENÓTIPOS DE CAPIM-  
ELEFANTE PARA PRODUÇÃO DE BIOMASSA COM FINS  
ENERGÉTICOS

**YURE PEQUENO DE SOUZA**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE  
DARCY RIBEIRO – UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ  
MARÇO – 2017

REPETIBILIDADE DE CARACTERES MORFOAGRONÔMICOS,  
ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE GENÓTIPOS DE CAPIM-  
ELEFANTE PARA PRODUÇÃO DE BIOMASSA COM FINS  
ENERGÉTICOS

**YURE PEQUENO DE SOUZA**

“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  
MARÇO – 2017

REPETIBILIDADE DE CARACTERES MORFOAGRONÔMICOS,  
ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE GENÓTIPOS DE CAPIM-  
ELEFANTE PARA PRODUÇÃO DE BIOMASSA COM FINS  
ENERGÉTICOS

**YURE PEQUENO DE SOUZA**

“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 28 de março de 2017.

Comissão Examinadora:

---

Dr. Antônio Vander Pereira (D.Sc., Genética e Melhoramento) – Embrapa Gado de Leite

---

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

---

Prof. Marcelo Vivas (D.Sc., Genética e Melhoramento) – UENF

---

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

*Aos meus pais, José Dias e Maria Valmira;  
À minha irmã Ingrid e ao meu sobrinho querido Erick Emanuel.*

***Dedico com muito amor***

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por me capacitar e possibilitar sabedoria e discernimento para superar os obstáculos;

Aos meus pais, exemplos de garra e determinação, minha fonte de inspiração, muito obrigado por estarem ao meu lado e por acreditarem no meu potencial;

À minha irmã Ingrid, que me acompanhou e me apoiou desde o princípio, que sempre me ajuda e que torce tanto pelo meu sucesso;

À minha namorada Talita, pela paciência, pelo amor, pela dedicação e pela confiança;

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

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ), pela concessão das bolsas de mestrado;

Ao Professor Rogério Figueiredo Daher, pela orientação, pela confiança e pela atenção;

Aos professores, Geraldo de Amaral Gravina e Marcelo Vivas, pelas sugestões e pelo aperfeiçoamento deste trabalho; e aos demais professores do PGMP, pelos conhecimentos transmitidos;

Ao pesquisador Antônio Vander Pereira pela atenção, pela disponibilidade em compartilhar conhecimento e por contribuir para a realização deste trabalho;

Ao secretário José Daniel, por ser, sempre, tão solícito e competente;

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

Aos amigos do capim-elefante, Ana Késia, Avelino Rocha, Bruno Almeida, Erina Rodrigues, Lília Gravina, Maria do Socorro, Rafael Freitas, Sabrina Cassaro, Verônica Brito, Wanessa Stida, agradeço muito pelas contribuições prestadas;

Aos amigos do grupo de estudo, Derivaldo Pureza, José Arantes e Tâmara Albuquerque, muito grato pela amizade e pelos momentos de descontração;

Aos amigos da república, André e Leonardo, por compartilharem todos os momentos, pelas descontrações, pelas discussões e pelas alegrias;

A toda minha família, pelo incentivo, pelo amor e pelo carinho em todos os momentos da minha vida;

A todos que, em menor ou maior intensidade, contribuíram para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	vii
<b>ABSTRACT</b> .....	ix
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2.OBJETIVOS</b> .....	4
<b>3.REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	5
3.1. Origem e aspectos botânicos do capim-elefante .....	5
3.2. Capim-elefante: fonte alternativa de energia renovável .....	7
3.3. Melhoramento Genético do capim-elefante.....	9
3.4. Repetibilidade .....	10
3.5. Interação Genótipo x Ambiente: Adaptabilidade e Estabilidade fenotípica ....	12
<b>4.MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	16
4.1 Caracterização da área experimental .....	16
4.2. Delineamento experimental e genótipos avaliados .....	18
4.3. Características avaliadas .....	20
4.4. Análises genético-estatísticas .....	21
<b>5.RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	31
5.1. Repetibilidade de características morfoagronômicas e número mínimo de cortes para seleção de capim-elefante ( <i>Pennisetum purpureum</i> Schum.) para fins energéticos.....	31
5.2. Adaptabilidade e estabilidade da produção de biomassa energética via métodos de regressão emcapim-elefante. ....	39

<b>6. CONCLUSÕES.....</b>	<b>54</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>56</b>



## RESUMO

SOUZA, Yure Pequeno de; M.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; Março, 2017. REPETIBILIDADE DE CARACTERES MORFOAGRONÔMICOS, ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE GENÓTIPOS DE CAPIM-ELEFANTE PARA PRODUÇÃO DE BIOMASSA COM FINS ENERGÉTICOS; Orientador: Rogério Figueiredo Daher; Conselheiros: Antonio Teixeira do Amaral Júnior e Geraldo de Amaral Gravina.

A produção de energia pelo uso da biomassa vegetal representa um grande desafio para pesquisa, uma vez que a queima acentuada de petróleo e seus derivados contribui para as mudanças climáticas do planeta. Esse fato desperta o interesse dos pesquisadores para explorar fontes alternativas de energia; dentre as quais, o capim-elefante (*Pennisetumpurpureum*Schum.) vem se mostrando bastante promissor. Contudo, há, ainda, uma grande carência de estudos para essa finalidade. Isso posto, o presente trabalho tem como objetivos: i) estimar o coeficiente de repetibilidade para os caracteres morfoagronômicos em capim-elefante com finalidade energética; ii) determinar o número de avaliações necessárias para seleção fenotípica com maior eficiência; iii) estimar parâmetros de estabilidade e adaptabilidade da produtividade de matéria seca de genótipos de capim-elefante sob o regime de cortes semestrais, utilizando-se metodologias baseadas em regressão e iv) selecionar genótipos com elevada produtividade, adaptabilidade e estabilidade. O experimento foi conduzido em Campos dos Goytacazes – RJ, utilizando-se o delineamento de blocos, ao acaso, com 73 genótipos em duas repetições. Foram realizados nove cortes em intervalos de seis

meses, no período de junho de 2012 a dezembro de 2016. Avaliaram-se as características: produtividade de matéria seca (PMS), número de perfilhos por metro linear (NP), altura média das plantas (ALT), diâmetro médio do colmo (DC) e largura da lâmina foliar (LL). As estimativas de repetibilidade foram obtidas por quatro procedimentos estatísticos, sendo eles: análise de variância (ANOVA), método dos componentes principais com base na matriz de variância e covariância fenotípica (CPCOV), componentes principais com base na matriz de correlação (CPCOR) e análise estrutural baseada na matriz de correlação (AECOR). Quanto à análise da adaptabilidade e estabilidade fenotípica, foram utilizados o método proposto por Eberhart e Russell (1966) e o método proposto por Cruz *et al.* (1989). Todas as análises genético-estatísticas foram realizadas, utilizando-se os recursos computacionais do programa Genes. As estimativas de repetibilidade são de média a alta magnitude para as características número de perfilhos, altura de plantas, diâmetro de colmo e largura de lâmina foliar e de baixa magnitude para produtividade de matéria seca. As maiores estimativas de repetibilidade foram encontradas pelo método dos componentes principais baseado na matriz de variâncias e covariâncias fenotípicas (CPCOV). Para a predição do valor real de genótipos de capim-elefante para fins bioenergéticos com 80% de confiabilidade, devem ser realizados, pelo menos, nove, três, seis, seis, e três cortes, considerando-se as características PMS, NP, ALT, DC e LL, respectivamente pelo método CPCOV. Quanto aos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade, observou-se que os dois métodos aplicados são concordantes quanto aos resultados encontrados, todavia o método de Cruz *et al.* (1989) fornece informações mais detalhadas. Os genótipos Gramafante, Taiwan A-46, Gigante de Pinda, Três Rios, Guaçu/I.Z.2, Taiwan A-121, IJ7125 cv EMP. 308, Vruckwona Africano, Duro de Volta Grande, 03 AD IRI e Napierzinho destacaram-se por reunir, simultaneamente, elevada produtividade, ampla adaptabilidade e estabilidade de desempenho.

**Palavras-chave:** *Pennisetum purpureum* Schum., bioenergia, melhoramento de plantas.

## ABSTRACT

SOUZA, Yure Pequeno de; M.Sc.; State University of Norte Fluminense Darcy Ribeiro; March, 2017. REPEATABILITY OF MORPHOAGRONOMIC CHARACTERS, ADAPTABILITY AND STABILITY OF ELEPHANT GRASS GENOTYPES FOR ENERGY PURPOSES FOR BIOMASS PRODUCTION; Advisor: Rogério Figueiredo Daher; Co-Advisor: Antônio Teixeira do Amaral Júnior and Geraldo de Amaral Gravina.

The production of energy through the use of plant biomass presents a great challenge for research, since the accentuated burning of oil and its derivatives contributes to the global climate change. This fact arouses researchers interest in exploring alternative sources of energy, in which the elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum.) has been very promising. However, there is still a great lack of studies for this purpose. Therefore, the present study aims to: i) to estimate the repeatability coefficient for morphoagronomic characters in energetic elephant grass; ii) to determine the number of evaluations required for phenotypic selection with greater efficiency; iii) to estimate parameters of stability and adaptability of the dry matter yield of elephant grass genotypes under the regime of semester cuts, using methodologies based on regression; and iv) select genotypes with high productivity, adaptability and stability. The experiment was conducted in Campos dos Goytacazes - RJ using a randomized block design with 73 genotypes and two replicates. Nine cuts were performed at six-month intervals, from June 2012 to December 2016. The following characteristics were evaluated: dry matter yield (DMY), number of tillers per linear meter (NT), plant height (HP), stem diameter (ST) and Leaf blade width (LB). The repeatability estimates were obtained by four

statistical procedures: Analysis of variance (ANOVA), principal component method based on variance matrix and phenotypic covariance (CPCOV), principal components based on the correlation matrix (CPCOR) and structural analysis based on correlation matrix (AECOR). As for the analysis of adaptability and phenotypic stability, the method proposed by Eberhart e Russell (1966) and the method proposed by Cruz et al. (1989). All genetic-statistical analyzes were performed using the computational resources of the Genes program. The repeatability estimates are from medium to high magnitude for the number of tillers, plant height, stalk diameter and leaf blade width and low magnitude for dry matter yield. The highest repeatability estimates were found by the principal components method based on the matrix of variances and phenotypic covariance (CPCOV). In order to predict the true value of elephantgrass genotypes for bioenergetic purposes with 80% reliability, at least nine, three, six, six and three cuts should be performed considering the DMY, NT, HP, ST and LB characteristics, Respectively by the CPCOV method. Regarding the parameters of adaptability and stability, it was observed that the two methods applied are concordant regarding the results found, however the method of Cruz et al. (1989) provides more detailed information. The genotypes Gramafante, Taiwan A-46, Pinda Giant, Three Rivers, Guaçu / I.Z.2, Taiwan A-121, IJ7125 cv EMP. 308, Vruckwona Africano, Duro de Volta Grande, 03 AD IRI and Napierzinho stood out for their high productivity, wide adaptability and stability of performance.

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

## 1. INTRODUÇÃO

O rápido crescimento da economia mundial, no século passado, foi associado ao aumento do consumo de energia de várias fontes; em especial, o petróleo, que pode ser considerado o fundamento da economia moderna. Entretanto, do ponto de vista da sustentabilidade do planeta, o uso acentuado dessas fontes finitas de energias é fortemente criticado devido à sua combustão emitir gases que contribuem para o efeito estufa, além de possuir preços exorbitantes (Santos et al., 2015). Nesse cenário, a produção de energia pela utilização de formas alternativas é um estímulo para pesquisadores de todo o mundo, tendo em vista a redução do consumo de fontes de energia mais poluentes e não renováveis. Dessa forma, adotar modelos que se encaixem nos padrões da sustentabilidade é inevitável para garantir o bem-estar da humanidade em longo prazo.

Diante disso, a biomassa vegetal apresenta-se como uma excelente alternativa, pois, além de ser uma fonte de energia renovável, possui vantagens econômicas e ambientais significativas em relação ao uso do petróleo e seus derivados, ou seja, é de baixo custo e pode ser usada para reduzir as emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (Ibrahim et al., 2014). A biomassa vegetal pode ser definida como a energia química, produto da fotossíntese, produzida pelas plantas na forma de hidratos de carbono, sendo que sua utilização como combustível pode ser feita na sua forma bruta ou através de seus derivados. A renovação desta se dá por meio do ciclo do carbono (Goldemberg, 2009).

Nesse contexto, várias pesquisas vêm sendo promovidas e as principais culturas exploradas para esse propósito têm sido a cana-de-açúcar e o eucalipto. Contudo, o capim-elefante vem despertando o interesse de pesquisadores e empresários do ramo energético, principalmente pelo fato de ser uma planta C<sub>4</sub>e, por isso, ser altamente eficiente na fixação do CO<sub>2</sub> atmosférico durante o processo de fotossíntese. Além disso, possui alta produtividade de matéria seca e ciclo curto, aliada a características de qualidade da biomassa, como alto teor de fibra, mais especificamente os teores dos componentes ricos em carbono e com elevado poder calorífico, como a celulose e lignina, assim como alta relação carbono/nitrogênio (C/N) (Paterlini et al., 2013; Mohammed et al., 2015).

Levando em consideração a enorme potencialidade dessa cultura para fins energéticos e a carência de estudos acerca dessa temática, observa-se a necessidade de intensificar as pesquisas com o intuito de desenvolver variedades melhoradas para suprir a demanda energética, já que, tradicionalmente, os estudos com essa espécie são direcionados para a produção animal. Sabe-se que, por se tratar de uma planta perene, a seleção de genótipos superiores tem sido efetuada mediante a realização de cortes sucessivos em intervalos previamente estabelecidos. Entretanto, esse processo necessita de um longo período por envolver muitas etapas, avaliação de muitos caracteres e um grande dispêndio de custos e mão de obra (Oliveira et al., 2011). Sendo assim, uma alternativa que pode auxiliar os melhoristas dessa cultura a atenuar tais desafios é o uso da repetibilidade. Por meio da estimativa do coeficiente de repetibilidade ( $r$ ), é possível determinar o número mínimo de avaliações a serem realizadas para que a seleção fenotípica seja efetuada com eficiência (Cruz et al., 2012).

Outra grande dificuldade observada na avaliação dessa cultura são os efeitos da interação entre genótipos e ambientes (G x A), caracterizada pela irregularidade de desempenho dos genótipos nos diversos ambientes onde são cultivados. Quando essas interações são do tipo complexo, uma cultivar superior num ambiente poderá apresentar desempenho inferior em outro ambiente (Cruz et al., 2012). Em plantas forrageiras, uma fonte extra de variação ambiental é dada pelos diferentes cortes realizados ao longo dos anos, quando as plantas são submetidas a diferentes estações climáticas. Condições ambientais tais como temperatura, umidade relativa, fotoperíodo e precipitação variam muito ao longo do ano, podendo contribuir, ainda mais, para a interação genótipos x ambiente. Assim,

a avaliação da adaptabilidade e estabilidade dos cultivares é uma alternativa para amenizar os efeitos da interação ao identificar cultivares de ampla adaptabilidade e alta estabilidade (Cunha et al., 2013).

Sendo assim, deter o conhecimento de parâmetros de repetibilidade, adaptabilidade e estabilidade é de suma importância, pois ambos trazem informações que auxiliarão os melhoristas na tomada de decisões, permitindo melhor aproveitamento dos resultados e, conseqüentemente, aumentando a eficiência da seleção e recomendação dos genótipos superiores.

## 2. OBJETIVOS

Conduziu-se este estudo com os objetivos de: (i) Estimar o coeficiente de repetibilidade para os caracteres morfoagronômicos em capim-elefante com finalidade energética; (ii) Determinar o número de avaliações necessárias para seleção fenotípica com maior eficiência; (iii) Estimar parâmetros de estabilidade e adaptabilidade da produtividade de matéria seca de genótipos de capim-elefante sob o regime de cortes semestrais, utilizando-se metodologias baseadas em regressão; e (iv) Selecionar genótipos com elevada produtividade, adaptabilidade e estabilidade.



### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1. Origem e aspectos botânicos do capim-elefante

O capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.), também conhecido como capim-napier, capim-cameroon e capim-cana, possui como centro de origem e diversidade genética o continente africano, mais precisamente uma grande área da África tropical, sendo os territórios de Guiné, Moçambique, Angola, Zimbábue e sul do Quênia as principais áreas de biodiversidade (Brunken, 1977). Seu valor forrageiro foi descoberto pelo coronel Napier Springer em meados de 1905 e, no Brasil, foi introduzido, inicialmente, em São Paulo, por volta de 1920, por estacas oriundas de Cuba. Entretanto, seu cultivo foi difundido em todas as regiões brasileiras por ser amplamente adaptado ao clima tropical e possuir elevado potencial de produção aliado à qualidade de forragem (Ferreira e Pereira, 2005; Cavalcante e Lira, 2010).

A classificação botânica do capim-elefante está descrita como pertencente à família *Poaceae*, subfamília *Panicoideae*, tribo *Paniceae*, gênero *Pennisetum* seção *Penicillaria* a qual reúne os mais importantes gêneros de plantas forrageiras tropicais, como *Brachiaria*, *Panicum*, *Melinis*, *Setaria*, *Axonopus* e *Acroceras* (Brunken, 1977; Tcacenco e Botrel, 1997). Quanto à citogenética, o capim-elefante é uma espécie alotetraplóide, com número básico de cromossomos  $x=7$  ( $2n = 4x = 28$ ), porém com comportamento diplóide normal, apresentando genomas A'A'BB

que compõem o conjunto gênico secundário (Hanna et al., 1984; Martel et al., 1996; Barbosa et al., 2003).

Dentre as características morfológicas e fenológicas do capim-elefante, ressaltam-se: ciclo vegetativo perene, hábito de crescimento cespitoso, colmos eretos, cilíndricos, glabros e preenchidos por um parênquima suculento, dispostos em touceiras variando de 3,5 a 6,0 m de altura, com entrenós de 15 a 20 cm 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 e de cor mais clara, disposição alternada, bainha lanosa, fina, estriada, lígula curta e ciliada (Deresz, 1999).

Além disso, é uma espécie protogínica, favorecendo a alogamia, apresentando alto nível de heterozigose, sendo que a taxa de polinização cruzada está intimamente relacionada com a época de florescimento dos genótipos envolvidos e do arranjo físico das populações. O intervalo médio de tempo entre o surgimento dos estigmas e o aparecimento das primeiras anteras é de, aproximadamente, sete dias. A época de florescimento pode variar, também, de acordo com as condições ambientais (Pereira, 1994).

A propagação vegetativa, utilizando-se colmos e rizomas, é o modo de propagação mais utilizado no cultivo do capim-elefante. Isso constitui uma significativa vantagem, pois garante uma população mais uniforme, e, uma vez obtidos genótipos superiores, é possível fixá-los e propagá-los preservando a constituição genética, visando testes e eventuais lançamentos. De acordo com Holm et al. (1977), a produção de sementes no capim-elefante é inconsistente, e as mesmas apresentam baixo poder germinativo. Considerando a polinização cruzada, característica da alogamia, as sementes produzidas em um determinado plantio são de cruzamentos entre plantas provenientes de um mesmo clone e, assim, decorrem de autofecundação. A depressão endogâmica oriunda desse processo seria um dos principais fatores responsáveis pela baixa germinação das sementes e plantas de baixo vigor no capim-elefante propagado por sementes (Pereira et al., 2001).

Pelo seu elevado potencial de produção, além de boas condições de adaptação ao clima e solo, de praticamente todas as regiões do Brasil, o capim-elefante possui uma ampla versatilidade de utilização; tradicionalmente, é utilizado como fonte de nutrientes na dieta animal, principalmente em regime de corte

(capineiras), além de, também, ser utilizado para ensilagem e para pastejo rotacionado (Veiga, 1985; Vilela, 1997; Pereira et al., 2008). Embora a maioria dos programas de melhoramento docapim-elefante seja direcionada ao seu uso como forrageira, devido ao elevado potencial de produção de matéria seca, essa espécie vem sendo estudada, também, como fonte alternativa de energia.

### **3.2. Capim-elefante: fonte alternativa de energia renovável**

A população mundial vem crescendo exponencialmente, e estima-se que atingirá 8,4 bilhões de pessoas em 2025. Esse crescimento populacional resultará no aumento da demanda por alimentos, fibras e energia, o que deverá constituir-se no principal desafio deste século (Resck et al., 2008). Além disso, a utilização desenfreada das fontes finitas de energia (combustíveis fósseis) e a alta emissão de gases que contribuem para o efeito estufa, como gás carbônico (CO<sub>2</sub>), óxidos de nitrogênio (Nox) e metano (CH<sub>4</sub>) vêm ocasionando grande preocupação ambiental tanto para a comunidade científica como para os governantes (Rossi, 2010).

Motivados por essa preocupação, várias conferências mundiais para tratar das mudanças climáticas foram realizadas, todavia a aprovação do primeiro acordo internacional para frear as emissões de gases do efeito estufa e para lidar com os impactos da mudança climática deu-se, somente, em 12 de dezembro de 2015, durante a 21ª Conferência do Clima das Nações Unidas (COP-21), realizada em Paris, França.

O acordo de Paris, que deverá entrar em vigor a partir de 2020, foi aclamado por 195 países e consiste num documento de caráter legalmente vinculante, o qual obrigará todas as nações signatárias a organizar estratégias para reduzir o aquecimento global, para que, até o ano de 2100, a temperatura média do planeta tenha um aumento inferior a 2°C (*United Nations Frame work Convention on Climate Change-UNFCCC*, 2015). O Brasil, como participante desse acordo, assumiu compromisso de reduzir, até o ano de 2025, cerca de 37% nas emissões de gases estufa, sendo essa redução ampliada para 43% até o ano de 2030.

Sendo assim, uma das maneiras para os países contornarem a dependência dos combustíveis fósseis e minimizarem o impacto ambiental é voltar os olhos para a utilização de fontes de energias alternativas. Nesse sentido, a biomassa vegetal

se torna uma alternativa energética segura, viável e muito promissora em longo prazo. Goldemberg (2009) define biomassa vegetal como a energia química, produto da fotossíntese, produzida pelas plantas na forma de hidratos de carbono, sendo que sua utilização como combustível pode ser feita na sua forma bruta ou através de seus derivados. A renovação dessa biomassa se dá por meio do ciclo do carbono.

Dentre as vantagens do uso da biomassa, destaca-se, principalmente, a sustentabilidade, pelo fato de ser renovável, permitir o reaproveitamento de resíduos, não contribuindo para o efeito estufa com o gás carbônico (CO<sub>2</sub>), 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 silvicultura (Couto et al., 2004).

Uma *Poaceae* que vem provocando o interesse de pesquisadores é o capim-elefante. Isso se deve ao fato de ser uma planta C<sub>4</sub> e, por isso, ser altamente eficiente na fixação de CO<sub>2</sub> atmosférico durante o processo de fotossíntese, possuindo grande capacidade de acumulação de matéria seca, alto teor de lignina, rápido crescimento e alta produção de biomassa, menor ciclo produtivo (de corte por ano), possibilidade de mecanização total, além de ser amplamente adaptado às condições edafoclimáticas do Brasil (Boddey et al., 2004; Zanetti, 2010).

Outra característica de extrema importância do capim-elefante é o poder calorífero, definido como a quantidade de energia na forma de calor liberado pela combustão de uma unidade de massa de um material. Rocha et al. (2009), avaliando o poder calorífero do capim-elefante, encontraram resultados promissores em torno de 4.500 kcal·kg<sup>-1</sup>, valores próximos ao de *Eucalyptus sp.* 4.525 kcal·kg<sup>-1</sup> e superiores ao da casca de arroz e ao do bagaço de cana, 3.730 kcal·kg<sup>-1</sup> e 3.700 kcal·kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Por não compor a dieta humana e ser totalmente utilizável, o capim-elefante acaba estando à frente de outras gramíneas utilizadas como fonte energética, principalmente em comparação à cana-de-açúcar, a qual, além de ser utilizada para produção açucareira, possui

produtividade máxima de matéria seca de  $40 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$  e gera o bagaço como resíduo (Paterlini et al., 2013).

### **3.3. Melhoramento Genético do capim-elefante**

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, 2011). Contudo, essa cultura ainda pode ser considerada em fase inicial de melhoramento, sendo a maioria das cultivares constituída de clones selecionados de genótipos coletados nas áreas de diversidade da espécie. Na maioria dos genótipos sob cultivo, observam-se algumas características de espécies não domesticadas totalmente, como florescimento não sincronizado, sementes pequenas e deiscentes e outros caracteres que contribuem, negativamente, para o plantio dessa cultura por meio de sementes (Pereira e Léo, 2008).

As mesmas metodologias de melhoramento desenvolvidas para as espécies alógamas também podem ser empregadas para o capim-elefante. Contudo, deve-se salientar algumas características da cultura, que podem favorecer o processo; dentre elas, destacam-se o florescimento protogínico, elevado número de inflorescências por planta, propagação vegetativa e por meio de sementes, germoplasma com ampla variabilidade e possibilidade de cruzamento interespecífico (Pereira, 2001; Souza Sobrinho et al., 2005; Pereira e Léo, 2008).

Vários centros de pesquisa do mundo, incluindo o Brasil, China, Porto Rico, EUA e países da África, mantêm coleções de germoplasma de capim-elefante, porém essas coleções não estão bem caracterizadas. No Brasil, os principais bancos de germoplasma do capim-elefante encontram-se na Embrapa Gado de Leite e no Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), e a maioria dos acessos são comuns aos dois bancos (Pereira e Léo, 2008). Além desses, existem os bancos da Universidade Federal de Pelotas e da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Santa Catarina (EPAGRI).

A situação do melhoramento genético do capim-elefante, no Brasil, encontra-se muito aquém quando comparado aos cereais; isso pode ser explicado pelo fato de programas de melhoramento de plantas forrageiras serem de longa duração e custo elevado, envolvendo extensas áreas e elevado número de avaliações, além

de poucos profissionais envolvidos em pesquisas no país. Esse fato é comprovado pelo baixo número de cultivares disponíveis no mercado, sendo que as mais utilizadas, como Napier, Cameroon, Mercker e Roxo, foram obtidas no centro de diversidade da espécie, no continente africano (Freitas, 2008). Nota-se que somente nove materiais provenientes de programas de melhoramento de instituições brasileiras encontram-se registrados no RNC – MAPA (Registro Nacional de Cultivares do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento). Seis delas foram registradas pela EPAGRI (Empasc 305, Empasc 306, Empasc 307, Empasc 308, Empasc 309 e Empasc 310) e as outras três pela EMBRAPA (BRS Canará, BRS Kurumi e BRS Capiáçu) (MAPA, 2017).

Predominantemente, os trabalhos de melhoramento genético do capim-elefante são direcionados, em quase sua totalidade, para o desenvolvimento e identificação de genótipos com caracteres desejáveis para a alimentação animal. No entanto, em virtude da versatilidade da cultura, aumentou-se o volume de pesquisas visando à obtenção de genótipos para utilização na produção de biomassa para os fins energéticos. Esses estudos são necessários, visto que o capim-elefante possui atributos favoráveis às condições climáticas do Brasil (luz, temperatura, precipitação, altitude) e às extensas áreas existentes que podem propiciar o cultivo da espécie.

Nesse sentido, a Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) desenvolve 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, 2011; Cunha, 2012; Oliveira, A. et al., 2013; Schneider, 2013), como para produção de energia (Rossi, 2010; Lima et al. 2011; Barbé, 2012; Sousa, 2013; Daher et al., 2014; Menezes et al., 2014; Oliveira, M. et al., 2014; Rossi et al., 2014; Santos et al., 2014, Rocha, et al., 2015).

### **3.4. Repetibilidade**

Ao longo de um processo de seleção de plantas, visando ao lançamento de novas cultivares ou à escolha de parentais para recombinação, é essencial que se tenha convicção da superioridade genética dos indivíduos (Negreiros et al., 2008; Neves et al., 2010). Para tanto, a análise de sucessivas medições de uma característica, em grupo de indivíduos, torna-se um procedimento desejável, pois

se espera que a superioridade ou inferioridade inicial de um indivíduo, em relação aos demais, mantenha-se ao longo das medições (Cruz et al., 2012).

Tratando-se do melhoramento de plantas perenes, a seleção de indivíduos superiores tem sido efetuada por meio da realização de avaliações sucessivas em intervalos de tempo previamente estabelecidos. No entanto, esse processo envolve muitas etapas, avaliação de muitas características, demandando, assim, bastante tempo, recursos financeiros e mão de obra (Oliveira et al., 2011).

Contudo, conseguir minimizar ou eliminar o tempo gasto, avaliando repetições além do necessário, assim como evitar a avaliação de um número reduzido que provocarão erros de estimação de parâmetros e falhas na identificação dos genótipos superiores, torna-se de grande importância para o avanço e sucesso de programas de melhoramentos que demandem esse procedimento. Diante disso, uma excelente alternativa para contornar esses desafios é a utilização da repetibilidade, através do seu coeficiente de repetibilidade (Cardoso, 2006). Por meio da estimativa do coeficiente de repetibilidade ( $r$ ), é possível determinar o número mínimo de medições que deverão ser realizadas a fim de que a avaliação fenotípica apresente alta eficiência (Cruz et al., 2012).

Conforme Lush (1964), Abeywardena (1972), Kempthorne (1973) e Cruz et al. (2012), o coeficiente de repetibilidade é definido como a correlação entre as medidas realizadas em um mesmo indivíduo, com avaliações tomadas no tempo ou no espaço. De acordo com Resende (2002), considerando o padrão de duas medições, propõe-se a seguinte classificação para o coeficiente de repetibilidade: alta ( $r \geq 0,60$ ); média ( $0,30 < r < 0,60$ ) e baixa ( $r \leq 0,30$ ). Assim, quando o valor da repetibilidade for alto, indica-se que é viável prever o valor real do indivíduo, utilizando-se um número relativamente pequeno de medições quando comparado aos baixos valores de estimativas de repetibilidade (Cruz et al., 2012).

Além de estimar o número de avaliações necessárias para a predição do real valor dos indivíduos, a repetibilidade representa o limite superior da herdabilidade no sentido amplo ( $h^2$ ), sendo, assim, bem mais fácil de ser estimada, pois  $h^2$  exige cruzamentos controlados e estudo de progênies. Nesse contexto, a repetibilidade expressa a proporção da variância total de um caráter que é explicada pelos efeitos genéticos dos indivíduos e por alterações permanentes atribuídas ao ambiente comum. O coeficiente de repetibilidade varia de acordo com a natureza do caráter, com as propriedades genéticas da população (clones,

progênies de meios-irmãos, progênies de irmãos-completos) e com as condições ambientais sob as quais os indivíduos são mantidos (Falconer, 1981).

Dentre os métodos estatísticos possíveis no estudo da repetibilidade, os mais utilizados são o método da análise de variância, o método dos componentes principais, baseando-se em matrizes de covariância e/ou correlações e análise estrutural. O método dos componentes principais é citado como uma das formas mais eficientes para o cálculo do coeficiente de repetibilidade, principalmente em espécies que apresentam comportamento cíclico em relação à variável de estudo entre os genótipos. O método da análise estrutural, semelhante ao dos componentes principais, com diferenças conceituais, considera as correlações entre genótipos, em cada par de avaliações, na constituição da matriz paramétrica, para definição do estimador de repetibilidade (Cruz *et al.*, 2012).

É essencial a utilização de metodologias que maximizem a eficiência seletiva e minimizem os custos com recursos financeiros e humanos. Diversos autores têm obtido estimativa do coeficiente de repetibilidade em diversas espécies forrageiras, tais como, *Panicum maximum* (Martuscello *et al.*, 2007 e Lédo *et al.*, 2008), *Brachiaria brizantha* (Martuscello *et al.*, 2013), *Medicago sativa* (Freitas *et al.*, 2011).

No que se refere à *Pennisetum purpureum*, verifica-se que a maioria das pesquisas com essa temática, (Daher *et al.*, 2004; Viana *et al.*, 2009; Oliveira *et al.*, 2011 e Cavalcante *et al.*, 2012), apresenta resultados direcionados à utilização do capim-elefante para produção animal. Entretanto, não foi encontrado nenhum trabalho que tenha empregado essa ferramenta estatística no capim-elefante com o propósito de estudá-lo com finalidade bioenergética.

### **3.5. Interação Genótipo x Ambiente: Adaptabilidade e Estabilidade fenotípica**

Em um determinado ambiente, a manifestação fenotípica é o resultado da ação do genótipo sob influência do meio. Entretanto, quando se considera uma série de ambientes, destaca-se, além dos efeitos genéticos e ambientais, um efeito adicional, proporcionado pela interação destes. A interação genótipo x ambiente (G x A) pode ser conceituada como o comportamento diferencial de genótipos em função de diferentes ambientes (Cruz *et al.*, 2012; Viana e Resende, 2014). De acordo com Duarte e Vencovsky (1999), essa interação se constitui como um



grande desafio enfrentado pelos melhoristas em programas de melhoramento, pois dificulta a seleção e recomendação de genótipos amplamente adaptados, já que há possibilidade do melhor genótipo em um ambiente não o ser em outro.

Segundo Allard e Bradshaw (1964), as condições ambientais que colaboram para as interações com os genótipos podem ser agrupadas em duas categorias: previsível e imprevisível. A primeira inclui todos os fatores permanentes do ambiente, como características gerais do clima e do tipo de solo e, também, as características do ambiente que variam de forma sistemática. Inclui, ainda, os aspectos do ambiente que são determinados pelo homem, como data de plantio, método de preparo do solo e colheita. A segunda inclui as flutuações variáveis do ambiente, como a distribuição de chuvas, variações na temperatura e umidade relativa do ar. Fehr (1987) afirma que as variáveis imprevisíveis são as que mais contribuem para as interações genótipo x ano e genótipo x ano x local.

Vencovsky e Barriga (1992) mencionam que não basta, apenas, detectar a presença de interações, deve-se, também, considerar a sua natureza. Conforme Cruz et al. (2012), a interação G x A está relacionada a dois fatores: simples e complexo. No primeiro caso, a classificação dos genótipos entre ambientes não é afetada significativamente, indicando a presença de genótipos adaptados a uma ampla faixa de ambientes, generalizando, assim, a recomendação do genótipo. Por outro lado, na interação do tipo complexa, a classificação dos genótipos entre os ambientes é alterada de maneira significativa, sugerindo presença de genótipos adaptados a ambientes particulares, o que traz uma complicação para o melhorista, dificultando a seleção e recomendação desses materiais (Ramalho et al., 1993; Pinto, 2009).

Para amenizar o efeito da interação G x A e seu impacto sobre o processo de seleção e consequente recomendação de genótipos, deve-se implementar experimentos em um maior número de locais e anos agrícolas possíveis. Diante disso, o entendimento dos efeitos da interação G x A mostra-se de grande importância em programas de melhoramento, porém informações com maior precisão a respeito do desempenho de cada genótipo, mediante as variações do meio, não são averiguadas por esse fenômeno. Visando ao detalhamento dessas informações, estudos de adaptabilidade e estabilidade são mais indicados, o que torna possível identificar cultivares a partir da previsibilidade de resposta às variações específicas ou amplas do ambiente (Cruz et al., 2012).

É possível observar, na literatura, diferentes definições sobre os termos adaptabilidade e estabilidade, porém, apesar de estarem relacionados entre si, tais fenômenos não devem ser considerados iguais. Marioti et al. (1976) designaram adaptabilidade como a capacidade potencial dos genótipos de responderem, vantajosamente, ao estímulo ambiental. A estabilidade, por outro lado, seria a capacidade de um genótipo exibir um desempenho o mais constante possível, em função de variações na qualidade ambiental.

Verma et al. (1979) definem adaptabilidade como a capacidade dos genótipos apresentarem rendimentos elevados e constantes em ambientes desfavoráveis, mas com habilidade de responder à melhoria das condições ambientais. Já a estabilidade é a constância de desempenho nos ambientes, podendo ser, também, expressa como a menor variação média nos ambientes considerados, ou seja, é uma função da previsibilidade da resposta de um genótipo.

Alguns autores preferem utilizar o termo estabilidade para se referir à resposta de genótipos ao longo de diferentes anos, em um mesmo local (estabilidade temporal), sendo essa estabilidade a que mais interessa ao produtor (Vencovsky e Barriga, 1992).

Para Becker (1981), a estabilidade é caracterizada em dois tipos: estabilidade biológica ou homeostática e estabilidade agrônômica. A estabilidade, no sentido biológico, é aquela em que a cultivar mantém uma produtividade constante entre ambientes. A estabilidade agrônômica é aquela em que a cultivar produz bem em relação ao potencial produtivo dos ambientes testados.

Pesquisas com o capim-elefante, em que são feitos cortes sucessivos e avaliações periódicas de genótipos ao longo do tempo, vêm demonstrando que as variedades apresentam ampla estabilidade às condições ambientais e ao sistema de manejo empregado, determinantes para o desempenho produtivo da biomassa (Daher et al., 2003; Cunha et al., 2013). Essas avaliações da interação genótipo x ano são de extrema importância, pois fornecem informações sobre a previsibilidade do comportamento dos genótipos frente aos fatores ambientais no tempo.

Existem vários métodos de determinação da adaptabilidade e estabilidade, diferindo quanto aos conceitos e procedimentos matemáticos para o desdobramento da interação G x A. Segundo Cruz et al. (2012), alguns métodos podem ser utilizados em conjunto, uma vez que uns são considerados alternativos e outros complementares. O mais importante é que os métodos tenham alto grau

de concordância em relação aos parâmetros de estabilidade e adaptabilidade. Nesse caso, a escolha do método deve incidir naquele de simples execução e fácil interpretação.

Dentre os métodos propostos para estudo e quantificação da interação G x A, destacam-se os procedimentos fundamentados em análise de variância (Yates e Cochran, 1938; Plaisted e Peterson, 1959; Wricke, 1965; Annicchiarico, 1992), regressão linear simples (Theil, 1950; Finlay e Wilkinson, 1963; Eberhart e Russel, 1966; Tai, 1971), regressão linear múltipla (Cruz, et al., 1989), métodos não paramétricos (Lin e Binns, 1988; Huenh, 1990; Kang e Phan, 1991) e análise multivariada, como o AMMI, do inglês *additive main effects and multiplicative interaction analysis* (Zobel et al., 1988, ampliada por Gauch e Zobel, 1996).

No presente trabalho, foram utilizados os métodos baseados em equações de regressão linear simples e bissegmentada, destacando que a regressão é um dos procedimentos mais utilizados no estudo da estabilidade. Nesse caso, as médias, coeficiente de regressão e desvio em relação à reta ajustada são utilizados como estimativas da adaptabilidade e estabilidade do material genético estudado (Cruz et al., 2012).

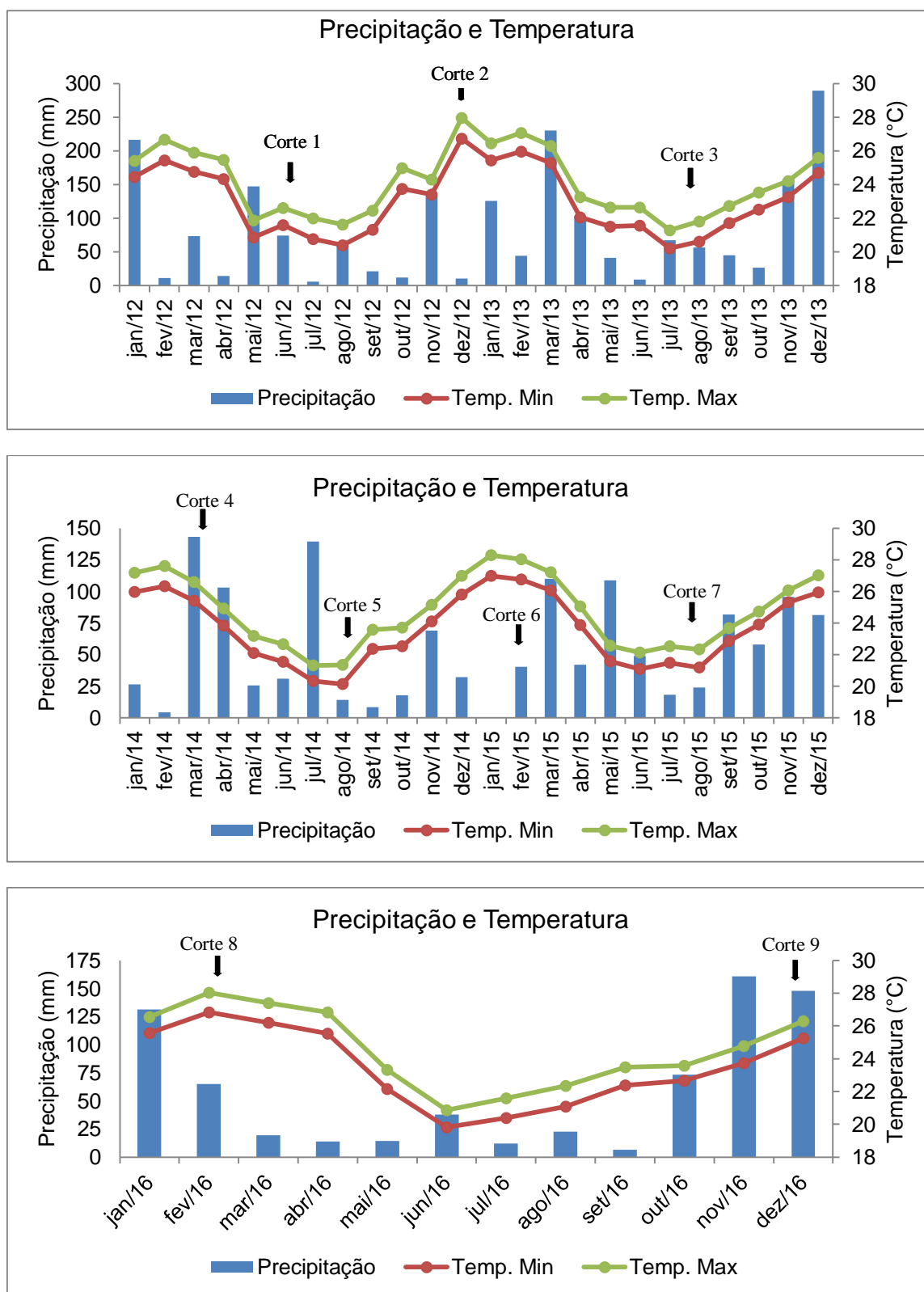
## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi instalado na área do Centro Estadual de Pesquisas em Agroenergia e Aproveitamento de Resíduos, em Campos dos Goytacazes, com a Universidade Estadual do Norte Fluminense - UENF, na Região Norte Fluminense, localizado a 21°44'47" de latitude sul e 41°18'24" de longitude oeste, com altitude de 11m.

O clima da Região Norte Fluminense é do tipo Aw, tropical quente e úmido, com período seco no inverno e chuvoso no verão (Köppen, 1948). Na Figura 1, estão apresentados os valores mensais de precipitação pluvial e temperaturas máximas e mínimas mensais referentes ao período de avaliação do experimento (jan/2012 a dez/2016). Durante esse período, foi verificada uma precipitação média anual de 801,22 mm, valor inferior ao esperado para o município de Campos dos Goytacazes. De acordo com Mendonça et al. (2007), a precipitação anual da Região Norte Fluminense é em torno de 1.023 mm. Em relação à temperatura, os valores estão na faixa de 19 a 28,5 °C.

O solo da área experimental é caracterizado como Argissolo distrófico (Embrapa, 2006) e apresentou, na camada de 0-20 cm de profundidade, as seguintes características: pH 5,5; P ( $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ) 18; K ( $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ) 83; Ca ( $\text{cmolc}\cdot\text{dm}^{-3}$ ) 4,6; Mg ( $\text{cmolc}\cdot\text{dm}^{-3}$ ) 3,0; Al ( $\text{cmolc}\cdot\text{dm}^{-3}$ ) 0,1; H + Al ( $\text{cmolc}\cdot\text{dm}^{-3}$ ) 4,5 e C (%) 1,6.



**Figura 1.** Precipitações pluviométricas médias (mm) e temperaturas máximas e mínimas médias mensais (°C) dos anos 2012, 2013, 2014, 2015 e 2016 em Campos dos Goytacazes, RJ. Fonte: Estação Evapotranspirométrica – setor de Irrigação e Agrometeorologia da UENF/PESAGRO

#### **4.2. Delineamento experimental e genótipos avaliados**

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com duas repetições, cada unidade experimental foi constituída por um genótipo plantado em uma linha de 5,5m de comprimento com espaçamento de 2m entre linhas. A área útil compreendeu 1m linear ao centro da parcela. Os tratamentos consistiram em 73 genótipos de capim-elefante (Tabela 1), provenientes do Banco Ativo de Germoplasma de capim-elefante (BAG-CE) da Embrapa Gado de Leite, localizado em Coronel Pacheco- MG.

A instalação do Banco Ativo de Germoplasma de capim-elefante (BAG-CE) da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) ocorreu nos dias 23 e 24 de fevereiro de 2011, utilizando-se colmos inteiros distribuídos dois em cada sulco na forma de pé com ponta. Após a distribuição dos colmos nos sulcos, eles foram cortados em pedaços contendo duas ou três gemas.

A adubação de plantio foi definida com base nas análises de solo da área experimental e recomendações de adubação para o Estado do Rio de Janeiro propostas por Freire et al. (2013) e consistiu na distribuição de 60 g de super fosfato simples por sulco. Após 50 dias do plantio, complementou-se a adubação, disponibilizando 70 g de uréia e 40 g de cloreto de potássio por sulco e, em 15/12/2011, realizou-se o corte de uniformização, em que todas as plantas foram cortadas rente ao solo e, juntamente, efetuou-se o replantio das parcelas com falhas.

**Tabela 1.** Relação dos genótipos avaliados no Banco Ativo de Germoplasma de Capim Elefante (BAGCE-UENF), Campos dos Goytacazes, RJ, 2017.

<b>Nº</b>	<b>Genótipo</b>	<b>Nº</b>	<b>Genótipo</b>
1	Elefante Colômbia	38	P 241 Piracicaba
2	BAGCE 2	39	BAGCE 51
3	Três Rios	40	Elefante cachoeiro Itapemirim
4	Napier Volta Grande	41	Capim Cana D'África
5	Mercker Santa Rita	42	Gramafante
6	Pusa Napier Nº 2	43	Roxo
7	Gigante de Pinda	44	Guaçu/I.Z.2
8	Napier Goiano	45	Cuba-115
9	Mercker S. E. A	46	Cuba-116
10	Taiwan A-148	47	King Grass
11	Porto Rico 534-B	48	Roxo Botucatu
12	Taiwan A-25	49	Mineirão IPEACO
13	Albano	50	Vruckwona Africano
14	Pusa Gigante Napier	51	Cameroon
15	Elefante Híbrido 534-A	52	BAGCE 69
16	Costa Rica	53	Guaçu
17	Cubano Pinda	54	Napierzinho
18	Mercker Pinda	55	IJ 7125 cv EMPASC 308
19	Mercker Pinda México	56	IJ 7136 cv EMPASC 307
20	Mercker 86 México	57	IJ 7139
21	Napier S.E.A	58	Goiano
22	Taiwan A-143	59	CAC 262
23	Pusa Napier Nº 1	60	Ibitinema
24	Elefante de Pinda	61	Australiano
25	Mineiro	62	13 AD
26	Mole de Volta Grande	63	10 AD IRI
27	Porto Rico	64	07 AD IRI
28	Napier	65	Pasto Panamá
29	Mercker Comum	66	BAGCE 92
30	Teresópolis	67	05 AD IRI
31	Taiwan A-46	68	13 AD IRI
32	Duro de Volta Grande	69	03 AD IRI
33	Mercker Comum Pinda	70	02 AD IRI
34	Turrialba	71	08 AD IRI
35	Taiwan A-146	72	BAG 86
36	Taiwan A-121	73	BAG 87
37	Vruckwona		

### 4.3. Características avaliadas

As avaliações foram efetuadas em regime de cortes semestrais, sendo o primeiro corte realizado em 06/2012 e o segundo em 12/2012, conforme Oliveira (2013). O terceiro, o quarto, o quinto e o sexto cortes foram realizados por Rocha (2015) nas datas, 08/2013, 02/2014, 08/2014 e 02/2015 respectivamente, enquanto que o sétimo, o oitavo e o nono cortes foram efetuados, respectivamente, em 08/2015, 02/2016 e 12/2016. No decorrer do experimento, foram avaliadas as seguintes variáveis:

**a) Produtividade de matéria seca (PMS)** – em  $t \cdot ha^{-1} \cdot corte^{-1}$ : estimada pelo produto do peso da matéria verde das plantas integrais (kg), obtido em balança digital suspensa, provenientes de cada área útil ( $2m^2$ ), pela percentagem de matéria seca (%MS), obtida da amostragem dessas plantas, estimadas conforme as expressões a seguir:

$$PMS = PMV \cdot \%MS$$

Sendo:

$$PMV = 5 \cdot MVP$$

$$\%MS = ASApróp \cdot ASEprop \cdot 100$$

$$ASApróp = \frac{ASA (g)}{MVA (g)}$$

$$ASEprop = \frac{ASE (g)}{ASA (g)}$$

Em que:

PMV: produtividade média semestral de matéria verde, em  $t \cdot ha^{-1}$ ;

%MS: percentagem de matéria seca;

MVP: matéria verde da parcela, em kg;

ASApróp: amostra seca ao ar, em proporção;



MVA: matéria verde da amostra de três perfilhos da parcela, em gramas;  
 ASEprop: amostra seca em estufa, em proporção.

**b) Número de perfilhos por metro linear (NP)** - obtido pela contagem do número de perfilhos com altura superior a 70 cm contidos na área útil de cada unidade experimental.

**c) Altura média das plantas (ALT)** - expressa em m, obtida utilizando-se régua graduada em cm, medindo do solo até a curvatura da última folha completamente expandida.

**d) Diâmetro médio do colmo (DC)** - expresso em mm, utilizando-se um paquímetro digital, foram mensurados a 10 cm do nível do solo os diâmetros do colmo de três plantas ao acaso dentro de cada parcela, momentos antes do corte de avaliação.

**e) Largura de lâmina foliar (LL)** - expresso em mm, foi obtida com o auxílio de régua graduada, em três amostras de cada genótipo, sendo medida na 3ª folha inteira do meristema apical do caule para o meristema basal da raiz.

#### 4.4. Análises genético-estatísticas

##### Análise de variância individual e conjunta

Para análise estatística dos dados, inicialmente, realizou-se uma análise de variância individual (ANOVA) e teste F para cada corte semestral, considerando-se todos os 73 genótipos. Essas análises destinaram-se à verificação da existência de variabilidade genética entre os tratamentos (genótipos), à obtenção das estimativas dos erros experimentais, visando testar a homogeneidade de variâncias e a precisão dos experimentos. Foi utilizado o esquema de blocos ao acaso com todos os efeitos aleatórios (modelo aleatório), de acordo com o seguinte modelo:

$$y_{ij} = m + G_i + B_j + \varepsilon_{ij}$$

Em que:

$y_{ij}$  é o valor observado do  $i$ -ésimo genótipo no  $j$ -ésimo bloco;

$m$ : constante geral;

$G_i$  é o efeito fixo do  $i$ -ésimo genótipo;

$B_j$ : é o efeito aleatório do  $j$ -ésimo bloco; e

$\varepsilon_{ij}$  é o erro experimental.

Para a realização da análise de variância conjunta, envolvendo os nove cortes (ambientes), foi realizado o teste de homogeneidade das variâncias residuais por meio da razão entre o maior e o menor quadrado médio de resíduo (QMR), obtidos das análises de variância individual, considerando o valor sete como limite para atender a essa pressuposição, conforme descrito por Pimentel-Gomes e Garcia (2002). Observou-se homogeneidade das variâncias, possibilitando a realização da análise conjunta, considerando-se o modelo estatístico de parcelas subdivididas, de acordo com Steel e Torrie (1996):

$$y_{IJK} = m + G_i + B_j + \varepsilon_a + C_k + \varepsilon_b + GC_{ik} + \varepsilon_c$$

Em que:

$y_{IJK}$ : valor observado relativo ao  $i$ -ésimo genótipo no  $j$ -ésimo bloco, no  $k$ -ésimo corte;

$m$ : constante geral do ensaio;

$G_i$ : efeito fixo do  $i$ -ésimo genótipo;

$B_j$ : efeito do  $j$ -ésimo bloco;

$\varepsilon_a$ : efeito do erro a associado ao  $i$ -ésimo genótipo no  $j$ -ésimo bloco;

$C_k$ : efeito fixo do  $k$ -ésimo corte;

$\varepsilon_b$ : efeito do erro b associado ao  $j$ -ésimo bloco no  $k$ -ésimo corte;

$GC_{ik}$ : efeito da interação do  $i$ -ésimo genótipo com o  $k$ -ésimo corte; e

$\varepsilon_c$ : efeito do erro c associado ao  $i$ -ésimo genótipo no  $j$ -ésimo bloco, no  $k$ -ésimo corte.

#### 4.4.2. Estimativas de repetibilidade

O coeficiente de repetibilidade ( $r$ ) foi estimado por quatro procedimentos estatísticos de forma a se poder avaliar a consistência da estimativa, possibilitando

conclusões mais confiáveis sobre os caracteres estudados. Os estimadores dos coeficientes de repetibilidade foram obtidos por meio de: método da análise de variância, método dos componentes principais (baseado na matriz de covariância e na de correlações) e da análise estrutural (baseado na matriz de correlação), conforme descrito por Cruz et al. (2012).

#### 4.4.2.1. Método da análise de variância

Para a estimativa do coeficiente de repetibilidade pelo método da análise de variância (ANOVA), utilizou-se o modelo estatístico com dois fatores de variação:

$$y_{ij} = m + g_i + a_j + \epsilon_{ij}$$

Em que:

$m$ : constante geral;

$g_i$ : efeito aleatório do  $i$ -ésimo genótipo sob a influência do ambiente permanente;

$a_j$ : efeito fixo do ambiente temporário na  $j$ -ésima medição; e

$\epsilon_{ij}$ : erro experimental dos efeitos do ambiente temporário associado à  $j$ -ésima medição no  $i$ -ésimo genótipo.

Assim, o coeficiente de repetibilidade é obtido por:

$$r = \frac{C\hat{o}v(Y_{ij}, Y_{ij'})}{\sqrt{\hat{V}(Y_{ij})\hat{V}(Y_{ij'})}} = \frac{\hat{\sigma}_g^2}{\hat{\sigma}_Y^2} = \frac{\hat{\sigma}_g^2}{\hat{\sigma}^2 + \hat{\sigma}_g^2}$$

Em que:

$\hat{\sigma}_g^2$ : componente da variância genotípica associado aos efeitos ambientais permanentes; e

$\hat{\sigma}^2$ : componente da variância ambiental.

#### 4.4.2.2. Método dos componentes principais

Pelo método de análise de componentes principais, estimou-se o coeficiente de repetibilidade com base na matriz de correlações fenotípicas e na matriz de variâncias e covariâncias fenotípicas.

O método baseado na matriz de correlações foi proposto por Abeywardena (1972) e fundamenta-se na obtenção de uma matriz de correlações entre os genótipos em cada par de medições. Nessa matriz, determinam-se os autovalores ( $\lambda$ ) e os autovetores ( $\alpha$ ) normalizados. Entre os autovetores estimados, identifica-se aquele que possui elementos com mesmo sinal e magnitudes semelhantes, pois é aquele que melhor expressa a tendência dos genótipos em manter suas posições relativas nos vários períodos de tempo. Com base nisso, o coeficiente de repetibilidade foi estimado por (Rutledge, 1974):

$$r = \frac{\hat{\lambda}_1 - 1}{\eta - 1}$$

Em que:

$\hat{\lambda}_1$ : autovalor obtido na matriz de correlações fenotípicas associado ao autovetor, cujos elementos têm o mesmo sinal e magnitudes semelhantes; e

$\eta$ : número de medições.

Quando baseado na matriz de variâncias e covariâncias, o coeficiente de repetibilidade foi estimado por:

$$r = \frac{\hat{\lambda}_1 - \hat{\sigma}_Y^2}{\hat{\sigma}_Y^2(\eta - 1)}$$

Em que:

$\hat{\lambda}_1$ : autovalor da matriz de variâncias e covariâncias fenotípicas associado ao autovetor cujos elementos têm o mesmo sinal e magnitudes semelhantes;

$\hat{\sigma}_Y^2$ : variância da variável Y; e

$\eta$ : é o número de medidas.

#### 4.4.2.3. Método da análise estrutural

O método da análise estrutural para obtenção do coeficiente de repetibilidade proposto por Mansour et al. (1981) baseou-se, apenas, na matriz de correlações. Esse método apresenta, apenas, diferenças conceituais em relação ao método dos componentes principais. Assim, o estimador do coeficiente de repetibilidade foi determinado por:

$$r = \frac{\hat{\alpha}' \hat{R} \hat{\alpha} - 1}{\eta - 1}$$

Em que:

$\hat{\alpha}'$ : autovetor com elementos paramétricos associados ao maior autovalor de R;

R: matriz paramétrica de correlação entre genótipos em cada par de avaliações;

$\hat{R}$ : estimador da matriz R; e

$\eta$ : número de medidas.

#### 4.4.3. Número mínimo de medições

Após a obtenção do coeficiente de repetibilidade, estimou-se o número mínimo de medições necessárias para predizer o valor real dos indivíduos, com base em um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) preestabelecido (0,80, 0,85, 0,90, 0,95 e 0,99). A predição desse valor foi realizada com base na seguinte expressão:

$$\eta_0 = \frac{R^2(1 - r)}{(1 - R^2)r}$$

Em que:

$\eta_0$ : número de medições para predição do valor real;

$R^2$ : coeficiente de determinação; e

$r$ : coeficiente de repetibilidade obtido de acordo com uma das diferentes metodologias utilizadas.

#### 4.4.4. Coeficiente de determinação

Para cada característica, com base na média das  $\eta$  medições e na estimação dos coeficientes de repetibilidade obtidos pelos métodos utilizados, foi calculado o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) por meio da seguinte expressão:

$$R^2 = \frac{\eta r}{1 + r(\eta - 1)}$$

#### **4.4.5. Análise de estabilidade fenotípica**

Para determinação da estabilidade fenotípica, foram empregadas as seguintes metodologias baseadas em regressão: método proposto por Eberhart e Russel (1966) e método proposto por Cruz et al. (1989). Considerou-se cada corte como um “ambiente”, uma vez que cada corte realizado apresentava condições não controladas de clima. Para isso, utilizou-se, apenas, a variável produtividade de matéria seca ( $t \cdot ha^{-1} \cdot corte^{-1}$ ).

##### **4.4.5.1. Decomposição da interação em parte complexa**

Uma vez detectada a ocorrência da interação G x A (teste F significativo), realizou-se a decomposição da interação em partes simples e complexa. A decomposição da interação em parte complexa foi realizada, segundo Cruz e Castoldi (1991), pela seguinte expressão:

$$C = \sqrt{(1 - r)^2} \sqrt{Q_1 Q_2}$$

Em que:

$Q_1$  e  $Q_2$  os quadrados médios de genótipos nos pares de ambientes; e

$r$ : a correlação entre as médias de genótipos nos dois ambientes.

##### **4.4.5.2. Método proposto por Eberhart e Russell (1966)**

Essa metodologia baseia-se na análise de regressão linear simples, que mede a resposta de cada genótipo às variações ambientais. Esse método tem, como parâmetro de adaptabilidade, a produtividade média de cada genótipo ( $\beta_{0i}$ ) e o coeficiente de regressão linear ( $\beta_{1i}$ ), utilizados como padrão de resposta do genótipo aos diferentes ambientes. A estabilidade é avaliada pela variância dos desvios de regressão ( $\sigma_{di}^2$ ) e/ou pelo coeficiente de determinação ( $R^2$ ). O modelo que expressa o método está representado pela seguinte equação:

$$Y_{ij} = \beta_{0i} + \beta_{1i}I_j + \delta_{ij} + \bar{\epsilon}_{ij}$$

Em que:

$Y_{ij}$ : média do i-ésimo genótipo, no j-ésimo ambiente;

$\beta_{0i}$ : média geral do i-ésimo genótipo;

$\beta_{1i}$ : coeficiente de regressão linear, que mede a resposta do i-ésimo genótipo à variação do ambiente;

$I_j$ : índice ambiental codificado ( $\sum I_j = 0$ ) sendo  $I_j = \bar{Y}_{.j} - \bar{Y}_{..}$ ;

$\delta_{ij}$ : desvio da regressão do i-ésimo genótipo no j-ésimo ambiente; e

$\bar{\epsilon}_{ij}$ : erro experimental médio associado à observação  $Y_{ij}$ .

O parâmetro de adaptabilidade ( $\beta_{1i}$ ) foi estimado de acordo com a seguinte expressão:

$$\hat{\beta}_{1i} = \frac{\sum_j Y_{ij} I_j}{\sum_i I_j^2}$$

Em que:

$Y_{ij}$ : média do i-ésimo genótipo no j-ésimo ambiente;

$I_j$ : índice ambiental, onde:

$$I_j = \left[ \left( \frac{Y_j}{p} \right) - \left( \frac{Y_{..}}{pn} \right) \right]$$

Em que:

$Y_j$ : média de todos os genótipos no j-ésimo ambiente;

$Y_{..}$ : média geral;  
 $n$ : número de genótipos;  
 $p$ : número de ambientes.

As estimativas  $\hat{\beta}_{1i}$  foram testadas segundo a hipótese  $H_0: \beta_{1i} = 1$ , sendo a hipótese alternativa  $H_1: \beta_{1i} \neq 1$ . Essas hipóteses foram testadas pela estatística  $t$ , conforme a expressão a seguir:

$$t = \frac{\hat{\beta}_{1i} - 1}{\sqrt{\hat{V}(\hat{\beta}_{1i})}}$$

Segundo Eberhart e Russel (1966), os genótipos podem ser classificados quanto à adaptabilidade em três grupos:

- a) Adaptabilidade geral ou ampla com  $\hat{\beta}_{1i} = 1$  que apresenta média acima da média geral é o tipo desejável em ambientes com muitas variações imprevisíveis;
- b) Adaptabilidade específica a ambientes favoráveis com  $\hat{\beta}_{1i} > 1$  que agrupa os genótipos com alto desempenho em ambientes favoráveis; e
- c) Adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis  $\hat{\beta}_{1i} < 1$  que reúne os genótipos que se destacam em ambientes desfavoráveis.

O parâmetro estabilidade ( $\sigma_{di}^2$ ) foi determinado de acordo com a seguinte expressão:

$$\sigma_{di}^2 = \frac{\sum \delta_{ij}^2}{(a - 2)} = QMD_i - QMR/r$$

Em que:

$QMD_i$ : é o quadrado médio dos desvios de regressão do  $i$ -ésimo genótipo;  
 $QMR$ : é o quadrado médio do resíduo; e  
 $r$ : número de repetições.

As estimativas para  $\sigma_{di}^2$  foram testadas segundo a hipótese  $H_0: \sigma_{di}^2 = 0$  e  $H_1: \sigma_{di}^2 \neq 0$ , utilizando-se o teste F de acordo com a seguinte expressão:



$$F = QMD_i / QMR$$

Como medida auxiliar de comparação entre genótipos, foi utilizado o coeficiente de determinação  $R^2$  (Cruz *et al.*, 2012), obtido de acordo com a seguinte expressão:

$$R^2_i = [(SQRLinear)_i / (SQ(A/G_i))] \times 100$$

Onde:

$(SQRLinear)_i$  : a soma de quadrados da regressão linear do  $i$ -ésimo genótipo; e

$SQ(A/G_i)$ : a soma de quadrados de ambientes dentro do  $i$ -ésimo genótipo.

Para os autores citados, os genótipos podem ser classificados quanto à estabilidade em: alta estabilidade ( $\sigma_{di}^2 = 0$ ) e baixa estabilidade ( $\sigma_{di}^2 \neq 0$ ). Dentro dessa concepção, o genótipo ideal apresenta média elevada para o caráter em estudo ( $\beta_{oi}$ ), ampla adaptabilidade ( $\hat{\beta}_{1i} = 1$ ) e alta estabilidade ( $\sigma_{di}^2 = 0$ ).

#### 4.4.5.3. Método proposto por Cruz *et al.* (1989)

O método de Cruz *et al.* (1989), assim como o de Eberhart e Russell (1966), baseia-se na análise de regressão linear. No entanto, utiliza um modelo linear bissegmentado. Esse método considera, como parâmetros de adaptabilidade, a média ( $\beta_{oi}$ ) e a resposta linear aos ambientes favoráveis ( $\beta_{1i} + \beta_{2i}$ ) e desfavoráveis ( $\beta_{1i}$ ). A estabilidade dos genótipos é avaliada pelo desvio de regressão de cada genótipo em função das variações ambientais ( $\delta_{ij}$ ) e/ou pelo coeficiente de determinação ( $R^2$ ). O modelo segue a seguinte equação:

$$Y_{ij} = \beta_{oi} + \beta_{1i}I_j + \beta_{2i}T(I_j) + \delta_{ij} + e_{ij}$$

Em que:

$Y_{ij}$ : média do  $i$ -ésimo genótipo no  $j$ -ésimo ambiente;

$\beta_{0i}$ : média geral do i-ésimo genótipo;

$\beta_{1i}$ : coeficiente de regressão linear;

$I_j$ : índice ambiental codificado ( $\sum_j^i = 0$ ) sendo  $I_j = \bar{Y}_{.j} - \bar{Y}_{..}$ ;

$T(I_j) = 0$  se  $I_j < 0$ ; e

$T(I_j) = I_j - \bar{I}_+$  se  $I_j > 0$ , sendo  $\bar{I}_+$  a média dos índices  $I_j$  positivos.

Também nessa metodologia, o índice ambiental é calculado conforme descrito por Eberhart e Russel (1966). São utilizadas as seguintes medidas para avaliação da adaptabilidade e estabilidade:

$\beta_{0i}$ : média geral do i-ésimo genótipo;

$\beta_{1i}$ : resposta do i-ésimo genótipo à melhoria nos ambientes desfavoráveis;

$\beta_{1i} + \beta_{2i}$ : resposta do i-ésimo genótipo à melhoria nos ambientes favoráveis;

e

$\delta_{ij}$ : medida da estabilidade ou previsibilidade do i-ésimo genótipo, baseada no modelo linear bissegmentado; e

As estimativas para  $(\beta_{1i})$  e  $(\beta_{1i} + \beta_{2i})$  foram testadas segundo a hipótese  $H_0$ :  $(\beta_{1i}), (\beta_{1i} + \beta_{2i}) = 1$  e  $(\delta_{ij}) = 0$ , sendo a hipótese alternativa  $H_1$ :  $(\beta_{1i}), (\beta_{1i} + \beta_{2i}) \neq 1$  e  $(\delta_{ij}) \neq 0$ , utilizando-se a estatística t.

Para Cruz *et al.* (1989), o genótipo preconizado como ideal teria média alta,  $\beta_{1i} < 1$ ,  $\beta_{1i} + \beta_{2i} > 1$  e  $\delta_{ij} = 0$ .

Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando-se os recursos computacionais do Programa Genes (Cruz, 2013).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Repetibilidade de características morfoagronômicas e número mínimo de cortes para seleção de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) para fins energéticos

As estimativas e as significâncias dos quadrados médios da análise de variância conjunta, assim como as médias e coeficientes de variação experimental (CV%) e os valores da razão entre o maior e menor quadrado médio do resíduo ( $QMR^+/QMR^-$ ) para seis características morfoagronômicas de 73 genótipos de capim-elefante, avaliados em nove cortes semestrais, encontram-se na Tabela 2. Nota-se que os valores para  $QMR^+/QMR^-$  dos cortes, para cada característica estudada, não ultrapassaram a proporção 7:1, o que indica relativa homogeneidade das variâncias residuais (Pimentel-Gomes e Garcia, 2002) e possibilitou a utilização de todos os cortes na análise de variância conjunta.

Observa-se que os efeitos de genótipos, cortes e interação genótipos x cortes foram significativos ( $P < 0,01$ ) para todas as características estudadas. Dessa forma, a significância encontrada para a fonte de variação genótipos evidencia a existência de variabilidade genética, o que possibilita a identificação de indivíduos promissores, os quais podem ser utilizados em programas de melhoramento. Por outro lado, a interação significativa indica que os genótipos não apresentaram respostas similares nos diferentes cortes. Esse resultado pode ser explicado pelo fato de que as avaliações foram realizadas por um longo período, estando, assim,

os genótipos expostos às variações edafoclimáticas por mais tempo, especialmente a precipitação, bastante irregular.

**Tabela 2.** Análise de variância conjunta e significâncias para os quadrados médios para seis características avaliadas, médias e coeficientes de variação experimental, em 73 genótipos de capim-elefante para fins energéticos. Campos dos Goytacazes, RJ, 2017.

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>PMS</b>	<b>NP</b>	<b>ALT</b>	<b>DC</b>	<b>LL</b>
Blocos	1	263,45	6,44	1,40	54,75	46,31
Genótipos	72	183,03**	2197,12**	0,47**	30,36**	387,00**
Erro A	72	56,19	184,39	0,09	2,75	28,01
Cortes (C)	8	3868,06**	4669,41**	48,22**	374,98**	5863,32**
Erro B	8	77,15	622,25	0,79	17,02	318,43
G x C	576	48,74**	184,65**	0,09**	4,33**	23,57**
Erro C	576	34,67	136,94	0,05	2,79	14,27
Média	-	17,56	42,76	2,55	13,79	33,43
CV(%)	-	33,53	27,36	8,65	12,12	11,29
QMR <sup>+</sup> /QMR <sup>-</sup>	-	6,53	2,34	3,08	3,25	4,31

\*\* significativos a 1% de probabilidade, pelo teste F. PMS: produtividade de matéria seca; NP: número de perfilhos; ALT: altura de plantas; DC: diâmetro de colmos; LL: largura de lâmina foliar.

O coeficiente de variação experimental (CV%) oscilou entre 8,66 e 33,53% para altura de plantas e produtividade de matéria seca respectivamente, concordando com 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).

As estimativas dos coeficientes de repetibilidade ( $r$ ) e de determinação ( $R^2$ ), obtidas pelos diferentes procedimentos estatísticos, para as cinco características avaliadas, encontram-se na Tabela 3. De modo geral, observou-se que os valores das estimativas dos coeficientes de repetibilidade variaram entre 0,2344 para produtividade de matéria seca (PMS) via análise de variância e 0,6472 para largura de lâmina foliar (LL) via componentes principais baseados na matriz de covariâncias. Falconer (1981) e Cruz et al. (2012) afirmam que o coeficiente de repetibilidade varia de acordo com as propriedades genéticas da população e as condições ambientais às quais os genótipos foram submetidos durante as avaliações. Além disso, os valores de  $R^2$  para todas as características, em todos os métodos testados, foram superiores a 75%, exceto para PMS via ANOVA, sendo esse valor considerado confiável por De Oliveira e Moura (2010).

**Tabela 3.** Estimativas dos coeficientes de repetibilidade e respectivos coeficientes de determinação para as cinco características avaliadas, em 73 genótipos de capim-elefante para fins energéticos, obtidas por diferentes metodologias de estimação. Campos dos Goytacazes, RJ, 2017.

Metodologias	Características									
	PMS		NP		ALT		DC		LL	
	<i>r</i>	R <sup>2</sup> (%)	<i>r</i>	R <sup>2</sup> (%)	<i>r</i>	R <sup>2</sup> (%)	<i>r</i>	R <sup>2</sup> (%)	<i>r</i>	R <sup>2</sup> (%)
Análise de Variância (ANOVA)	0,2344	73,37	0,5438	91,60	0,3114	80,28	0,4003	85,73	0,6315	93,91
Componentes Principais (covariância) (CPCOV)	0,3052	79,81	0,5918	92,88	0,437	87,48	0,4376	87,50	0,6472	94,29
Componentes Principais (correlações) (CPCOR)	0,2812	77,88	0,5506	91,68	0,3498	82,88	0,4257	86,96	0,6358	94,02
Análise Estrutural (Correlações) (AECOR)	0,2612	76,08	0,5477	91,47	0,3163	80,63	0,4107	85,73	0,6342	93,98

PMS: produtividade de matéria seca; NP: número de perfilhos; ALT: altura de plantas; DC: diâmetro de colmo; LL: largura de lâmina foliar.

Considerando a produtividade de matéria seca (PMS), característica de maior importância do ponto de vista da seleção, as estimativas de repetibilidade oscilaram de 0,2344 a 0,3052, para os métodos da análise variância e componentes principais baseados na matriz de covariâncias, respectivamente (Tabela 3). Esses resultados demonstram a irregularidade na repetição do desempenho dos genótipos ao longo dos sucessivos cortes, havendo necessidade de mais avaliações para aumentar o nível de precisão. Resende (2002), baseando-se em duas medições, classificou como baixas as estimativas de repetibilidade com valores iguais ou inferiores a 0,30. Assim sendo, essa baixa magnitude de repetibilidade para PMS pode ser explicada pela influência de inúmeros fatores, tais como as condições climáticas predominantes durante a avaliação do experimento, ressaltando a precipitação irregular (Figura 1). Além disso, vale enfatizar os erros aleatórios peculiares à quantificação dessa característica, visto que, para mensuração da mesma, compreende a relação de três variáveis: massa verde, massa seca ao ar e massa seca em estufa.

Daher et al. (2004), avaliando as mesmas características em genótipos de capim-elefante para forragem, após 12 cortes, obtiveram um coeficiente de repetibilidade de, aproximadamente, 0,3797. Souza Sobrinho et al. (2010), estimando a repetibilidade de caracteres agrônômicos para seleção de *Urochloa ruziziensis*, também encontraram estimativas de  $r$  para PMS com magnitudes similares às apresentadas neste trabalho. Por outro lado, Cavalcante et al. (2012), avaliando híbridos de capim-elefante, encontraram estimativas de repetibilidade de alta magnitude ( $r > 0,8$ ). Os autores relatam que essa superioridade é atribuída ao ajuste pela matriz de variância a que todas as variáveis foram submetidas, possibilitando maiores estimativas de repetibilidade.

Analisando o número de perfilhos por metro linear (NP), constatou-se uma baixa amplitude nas estimativas dos coeficientes de repetibilidade obtidos pelos diferentes métodos, sendo 0,5438 o menor valor de  $r$  estimado pelo método da ANOVA. Esses valores de  $r$  evidenciam que os indivíduos demonstraram uma resposta medianamente previsível ao longo dos cortes realizados, sendo a variação para esse caráter comum aos genótipos avaliados.

As estimativas de repetibilidade para altura de plantas (ALT) e diâmetro de colmo (DC) foram consideradas de média magnitude pelos quatro métodos empregados. Quanto à predição do valor real, expressa pelo coeficiente de

determinação, observaram-se valores acima de 80% para ambas as características, denotando que, assim como NP, as medidas dos genótipos, nos diferentes cortes, apresentaram uma correlação mediana. A avaliação dessas duas características é de enorme importância para programas de melhoramento de forrageiras, visto que as mesmas se correlacionam, positivamente, com PMS (Menezes et al., 2014).

Quanto à característica largura de lâmina foliar (LL), verificou-se que, independente da metodologia utilizada, observaram-se estimativas de coeficiente de repetibilidade de alta magnitude ( $r > 0,6$ ) com valores de coeficiente de determinação acima de 90%, indicando que os genótipos foram altamente regulares na repetição das respostas de uma avaliação para outra, o que credencia LL como um caráter de elevada repetição no tempo. Esses resultados corroboram com os encontrados por Cavalcante et al. (2012), que obtiveram estimativas de repetibilidade de alta magnitude ( $r > 0,8$ ) para a mesma variável, independentes do método de estimação.

As estimativas dos coeficientes de repetibilidade obtidas pelas diferentes metodologias apresentaram boa concordância, mostrando consistência e confiabilidade dos resultados observados (Tabela 3). De maneira geral, está explícito que as estimativas do coeficiente de repetibilidade ( $r$ ), obtidas pelo método da Análise variância (ANOVA), foram inferiores às outras metodologias adotadas, independentemente da característica avaliada. Em contrapartida, as maiores estimativas de repetibilidade foram encontradas pelo método dos componentes principais, destacando-se o baseado na matriz de variâncias e covariâncias fenotípicas (CPCOV), o que resulta em menor número de avaliações para detectar os genótipos superiores de capim-elefante para fins energéticos (Tabela 4). Esse resultado, provavelmente, deu-se devido ao comportamento cíclico dos genótipos, em relação aos caracteres avaliados, observado de corte para outro (Cruz et al., 2012).

A inferioridade das estimativas de repetibilidade observada pelo método da ANOVA é explicada em virtude dessa metodologia não permitir isolar esse fator periodicidade e, ao incorporá-lo na estimativa, elevar o valor do erro experimental, subestimando, assim, a repetibilidade e, conseqüentemente, superestimando o número de medições exigidas (Vasconcellos et al., 1985; Negreiros et al., 2008). Nesse aspecto, o método dos componentes principais, por considerar o

comportamento cíclico, é mais recomendado para estimar a repetibilidade com maior precisão. A superioridade desse método também foi reportada em pesquisas com outras culturas perenes, como *Panicum maximum* (Martuscello et al., 2015; Lédo et al., 2008; Torres et al., 2016), goiaba (Bruna et al., 2012), laranja-doce (Negreiros et al., 2014), banana (Lessa et al., 2014), araçá e pitanga (Danner et al., 2014) e Uva (Cargnin, 2016).

Em cada ciclo de avaliação das culturas perenes, exige-se um grande consumo de tempo e recursos financeiros empregados para que os resultados obtidos sejam consistentes; sendo assim, é substancial estimar o número de avaliações necessárias para a seleção fidedigna dos genótipos promissores. Na Tabela 4, é apresentada a simulação do número de medições necessárias para a predição do valor real dos genótipos de capim-elefante, quanto aos cinco caracteres avaliados, ao se considerarem diferentes coeficientes de determinação e diferentes métodos de análise.

O número de cortes necessário para caracterizar a produtividade de matéria seca (PMS) com 80% de probabilidade do seu valor real foi de, no mínimo, nove pelo método dos componentes principais baseado na matriz de covariâncias e, no máximo, 14 pelo método da ANOVA. Para uma eficiência de 90% de discriminar o real valor dos genótipos, verificou-se que, no mínimo, 21 medições seriam necessárias pelo método CPCOV, o que significaria um acréscimo de 12 cortes em relação a 80% de certeza. Considerando que as avaliações em experimentos de capim-elefante para fins energéticos exigem maior intervalo de tempo (6-8 meses) para que haja incremento de fibras (lignina, celulose) (Queiroz Filho et al., 2000), seriam necessários cerca de dez anos e meio de avaliações semestrais para a seleção baseada nesse caráter, o que, na prática, torna-se inviável, visto que seria um processo oneroso e moroso.



**Tabela 4.** Estimativas do número de medições necessárias ( $n$ ), para cinco características, avaliadas em nove cortes semestrais, em 73 genótipos de capim-elefante para fins energéticos sob diferentes níveis de confiança ( $R^2$ ), por quatro métodos de estimação. Campos dos Goytacazes, 2017.

Metodologias	$R^2(\%)$	Características				
		PMS	NP	ALT	DC	LL
Análise de Variância (ANOVA)	80	14	4	9	6	3
	85	19	5	13	9	4
	90	30	8	20	14	6
	95	62	16	42	29	12
	99	324	82	219	149	58
Componentes Principais (covariância) (CPCOV)	80	9	3	6	6	3
	85	13	4	8	8	4
	90	21	7	12	12	5
	95	44	14	25	25	11
	99	226	69	128	128	54
Componentes Principais (correlação) (CPCOR)	80	11	4	8	6	3
	85	15	5	11	8	4
	90	23	8	17	13	6
	95	49	16	36	26	11
	99	395	81	184	134	57
Análise Estrutural (correlação) (AECOR)	80	12	4	9	6	3
	85	16	5	13	9	4
	90	26	8	20	13	6
	95	54	16	41	28	11
	99	439	83	214	142	58

PMS: produtividade de matéria seca; NP: número de perfilhos; ALT: altura de plantas; DC: diâmetro de colmo; LL: largura de lâmina foliar.

Sendo a PMS o principal foco da seleção de genótipos superiores em capim-elefante, verificou-se que nenhuma das metodologias empregadas apresentou número viável de medições para valores acima de 90% de certeza, o que torna o trabalho de seleção extremamente difícil e, até mesmo, inviável. Diante disso, a definição do  $R^2$  ideal deve priorizar, além da confiabilidade mínima esperada dos dados, a disponibilidade de recursos e mão de obra para a realização da caracterização, sendo considerados confiáveis para este estudo dados com 80% de confiabilidade. Resende (2002) destaca que valores de coeficiente de determinação de 80% já podem ser considerados adequados.

Para todos os métodos de análise, verificou-se que o número de perfilhos (NP) e largura de lâmina foliar (LL) demandaram menor quantidade de medições do que as demais características, sendo que o número de cortes necessários para prever o verdadeiro valor dos indivíduos com 80% de confiabilidade foram de, no máximo, quatro e três para NP e LL, respectivamente, obtidos em comum pelos métodos da ANOVA, CPCOR e AECOR e, apenas, três avaliações para ambas as variáveis pelo método de componentes principais (baseado na matriz de covariância) (Tabela 4). De certa forma, esses resultados eram esperados, visto que esses dois caracteres apresentaram as maiores estimativas de coeficiente de repetibilidade (Tabela 3). Portanto, pode-se afirmar que, em programas de melhoramento genético de capim-elefante para fins bioenergéticos, essas características podem ser selecionadas mais precocemente com uma boa confiabilidade, o que acarretará economia de tempo e mão-obra.

Quanto à altura média das plantas (ALT), a realização de nove avaliações permitiu diferenciar os genótipos com 85% de certeza de estar avaliando o valor real de cada um deles quando consideradas as estimativas obtidas pelo método CPCOV. Em contrapartida, com esse mesmo número de medições, só é possível prever 80% do valor real dos indivíduos, fundamentando-se nas metodologias da ANOVA, CPCOR e AECOR. Tratando-se do diâmetro de colmo (DC), observou-se que, independentemente do método utilizado, seriam essenciais seis cortes para obtenção de 80% de certeza do valor genético verdadeiro dos genótipos. Ao aumentar a confiabilidade da seleção para 90%, nota-se que o número de medições necessárias praticamente dobra (Tabela 4).

Com relação à predição do valor genético alcançado com o número total de nove cortes efetivamente realizados na condução desse experimento, pode-se

afirmar que nenhuma das características atingiu valores de  $R^2 \geq 95\%$ . Somente os caracteres NP e LL alcançaram estimativas de  $R^2$  de 90% por todos os métodos utilizados, enquanto a ALT e DC atingiram 85% de confiabilidade, apenas, pelo método dos componentes principais baseado na matriz de covariância. Já PMS atingiu 80% pelo mesmo método citado. De forma geral, os nove cortes realizados puderam prever o valor real dos genótipos com 80% de confiabilidade, pelo método dos componentes principais, baseado na matriz de covariância.

Considera-se que, para o início de um programa de melhoramento genético visando à utilização de capim-elefante para fins energéticos, a seleção com base nessas cinco características é adequada. Assim sendo, maiores investimentos podem ser empregados em etapas mais avançadas do processo de melhoramento, quando o número de genótipos estará reduzido, como, por exemplo, avaliações mais detalhadas de características da qualidade da biomassa, ou, ainda, aumento na precisão experimental com o aumento no número de repetições.

## **5.2. Adaptabilidade e estabilidade da produção de biomassa energética via métodos de regressão em capim-elefante**

### **5.2.1. Análise de variância individual e conjunta**

Foram detectadas diferenças significativas ( $p < 0,01$ ) nos 3º, 5º e 8º cortes e ( $p < 0,05$ ) nos 1º, 2º, 4º, 6º, 7º e 9º cortes de avaliação entre os genótipos para o caráter produtividade de matéria seca (Tabela 5). Observou-se que a média de PMS variou de 10,83 a 25,58 t·ha<sup>-1</sup>·corte, nos 2º e 7º cortes, respectivamente.

Com relação aos coeficientes de variação (CV), constatou-se que, na maioria dos cortes realizados, o CV foi maior que 30%, exceto para os cortes 3 e 5, que apresentaram 24,98 e 28,97% respectivamente. Pode-se observar uma oscilação dos coeficientes de variação de 24,98 a 42,83% comprovando a influência de causas não controláveis sobre a produtividade de matéria seca, provavelmente em função dessa variável não apresentar herança simples sendo, portanto, bastante influenciada pelo ambiente (Tabela 5).

**Tabela 5.** Resumo da análise de variância individual referente à produtividade de matéria seca ( $t \cdot ha^{-1} \cdot corte$ ), avaliada em nove cortes semestrais em 73 genótipos de capim-elefante. Campos dos Goytacazes – RJ, 2017.

<b>Cortes</b>	<b>QMBloco</b>	<b>QMGenótipo</b>	<b>QMResíduo</b>	<b>CV(%)</b>	<b>Média</b>
1	152,87	105,73*	69,93	36,53	22,89
2	42,23	19,6*	11,83	31,78	10,83
3	247,83	42,91**	21,04	24,98	18,36
4	1,93	54,17*	35,49	35,35	16,85
5	0,05	55,5**	22,5	28,97	16,38
6	2,17	23,6*	14,82	32,37	11,90
7	220,30	127,78*	77,38	34,39	25,58
8	97,83	95,60**	51,90	32,66	22,06
9	112,61	47,89*	31,95	42,83	13,20
<b>G.L</b>	<b>1</b>	<b>72</b>	<b>72</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

\*\* e \* significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Conforme os valores dos quadrados médios do resíduo (QMR) obtidos nas análises de variância individuais referente à PMS (Tabela 6), observou-se que a relação entre o maior e o menor quadrado médio do resíduo foi igual a 6,54, indicando homogeneidade das variâncias, possibilitando a inclusão de todos os cortes na análise variância conjunta. Pimentel-Gomes; Garcia (2002) comentam o uso do teste F máximo, concluindo que, se a relação entre o maior e o menor quadrado médio residual for inferior a sete, a análise conjunta poderá ser feita sem maiores problemas. Porém, quando essa relação for maior que sete, convém considerar, separadamente, subgrupos de experimentos com quadrados médios residuais não heterogêneos.

A análise de variância conjunta evidenciou efeitos altamente significativos ( $p < 0,01$ ) para genótipos, cortes e interação genótipos x cortes sobre a produtividade de matéria seca (Tabela 6). Esse resultado evidencia a diferença de desempenho entre os genótipos de capim-elefante, indicando a existência de variabilidade na coleção de germoplasma de capim-elefante da UENF. Já o efeito significativo da interação genótipos x cortes demonstra a inconsistência das respostas dos genótipos influenciadas pelas variações ambientais. Nesse sentido, a identificação de genótipos cujo comportamento produtivo apresente superioridade em relação a outro e menor oscilação na produção de matéria seca nos cortes realizados ao longo dos anos assume grande importância.

**Tabela 6.** Resumo da análise de variância conjunta referente à característica produtividade de matéria seca ( $t \cdot ha^{-1} \cdot corte$ ) avaliada em nove cortes semestrais em 73 genótipos de capim-elefante. Campos dos Goytacazes – RJ, 2017.

FV	GL	Produtividade de matéria seca
		Quadrados Médios
Bloco	1	263,45
Genótipos (G)	72	183,04**
Erro A	72	56,19
Cortes (C)	8	3868,06**
Erro B	8	77,15
G x C	576	48,74**
Erro C	576	34,67
Média geral	17,56	
CV(%)	33,53	
QMr+/QMr-	6,54	

FV: fonte de variação; GL: grau de liberdade; CV: coeficiente de variação (%); \*\* significativos a 1% de probabilidade pelo teste F.

### 5.2.2. Estimativas das interações complexas

A análise da natureza da interação genótipos x cortes semestrais para produtividade de matéria seca (PMS) é apresentada na tabela 7. Observa-se que, das 36 comparações realizadas, entre os nove cortes, 34 foram do tipo complexa, ou seja, apresentaram estimativas acima de 50%. Além dessas, outras duas comparações (6 e 7; 6 e 8) apresentaram estimativas bem próximas de 50%. Esses resultados expõem a ausência de correlação das respostas dos genótipos frente às variações ambientais.

Araújo (2016), avaliando a interação genótipos x cortes anuais de 83 genótipos de capim-elefante, pelo período de quatro anos, nas condições edafoclimáticas do Norte Fluminense – RJ, observou que, assim como neste experimento, a natureza das interações que predominou foi a do tipo complexas.

**Tabela 7.** Estimativas das interações complexas (%C), em nove cortes semestrais, para produção de matéria seca (PMS), em 73 genótipos de capim-elefante. Campos dos Goytacazes – RJ, 2017.

<b>Cortes</b>	<b>Interações complexas (%C)</b>
1 x 2	57,66
1 x 3	84,94
1 x 4	84,49
1 x 5	90,46
1 x 6	64,27
1 x 7	98,42
1 x 8	92,93
1 x 9	84,24
2 x 3	78,69
2 x 4	81,17
2 x 5	70,82
2 x 6	88,40
2 x 7	66,09
2 x 8	72,78
2 x 9	85,96
3 x 4	80,96
3 x 5	70,09
3 x 6	80,35
3 x 7	61,27
3 x 8	77,29
3 x 9	82,09
4 x 5	62,58
4 x 6	71,79
4 x 7	73,82
4 x 8	72,08
4 x 9	91,30
5 x 6	62,48
5 x 7	64,94
5 x 8	80,07
5 x 9	89,05
6 x 7	49,57
6 x 8	46,17
6 x 9	78,75
7 x 8	76,36
7 x 9	73,96
8 x 9	87,25

Interações complexas revelam a inconsistência da superioridade dos genótipos nos ambientes avaliados, dificultando a seleção e/ou a recomendação destes (Cruz et al., 2012). Para atenuá-la, alguns procedimentos, como a identificação de genótipos específicos para cada ambiente, a realização de

estratificação ambiental e a identificação de genótipos com maior estabilidade fenotípica, podem ser adotados (Ramalho et al., 2012).

Nesse sentido, pode-se inferir que, no decorrer das avaliações, os genótipos foram fortemente influenciados, principalmente, por variações climáticas, destacando a irregularidade das chuvas ao longo dos anos de avaliações, promovendo mudanças no ranqueamento dos mesmos nos diferentes cortes. Diante disso, a análise da adaptabilidade e estabilidade fenotípica constitui-se uma ferramenta oportuna para a indicação dos genótipos superiores.

### 5.2.3. Método de Eberhart e Russell (1966)

Observaram-se diferenças significativas pelo teste F ( $p < 0,01$ ) para os efeitos de genótipos (G), cortes (C) e interação G x C. O efeito de cortes dentro de genótipos (C/G) e todos os efeitos advindos de sua decomposição também foram significativos. O desdobramento do somatório de quadrados de cortes dentro de genótipos mostrou que a variação, devido ao corte linear, foi de 52,43%, seguido do desvio combinado com 40% e da interação genótipo dentro de corte linear com 7,55%, tabela 8.

**Tabela 8.** Resumo da análise de variância conjunta geral segundo o método de Eberhart e Russell, referente à produtividade de matéria seca ( $t \cdot ha^{-1} \cdot corte$ ), de 73 genótipos de capim-elefante obtidos em nove cortes semestrais. Campos dos Goytacazes – RJ, 2017.

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>	<b>% da variação</b>
Corte (C)	8	3868,0627**	
Genótipo (G)	72	183,0395**	
G x C	576	48,7411**	
C/G	584	101,0606**	
C Linear	1	30944,5014**	52,43
G x C Linear	72	61,9633**	7,55
Desvio combinado (C/G)	511	46,2105**	40,00
Erro C	576	34,6731	

\*\* Significativo ( $p < 0,01$ ) pelo teste F.

A significância observada para o componente corte linear, que correspondeu a 52,43% do  $QM_{(C/G)}$ , indica que a produtividade de matéria seca dos genótipos variou frente às condições ambientais de forma linear. Por outro lado, a

significância da interação G x C linear evidencia existirem diferenças entre os coeficientes de regressão e que uma parte da interação G x C pode ser explicada pela relação linear entre os genótipos e os cortes. Já a significância do desvio combinado da regressão informa que os componentes lineares e não-lineares da estabilidade fenotípica se encontram envolvidos no desempenho dos genótipos nos cortes considerados (tabela 8).

O método de Eberhart e Russell (1966) utiliza regressão para média de cada genótipo em cada ambiente, em relação ao índice ambiental. Por esse método, uma inclinação da reta de regressão ( $\hat{\beta}_{1i}$ ) indica a adaptabilidade de um genótipo, e os desvios em torno da reta indicam estabilidade ( $\hat{\sigma}_{di}^2$ ). O coeficiente de determinação da regressão também está relacionado com a previsibilidade do desempenho do genótipo.

As estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade realizadas pelo método de regressão linear de Eberhart e Russell (1966) encontram-se na tabela 9. Verificou-se que a produtividade média de matéria seca ( $\beta_0$ ) variou de 10,76 t·ha<sup>-1</sup>·corte a 25,78 t·ha<sup>-1</sup>·corte, nos genótipos Roxo e King Grass, respectivamente, sendo que a média geral foi de 17,56 t·ha<sup>-1</sup>·corte. Dessa forma, constatou-se que, dos 73 genótipos avaliados, 39 apresentaram produtividade superior à média geral, sendo esses os de melhor adaptação (Vencovsky; Barriga, 1992), tais como: King Grass, Pasto Panamá, Gramafante, Taiwan A-46, Ausatraliano, Gigante de Pinda, Três Rios, entre outros.

Avaliando-se o parâmetro de adaptabilidade ( $\hat{\beta}_{1i}$ ), verificou-se que, desses 39 clones de melhor adaptação ( $\beta_{0i} >$  media geral), 31 exibiram coeficientes de regressão estatisticamente iguais a um ( $\hat{\beta}_{1i} = 1$ ), indicando que esses genótipos apresentaram adaptabilidade ampla ou geral nas diferentes condições ambientais encontradas ao longo dos cortes realizados. Esse resultado sugere que esses genótipos mantêm a produtividade em torno da média geral tanto em condições ambientais favoráveis, quanto em desfavoráveis. De modo geral, cerca de 81% dos genótipos avaliados foram considerados de ampla adaptabilidade ( $\hat{\beta}_{1i} = 1$ ).



**Tabela 9.** Médias gerais ( $\beta_{0i}$ ), estimativas dos coeficientes de regressão ( $\hat{\beta}_{1i}$ ), desvios de regressões ( $\hat{\sigma}_{di}^2$ ) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ), segundo o método de Eberhart e Russell (1966), referentes à produtividade de matéria seca (t·ha<sup>-1</sup>·corte) de 73 genótipos de capim-elefante sob regime de nove cortes semestrais. Campos dos Goytacazes, RJ, 2017.

Genótipos	$\beta_{0i}$	$\hat{\beta}_{1i}$	$\hat{\sigma}_{di}^2$	$R^2$
King Grass	25,78 a	1,87**	-12,10 <sup>ns</sup>	95,28
Pasto Panamá	23,32 a	1,87**	-3,42 <sup>ns</sup>	88,40
Gramafante	23,24 a	1,13 <sup>ns</sup>	-2,61 <sup>ns</sup>	72,29
Taiwan A-46	23,03 a	0,62 <sup>ns</sup>	2,21 <sup>ns</sup>	37,25
Australiano	22,61 a	1,24 <sup>ns</sup>	33,84**	47,62
Gigante de Pinda	21,54 a	0,98 <sup>ns</sup>	-3,40 <sup>ns</sup>	67,89
Três Rios	21,52 a	0,96 <sup>ns</sup>	-3,40 <sup>ns</sup>	66,77
Guaçu/I.Z.2	21,38 a	1,09 <sup>ns</sup>	-9,83 <sup>ns</sup>	82,94
Pusa Napier N° 1	21,14 a	1,88**	22,26*	72,92
Taiwan A-121	21,10 a	1,54 <sup>ns</sup>	5,75 <sup>ns</sup>	75,57
IJ 7125 cv EMP. 308	20,61 a	1,12 <sup>ns</sup>	-6,38 <sup>ns</sup>	77,51
Vruckwona africano	20,60 a	0,93 <sup>ns</sup>	4,99 <sup>ns</sup>	54,10
Duro de Volta Grande	20,49 a	1,20 <sup>ns</sup>	-11,79 <sup>ns</sup>	88,68
Mole de Volta Grande	20,32 a	0,71 <sup>ns</sup>	33,76**	22,80
03 AD IRI	20,30 a	1,14 <sup>ns</sup>	4,37 <sup>ns</sup>	64,48
Napierzinho	20,27 a	1,36 <sup>ns</sup>	-8,08 <sup>ns</sup>	85,73
Taiwan A-148	20,24 a	0,76 <sup>ns</sup>	16,9 <sup>ns</sup>	34,03
P 241 Piracicaba	19,63 a	0,96 <sup>ns</sup>	0,69 <sup>ns</sup>	60,68
Albano	19,40 a	1,68*	7,77 <sup>ns</sup>	77,22
Cubano Pinda	19,32 a	0,88 <sup>ns</sup>	27,05*	34,36
Cuba-115	19,26 a	1,56*	4,09 <sup>ns</sup>	77,42
Elefante da Colômbia	19,10 a	0,73 <sup>ns</sup>	17,52 <sup>ns</sup>	31,89
Pusa Gigante Napier	19,10 a	1,14 <sup>ns</sup>	31,06**	44,68
10 AD IRI	19,09 a	1,95**	40,89**	66,49
Guaçu	19,08 a	1,04 <sup>ns</sup>	27,74 <sup>ns</sup>	42,02
Taiwan A-25	19,06 a	1,58*	-4,07 <sup>ns</sup>	85,08
Mercker Santa Rita	18,96 a	1,04 <sup>ns</sup>	58,02**	30,21
Mineiro	18,96 a	0,59 <sup>ns</sup>	-9,07 <sup>ns</sup>	55,88
Porto Rico 534-B	18,92 a	0,53 <sup>ns</sup>	26,09*	16,26
Elefante C. Itapemirim	18,86 a	1,10 <sup>ns</sup>	25,13*	46,49
Mineirão IPEACO	18,75 a	0,90 <sup>ns</sup>	-13,18 <sup>ns</sup>	85,44
Vrukwna	18,68 a	1,25 <sup>ns</sup>	5,39 <sup>ns</sup>	67,54
IJ 7139	18,61 a	1,83**	39,42**	64,19
Ibitinema	18,41 a	0,91 <sup>ns</sup>	-4,50 <sup>ns</sup>	65,99
CAC 262	18,31 a	1,23 <sup>ns</sup>	-5,98 <sup>ns</sup>	80,13
Cuba-116	18,16 a	1,06 <sup>ns</sup>	11,26 <sup>ns</sup>	54,39
MerckerPinda México	18,05 a	0,87 <sup>ns</sup>	-2,63 <sup>ns</sup>	61,12
MerckerPinda	17,95 a	1,45 <sup>ns</sup>	7,40 <sup>ns</sup>	72,75
BAGCE 69	17,70 a	1,29 <sup>ns</sup>	8,23 <sup>ns</sup>	66,45
05 AD IRI	17,50 b	0,54 <sup>ns</sup>	7,19 <sup>ns</sup>	26,53
Cameroon	17,36 b	0,99 <sup>ns</sup>	12,79 <sup>ns</sup>	49,52

\*\* , \* , <sup>ns</sup>: significativo (p<0,01), significativo (p<0,05) e não significativo, respectivamente (1), (2): significância pelo teste t; significância pelo teste F, respectivamente.

Tabela 9. cont...

Genótipos	$\beta_{0i}$	$\hat{\beta}_{1i}$	$\hat{\sigma}_{di}^2$	R <sup>2</sup>
07 AD IRI	17,23 b	1,17 <sup>ns</sup>	-3,34 <sup>ns</sup>	74,81
02 AD IRI	16,74 b	1,12 <sup>ns</sup>	-2,28 <sup>ns</sup>	71,67
BAGCE2	16,74 b	1,23 <sup>ns</sup>	-7,09 <sup>ns</sup>	81,77
IJ7136 cv EMP. 307	16,46 b	0,75 <sup>ns</sup>	-3,28 <sup>ns</sup>	54,82
13 AD	16,20 b	0,80 <sup>ns</sup>	-1,10 <sup>ns</sup>	54,28
Napier Volta Grande	16,10 b	1,30 <sup>ns</sup>	107,07 <sup>**</sup>	29,28
BAGCE 92	15,99 b	0,82 <sup>ns</sup>	-9,72 <sup>ns</sup>	72,87
Mercker S. E. A	15,80 b	1,01 <sup>ns</sup>	1,41 <sup>ns</sup>	62,34
Mercker Comum	15,79 b	0,56 <sup>ns</sup>	-13,87 <sup>ns</sup>	73,30
Mercker 86 México	15,76 b	1,24 <sup>ns</sup>	11,86 <sup>ns</sup>	61,49
Costa Rica	15,71 b	0,80 <sup>ns</sup>	-1,38 <sup>ns</sup>	54,79
Teresopolis	15,57 b	0,63 <sup>ns</sup>	-13,62 <sup>ns</sup>	76,38
Taiwan A-143	15,50 b	1,13 <sup>ns</sup>	-7,11 <sup>ns</sup>	79,17
Turrialba	15,46 b	0,98 <sup>ns</sup>	1,76 <sup>ns</sup>	60,52
Napier S.E.A.	15,29 b	0,73 <sup>ns</sup>	13,89 <sup>ns</sup>	34,35
Elefante Híbrido 534-A	15,21 b	0,72 <sup>ns</sup>	1,29 <sup>ns</sup>	45,60
BAGCE 51	14,73 b	0,45 <sup>ns</sup>	-5,81 <sup>ns</sup>	35,14
BAG 87	14,44 b	0,43 <sup>*</sup>	2,14 <sup>ns</sup>	22,20
Roxo Botucatu	14,43 b	0,66 <sup>ns</sup>	-9,42 <sup>ns</sup>	62,59
Goiano	14,23 b	0,54 <sup>ns</sup>	-8,04 <sup>ns</sup>	48,65
Taiwan A-146	14,17 b	0,62 <sup>ns</sup>	30,36 <sup>**</sup>	19,65
BAG 86	13,98 b	0,66 <sup>ns</sup>	-2,91 <sup>ns</sup>	47,65
Capim Cana D'África	13,48 b	0,62 <sup>ns</sup>	-7,01 <sup>ns</sup>	53,22
Mercker Comum	13,37 b	0,93 <sup>ns</sup>	-8,63 <sup>ns</sup>	74,98
Napier Goiano	13,23 b	0,85 <sup>ns</sup>	7,82 <sup>ns</sup>	46,71
Pusa Napier N° 2	12,97 b	0,98 <sup>ns</sup>	-8,95 <sup>ns</sup>	77,48
Napier	12,73 b	0,55 <sup>ns</sup>	-3,85 <sup>ns</sup>	40,44
08 AD IRI	12,70 b	0,73 <sup>ns</sup>	-3,94 <sup>ns</sup>	54,57
Porto Rico	12,40 b	0,55 <sup>ns</sup>	-2,09 <sup>ns</sup>	37,51
13 AD IRI	11,92 b	1,03 <sup>ns</sup>	2,07 <sup>ns</sup>	62,40
Elefante de Pinda	11,02 b	0,59 <sup>ns</sup>	-6,13 <sup>ns</sup>	48,86
Roxo	10,76 b	0,27 <sup>*</sup>	-10,43 <sup>ns</sup>	24,42
Média	17,56			

<sup>\*\*</sup>, <sup>\*</sup>, ns: significativo ( $p < 0,01$ ), significativo ( $p < 0,05$ ) e não significativo, respectivamente <sup>(1)</sup>, <sup>(2)</sup>: significância pelo teste t; significância pelo teste F, respectivamente.

No entanto, os genótipos King Grass, Pasto Panamá, Pusa Napier N° 1, Albano, Cuba-115, 10 AD IRI, Taiwan A-25 e IJ 7139 exibiram  $\hat{\beta}_{1i}$  estatisticamente superior à unidade ( $\hat{\beta}_{1i} > 1$ ), demonstrando que esses genótipos possuem enorme capacidade de explorar, vantajosamente, a melhoria do ambiente, incrementando, assim, suas produtividades médias. Contudo, deve-se atentar que, em condições desfavoráveis, esses genótipos podem ter seus rendimentos reduzidos (Tabela 9). Contrapondo a esse resultado, os genótipos BAG 87 e Roxo apresentaram valor

de  $\hat{\beta}_{1i}$  significativamente inferior a um, portanto esses são considerados genótipos com adaptação a ambientes desfavoráveis e, conseqüentemente, apresentam baixa capacidade de responder à melhoria nas condições ambientais. No entanto, considerando que os genótipos selecionados serão explorados tanto em cortes realizados em condições ambientais favoráveis, quanto em desfavoráveis, não há interesse em recomendar genótipos que apresentem  $\hat{\beta}_{1i} > 1$  ou  $\hat{\beta}_{1i} < 1$ .

Com relação aos desvios de regressão ( $\hat{\sigma}_{di}^2$ ), parâmetro que classifica a estabilidade, notou-se que, de todos os genótipos avaliados, aproximadamente 84% apresentaram desvios não significativos ( $\hat{\sigma}_{di}^2 = 0$ ), demonstrando que a maioria dos genótipos possui alta estabilidade de desempenho, ou seja, não variaram sua produtividade média ao longo dos cortes realizados. Entretanto, os genótipos Australiano, Pusa Napier nº1, Mole de Volta Grande, Cubano Pinda, Pusa Napier, 10 AD IRI, Mercker Santa Rita, Napier Porto, Rico 534-B, Elefante Cach. Itapemirim, IJ 7139, Napier Volta Grande e Taiwan A-146 apresentaram desvio de regressão significativos ( $\hat{\sigma}_{di}^2 \neq 0$ ) e, portanto, apresentaram desempenho imprevisível ao longo dos cortes.

Quanto às estimativas dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), que é uma medida auxiliar de comparação entre genótipos e que reflete o grau de ajuste do modelo aos rendimentos observados para cada um dos genótipos avaliados, observa-se baixo número de genótipos com  $R^2 > 80\%$ , porcentagem essa que é considerada por Cruz et al. (2012) como referencial para que a regressão explique, de maneira satisfatória, o desempenho de um genótipo em função do ambiente. Portanto, a regressão pode não estar explicando, satisfatoriamente, a maioria das respostas dos genótipos nos cortes avaliados no presente estudo.

O genótipo ideal, segundo Eberhart e Russell (1966), é aquele que apresenta alta produtividade ( $\beta_{0i} >$  media geral), coeficiente de regressão igual à unidade ( $\hat{\beta}_{1i} = 1$ ) (adaptabilidade geral) e desvio de regressão igual a zero ( $\hat{\sigma}_{di}^2 = 0$ ) (estabilidade alta). Nesse sentido, pode-se observar que 24 apresentaram essas três características simultaneamente, destacando-se os genótipos: Gramafante, Taiwan A-46, Gigante de Pinda, Três Rios, Guaçu/I.Z.2, Taiwan A-121, IJ7125 cv EMP. 308, Vruckwona Africano, Duro de Volta Grande, 03 AD IRI, Napierzinho e Taiwan A-148.

Com base nos índices ambientais para a produtividade de matéria seca, apresentados na tabela 10, foi possível verificar que os cortes que resultaram em

média superior à média geral são classificados como favoráveis, índice positivo, enquanto aqueles com média inferior à média geral como desfavoráveis, índice negativo. A variação da produtividade observada entre os cortes evidencia a instabilidade nas condições climáticas, durante o período estudado, sendo cinco cortes classificados como desfavoráveis e quatro como favoráveis.

**Tabela 10.** Médias gerais e índices ambientais, segundo o método de Eberhart e Russell (1966), referentes à produtividade de matéria seca (PMS) de 73 genótipos de capim-elefante obtidos em nove cortes semestrais. Campos dos Goytacazes, RJ, 2017.

<b>Cortes</b>	<b>Média (t·ha<sup>-1</sup>·corte)</b>	<b>Índice Ambiental</b>	<b>Classificação</b>
1	22,89	5,33	Favorável
2	10,82	-6,73	Desfavorável
3	18,36	0,80	Favorável
4	16,85	-0,70	Desfavorável
5	16,37	-1,18	Desfavorável
6	11,89	-5,66	Desfavorável
7	25,57	8,01	Favorável
8	22,05	4,49	Favorável
9	13,19	-4,36	Desfavorável
Média		17,56	

Os genótipos avaliados nos cortes 1, 3, 7 e 8 apresentaram médias superiores à média geral, assim esses cortes foram classificados como favoráveis ao desenvolvimento dos genótipos, ou seja, os mesmos aproveitaram as condições ambientais e expressaram seus genes para produtividade de matéria seca, apresentando um desempenho médio satisfatório, fato esse confirmado pelos índices ambientais positivos.

Entretanto, os cortes 2, 4, 5, 6 e 9 foram considerados como ambientes desfavoráveis, visto que a média dos genótipos avaliados nesses cortes foi sempre inferior à média geral, apresentando índice negativo. Isso, provavelmente, ocorreu devido às oscilações na precipitação, em termos de quantidade e distribuição.

#### 5.2.4. Método de Cruz et al.(1989)

O método proposto por Cruz et al. (1989) também utiliza regressão linear da média de cada genótipo em relação a um índice ambiental, mas, nesta abordagem, a reta de regressão apresenta dois segmentos, um para os ambientes desfavoráveis e outro para os favoráveis. A inclinação dos segmentos é dada por  $\hat{\beta}_{1i}$  para ambientes desfavoráveis e  $\hat{\beta}_{1i} + \hat{\beta}_{2i}$  para os ambientes favoráveis. Na tabela 11, encontram-se os valores das estimativas de adaptabilidade e estabilidade da produção de matéria seca obtidos em nove cortes semestrais.

Verificou-se, por meio das estimativas de  $\hat{\beta}_{1i}$ , a qual avalia o desempenho dos genótipos em condições desfavoráveis, que os clones King Grass, Pasto Panamá, Pusa Napier N°1, Albano e 10 AD IRI apresentaram  $\hat{\beta}_{1i}$  significativos e maiores que um, evidenciando que esses genótipos apresentam alta sensibilidade às condições ambientais desfavoráveis. Esse resultado pode ser comprovado pelas médias desses genótipos, já que esses estão entre os mais produtivos nos ambientes considerados favoráveis e diminuí, aproximadamente, 50% dessa produtividade nos ambientes desfavoráveis. Contudo, apenas o genótipo Roxo mostrou-se mais adaptado às condições de ambientes desfavoráveis ( $\hat{\beta}_{1i} < 1$ ), porém é o genótipo de menor produtividade.

Quanto à resposta linear aos ambientes favoráveis ( $\hat{\beta}_{1i} + \hat{\beta}_{2i}$ ), os genótipos Pasto Panamá, Taiwan A-121, 10 AD IRI e IJ 7139 apresentaram resultados significativamente maiores que um; além disso, todos possuem produtividade de matéria seca superior à média geral ( $\hat{\beta}_{0i} > \text{média geral}$ ), sendo assim esses genótipos foram considerados adaptados a ambientes favoráveis e responsivos à melhoria ambiental. Ao contrário desses resultados, o clone BAG 87 exibiu  $\hat{\beta}_{1i} + \hat{\beta}_{2i} < 1$ .

De maneira geral, observou-se que o  $\hat{\beta}_{1i}$  e  $\hat{\beta}_{1i} + \hat{\beta}_{2i}$  não foram significativos em relação a um para a maioria dos genótipos (91%), demonstrando que a maior parte desses genótipos apresentou resposta linear simples, não desviando da resposta média dos cortes, ou seja, aumenta a produtividade concomitantemente ao índice ambiental (tabela 11).

**Tabela 11.** Parâmetros de adaptabilidade e estabilidade segundo o método de Cruz et al. (1989) para a produtividade de matéria seca em (t·ha<sup>-1</sup>·corte) de 73 genótipos de capim-elefante em nove cortes semestrais. Campos dos Goytacazes, RJ, 2017.

Genótipos	$\hat{\beta}_{0i}$	MD	MF	$\hat{\beta}_{1i}^{1/}$	$\hat{\beta}_{1i} + \hat{\beta}_{2i}^{2/}$	QMdesv.	R <sup>2</sup>
King Grass	25,78 a	18,28	35,16	1,98**	1,11 <sup>ns</sup>	6,34 <sup>ns</sup>	97,55
Pasto Panamá	23,32 a	16,64	31,67	1,75*	2,69*	25,75 <sup>ns</sup>	90,80
Gramafante	23,24 a	18,90	28,66	1,11 <sup>ns</sup>	1,23 <sup>ns</sup>	34,23 <sup>ns</sup>	72,38
Taiwan A-46	23,03 a	21,59	24,84	0,61 <sup>ns</sup>	0,71 <sup>ns</sup>	45,52 <sup>ns</sup>	37,36
Australiano	22,61 a	18,86	27,31	1,31 <sup>ns</sup>	0,77 <sup>ns</sup>	117,16**	48,61
Gigante de Pinda	21,54 a	17,04	27,15	1,14 <sup>ns</sup>	-0,11 <sup>ns</sup>	20,33 <sup>ns</sup>	79,92
Três Rios	21,52 a	18,18	25,71	1,01 <sup>ns</sup>	0,61 <sup>ns</sup>	31,28 <sup>ns</sup>	68,04
Guaçu/I,Z,2	21,38 a	17,77	25,90	1,11 <sup>ns</sup>	1,03 <sup>ns</sup>	17,47 <sup>ns</sup>	82,98
Pusa Napier N° 1	21,14 a	14,29	29,70	2,01**	0,97 <sup>ns</sup>	84,02*	75,38
Taiwan A-121	21,10 a	16,09	27,36	1,38 <sup>ns</sup>	2,59*	42,53 <sup>ns</sup>	80,71
IJ 7125 cv EMP. 308	20,61 a	16,28	26,03	1,14 <sup>ns</sup>	0,93 <sup>ns</sup>	25,21 <sup>ns</sup>	77,83
Vruckwona africano	20,60 a	17,89	24,00	0,75 <sup>ns</sup>	2,19 <sup>ns</sup>	36,12 <sup>ns</sup>	68,18
Duro de Volta	20,49 a	16,30	25,73	1,20 <sup>ns</sup>	1,16 <sup>ns</sup>	12,93 <sup>ns</sup>	88,69
Mole de Volta	20,32 a	17,20	24,21	0,82 <sup>ns</sup>	-0,09 <sup>ns</sup>	112,84**	26,95
03 AD IRI	20,30 a	17,42	23,89	1,08 <sup>ns</sup>	1,60 <sup>ns</sup>	48,54 <sup>ns</sup>	65,96
Napierzinho	20,27 a	15,16	26,65	1,34 <sup>ns</sup>	1,45 <sup>ns</sup>	21,52 <sup>ns</sup>	85,79
Taiwan A-148	20,24 a	17,03	24,25	0,77 <sup>ns</sup>	0,71 <sup>ns</sup>	79,85*	34,05
P 241 Piracicaba	19,63 a	15,28	25,08	1,10 <sup>ns</sup>	-0,02 <sup>ns</sup>	32,33 <sup>ns</sup>	69,78
Albano	19,40 a	12,21	28,39	1,65*	1,87 <sup>ns</sup>	58,19 <sup>ns</sup>	77,37
Cubano Pinda	19,32 a	15,56	24,02	0,79 <sup>ns</sup>	1,49 <sup>ns</sup>	99,79**	36,76
Cuba-115	19,26 a	13,74	26,15	1,48 <sup>ns</sup>	2,12 <sup>ns</sup>	46,83 <sup>ns</sup>	78,86
Elefante da	19,10 a	16,60	22,23	0,76 <sup>ns</sup>	0,55 <sup>ns</sup>	81,00*	32,18
Pusa Gigante Napier	19,10 a	13,85	25,67	1,35 <sup>ns</sup>	-0,36 <sup>ns</sup>	90,11*	55,86
10 AD IRI	19,09 a	12,80	26,96	1,59*	4,47**	71,48 <sup>ns</sup>	82,37
Guaçu	19,08 a	15,70	23,31	0,91 <sup>ns</sup>	1,94 <sup>ns</sup>	96,99*	46,53
Taiwan A-25	19,06 a	13,81	25,62	1,45 <sup>ns</sup>	2,47 <sup>ns</sup>	22,88 <sup>ns</sup>	88,97
Mercker Santa Rita	18,96 a	17,10	21,29	1,04 <sup>ns</sup>	1,00 <sup>ns</sup>	175,82**	30,21
Mineiro	18,96 a	16,88	21,57	0,63 <sup>ns</sup>	0,30 <sup>ns</sup>	18,46 <sup>ns</sup>	57,78
Porto Rico 534-B	18,92 a	17,18	21,10	0,55 <sup>ns</sup>	0,34 <sup>ns</sup>	100,98**	16,54
Elefante C.	18,86 a	15,35	23,24	0,91 <sup>ns</sup>	2,43 <sup>ns</sup>	81,18*	56,17
Mineirão IPEACO	18,75 a	15,97	22,24	0,84 <sup>ns</sup>	1,31 <sup>ns</sup>	7,94 <sup>ns</sup>	88,07
Vrukwna	18,68 a	14,60	23,79	1,14 <sup>ns</sup>	2,00 <sup>ns</sup>	47,32 <sup>ns</sup>	71,04
IJ 7139	18,61 a	12,10	26,75	1,50 <sup>ns</sup>	4,16**	77,69*	79,00
Ibitinema	18,41 a	15,44	22,13	0,91 <sup>ns</sup>	0,86 <sup>ns</sup>	29,92 <sup>ns</sup>	66,01
CAC 262	18,31 a	13,11	24,81	1,26 <sup>ns</sup>	1,00 <sup>ns</sup>	25,94 <sup>ns</sup>	80,54
Cuba-116	18,16 a	14,12	23,21	1,11 <sup>ns</sup>	0,74 <sup>ns</sup>	65,67 <sup>ns</sup>	55,11
MerckerPinda	18,05 a	14,66	22,29	0,96 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>ns</sup>	30,66 <sup>ns</sup>	65,27
MerckerPinda	17,95 a	13,01	24,11	1,36 <sup>ns</sup>	2,31 <sup>ns</sup>	50,71 <sup>ns</sup>	76,07
BAGCE 69	17,70 a	12,34	24,40	1,28 <sup>ns</sup>	1,36 <sup>ns</sup>	59,62 <sup>ns</sup>	66,47
05 AD IRI	17,50 b	16,10	19,24	0,67 <sup>ns</sup>	-0,37 <sup>ns</sup>	48,74 <sup>ns</sup>	37,42
Cameroon	17,36 b	13,15	22,63	1,07 <sup>ns</sup>	0,41 <sup>ns</sup>	66,96 <sup>ns</sup>	51,92

MD: média ambientes desfavoráveis; MF: média ambientes favoráveis; <sup>1/</sup>H<sub>0</sub>:  $\beta_1 = 1$ ; <sup>2/</sup>H<sub>0</sub>:  $\beta_1 + \beta_2 = 1$ ; \*\*, \*, ns: significativo (p<0,01), significativo (p<0,05) e não significativo respectivamente, pelo teste t.

Tabela 11, cont...

Genótipos	$\hat{\beta}_{0i}$	MD	MF	$\hat{\beta}_{1i}^{1/}$	$\hat{\beta}_{1i} + \hat{\beta}_{2i}^{2/}$	QMdesv.	R <sup>2</sup>
07 AD IRI	17,23 b	12,76	22,82	1,28 <sup>ns</sup>	0,44 <sup>ns</sup>	27,21 <sup>ns</sup>	79,02
02 AD IRI	16,74 b	11,27	23,59	1,21 <sup>ns</sup>	0,48 <sup>ns</sup>	30,90 <sup>ns</sup>	75,08
BAGCE2	16,74 b	11,86	22,84	1,16 <sup>ns</sup>	1,70 <sup>ns</sup>	21,66 <sup>ns</sup>	83,50
IJ7136 cv EMP. 307	16,46 b	13,88	19,68	0,74 <sup>ns</sup>	0,85 <sup>ns</sup>	32,70 <sup>ns</sup>	54,96
13 AD	16,20 b	13,55	19,51	0,61 <sup>ns</sup>	2,11 <sup>ns</sup>	20,31 <sup>ns</sup>	75,50
Napier Volta	16,10 b	10,61	22,97	1,30 <sup>ns</sup>	1,36 <sup>ns</sup>	290,26 <sup>**</sup>	29,29
BAGCE 92	15,99 b	13,57	19,01	0,74 <sup>ns</sup>	1,36 <sup>ns</sup>	14,82 <sup>ns</sup>	77,37
Mercker S. E. A	15,80 b	13,00	19,30	0,93 <sup>ns</sup>	1,57 <sup>ns</sup>	40,61 <sup>ns</sup>	65,05
Mercker Comum	15,79 b	13,33	18,86	0,60 <sup>ns</sup>	0,28 <sup>ns</sup>	7,27 <sup>ns</sup>	76,01
Mercker 86 México	15,76 b	9,77	23,26	1,46 <sup>ns</sup>	-0,30 <sup>ns</sup>	44,02 <sup>ns</sup>	75,12
Costa Rica	15,71 b	12,51	19,71	0,80 <sup>ns</sup>	0,80 <sup>ns</sup>	37,24 <sup>ns</sup>	54,79
Teresopólis	15,57 b	13,42	18,25	0,61 <sup>ns</sup>	0,74 <sup>ns</sup>	8,55 <sup>ns</sup>	76,69
Taiwan A-143	15,50 b	11,23	20,84	1,21 <sup>ns</sup>	0,59 <sup>ns</sup>	20,86 <sup>ns</sup>	81,79
Turrialba	15,46 b	11,17	20,83	1,08 <sup>ns</sup>	0,28 <sup>ns</sup>	39,54 <sup>ns</sup>	64,96
Napier S.E.A.	15,29 b	12,46	18,84	0,65 <sup>ns</sup>	1,33 <sup>ns</sup>	69,29 <sup>ns</sup>	37,57
Elefante Híbrido	15,21 b	11,92	19,33	0,78 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>	41,36 <sup>ns</sup>	48,26
BAGCE 51	14,73 b	13,13	16,73	0,53 <sup>ns</sup>	-0,08 <sup>ns</sup>	24,06 <sup>ns</sup>	42,00
BAG 87	14,44 b	11,94	17,57	0,59 <sup>ns</sup>	-0,73 <sup>*</sup>	31,93 <sup>ns</sup>	45,33
Roxo Botucatu	14,43 b	12,52	16,82	0,59 <sup>ns</sup>	1,14 <sup>ns</sup>	16,14 <sup>ns</sup>	67,30
Goiano	14,23 b	12,10	16,89	0,50 <sup>ns</sup>	0,79 <sup>ns</sup>	21,07 <sup>ns</sup>	50,12
Taiwan A-146	14,17 b	10,70	18,51	0,63 <sup>ns</sup>	0,53 <sup>ns</sup>	111,20 <sup>**</sup>	19,72
BAG 86	13,98 b	11,21	17,45	0,69 <sup>ns</sup>	0,42 <sup>ns</sup>	33,08 <sup>ns</sup>	48,54
Capim Cana	13,48 b	11,34	16,16	0,65 <sup>ns</sup>	0,45 <sup>ns</sup>	23,81 <sup>ns</sup>	53,79
Mercker Comum	13,37 b	10,37	17,12	0,86 <sup>ns</sup>	1,37 <sup>ns</sup>	18,30 <sup>ns</sup>	77,46
Napier Goiano	13,23 b	9,60	17,76	0,83 <sup>ns</sup>	1,02 <sup>ns</sup>	58,42 <sup>ns</sup>	46,97
Pusa Napier N° 2	12,97 b	9,84	16,88	0,96 <sup>ns</sup>	1,12 <sup>ns</sup>	19,35 <sup>ns</sup>	77,73
Napier	12,73 b	10,92	15,00	0,61 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	29,47 <sup>ns</sup>	44,23
08 AD IRI	12,70 b	8,79	17,60	0,86 <sup>ns</sup>	-0,16 <sup>ns</sup>	23,19 <sup>ns</sup>	66,30
Porto Rico	12,40 b	9,86	15,57	0,60 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>	34,54 <sup>ns</sup>	39,33
13 AD IRI	11,92 b	6,95	18,12	1,12 <sup>ns</sup>	0,38 <sup>ns</sup>	40,98 <sup>ns</sup>	65,96
Elefante de Pinda	11,02 b	8,13	14,62	0,65 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>	24,48 <sup>ns</sup>	52,13
Roxo	10,76 b	10,30	11,34	0,29 <sup>*</sup>	0,18 <sup>ns</sup>	16,01 <sup>ns</sup>	24,86
Média	17,56	13,83	22,22				

MD: média ambientes desfavoráveis; MF: média ambientes favoráveis; <sup>1/</sup>H<sub>0</sub>:  $\hat{\beta}_1 = 1$ ; <sup>2/</sup>H<sub>0</sub>:  $\hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2 = 1$ ; \*\*, \*, ns: significativo (p<0,01), significativo (p<0,05) e não significativo respectivamente, pelo teste t.

A estabilidade dos genótipos pode ser avaliada pelo quadrado médio dos desvios, além da estimativa de R<sup>2</sup> que reforça a previsibilidade dos mesmos, salientando que os genótipos com estimativas de R<sup>2</sup> ≥ 80% não devem ter seu grau de previsibilidade comprometido. Nesse sentido, verificou-se que, apenas, 14 acessos exibiram quadrado médio dos desvios significativo, demonstrando que, de forma geral, os genótipos apresentaram desempenho previsível frente às mudanças das condições ambientais pela metodologia de Cruz et al. (1989). Um

ponto importante a ser destacado é que os 12 genótipos considerados imprevisíveis pelo método de Eberhart Russell foram reincidentes quando esse parâmetro foi estimado pelo método de Cruz, et al. (1989), ratificando que esses genótipos não ofereceram estabilidade produtiva de matéria seca ao longo dos nove cortes realizados. Com relação ao coeficiente de determinação ( $R^2$ ), notou-se um pequeno acréscimo no número de genótipos com  $R^2$  acima de 80% em relação ao método proposto por Eberhart e Russell (1966), totalizando 12 genótipos, o que indica um bom ajuste nas equações de regressão.

O genótipo ideal preconizado por Cruz et al. (1989), ou seja, elevada produtividade (alto  $\hat{\beta}_{0i}$ ), adaptabilidade a ambientes desfavoráveis ( $\hat{\beta}_{1i} < 1$ ), responsividade à melhoria ambiental ( $\hat{\beta}_{1i} + \hat{\beta}_{2i} > 1$ ), alta estabilidade (QMdesv = zero), além de  $R^2 \geq 80\%$ , não foi encontrado entre os genótipos avaliados. A ausência de genótipo ideal por esse método corrobora outros trabalhos em diferentes culturas, tais como milho (Garbuglio et al., 2007), trigo (Albrecht et al., 2007), feijão-caupi (Domingues et al., 2013), cana-de-açúcar (Fernandes Júnior et al., 2013) entre outros. Essa dificuldade de identificação de genótipos ideais por método pode ser atribuída à correlação positiva existente entre o  $\hat{\beta}_{1i}$ , e o  $\hat{\beta}_{1i} + \hat{\beta}_{2i}$  (Miranda et al., 1998).

Nesse sentido, levando-se em consideração que os genótipos selecionados serão cultivados sob diferentes condições ambientais, pretende-se recomendar os genótipos que apresentam produtividade superior à média geral, tanto nos ambientes favoráveis (MF) como nos desfavoráveis (MD), o máximo de previsibilidade, além de ampla adaptabilidade às condições ambientais favoráveis e desfavoráveis. Diante disso, destacam-se os genótipos: Gramafante, Taiwan A-46, Gigante de Pinda, Três Rios, Guaçu/I.Z.2, Taiwan A-121, IJ 7125 cv EMP. 308, Vruckwona Africano, Duro de Volta Grande, 03 AD IRI, Napierzinho e P 241 Piracicaba. Os genótipos King Grass e Pasto Panamá são genótipos promissores, visto que apresentaram as maiores médias e são altamente estáveis e previsíveis, porém esses genótipos se mostraram sensíveis às condições ambientais desfavoráveis.

É notório que a maior parte dos resultados encontrados por ambos os métodos são concordantes, porém o método de Cruz et al. (1989) forneceu algumas informações adicionais em relação a alguns genótipos, tais como, King Grass, Pusa Napier N°1 e Albano. De acordo com o método de Eberhart e Russell



(1966), esses clones possuem adaptabilidade específica a ambientes favoráveis, porém, quando avaliados pelo método de Cruz et al. (1989), torna-se evidente que esses genótipos não estão adaptados a ambientes desfavoráveis, mas apresentam adaptabilidade ampla (e não específica) às condições ambientais favoráveis. Além dos genótipos citados acima, observou-se, também, que o genótipo Taiwan A- 25 foi considerado adaptado, especificamente, a ambientes favoráveis pelo método de Eberhart e Russell (1966), enquanto que, pelo de Cruz et al. (1989), esse genótipo apresentou ampla adaptabilidade a ambientes desfavoráveis, porém não responsivos à melhoria ambiental.

As análises de estabilidade e adaptabilidade pelos métodos de Eberhart e Russel (1966) e de Cruz et al. (1989) apresentam aplicações mais simplificadas. Eles permitem que os testes estatísticos identifiquem, com maior precisão, os genótipos mais estáveis e o grupo de ambientes a que estão mais adaptados (Oliveira et al., 2006). Dos dois métodos, o método proposto por Cruz et al. (1989) apresenta informações mais aprofundadas sobre adaptabilidade. No entanto, este método requer o uso de um maior número de ambientes na análise, para permitir a separação dos ambientes em dois grupos (favorável e desfavorável), bem como a regressão com cada grupo.

## 6. CONCLUSÕES

As estimativas de repetibilidade são de média a alta magnitude para as características número de perfilhos, altura de plantas, diâmetro de colmo e largura de lâmina foliar e de baixa magnitude para produtividade de matéria seca.

A metodologia da análise de componentes principais, baseada na matriz de covariâncias fenotípicas, proporcionou as maiores estimativas de coeficiente de repetibilidade, quando comparado aos demais métodos empregados.

Para a predição do valor real de genótipos de capim-elefante para fins bioenergéticos com 80% de confiabilidade, devem ser realizados, pelo menos, 9, 3, 6, 6 e 3 cortes, considerando as características produção de matéria seca, número de perfilhos, altura de plantas, diâmetro de colmo e largura de lâmina foliar, respectivamente pelo método dos componentes principais baseado na matriz de covariância.

O método de Eberhart e Russel foi eficaz na identificação de genótipos de capim-elefante de ampla adaptabilidade e alta estabilidade de produção de matéria seca ao longo dos nove cortes.

Não foram identificados genótipos que reúnam simultaneamente elevada produtividade, adaptados a ambientes desfavoráveis, responsivos à melhoria ambiental e de alta estabilidade quando utilizado o método de Cruz et al. (1989).

Os genótipos Gramafante, Taiwan A-46, Gigante de Pinda, Três Rios, Guaçu/I.Z.2, Taiwan A-121, IJ7125 cv EMP. 308, Vruckwona Africano, Duro de Volta Grande, 03 AD IRI e Napierzinho destacaram-se, por reunir, simultaneamente,

elevada produtividade, ampla adaptabilidade e estabilidade de desempenho, sendo esses genótipos com potencial para utilização nos programas de melhoramento para fins energéticos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abeywardena, V. (1972). An application of principal component analysis in genetics. *Journal of Genetics*, 61(1): 27-51.
- Albrecht, J. C., Vieira, E. A., Silva, M. S., Andrade, J. M. V., Scheeren, P. L., Trindade, M. G., Soares Sobrinho, J., Sousa, C. N. A., Reis, W. P., Ribeiro Júnior, W. Q., Fronza, V., Cargnin, A., Yamanaka, C. H. (2007) Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de trigo irrigado no Cerrado do Brasil Central. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42:1727-1734.
- Allard, R. W., Bradshaw, A. D. (1964). Implications of genotype-environmental interactions in applied plant breeding. *Crop Science*, 4(5):503-508.
- Annicchiarico, P. (1992) Cultivar adaptation and recommendation from alfalfa trials in Northern Italy. *Journal of Genetics and Plant Breeding*, 46:269-278.
- Araújo, M. S. (2016) interação genótipo versus cortes anuais e comparação de métodos de estabilidade e de índices de seleção em capim-elefante. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 81p.
- 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.
- Barbosa, S., Davide, L. C., Pereira, A.V. (2003) Cytogenetics of *Pennisetum purpureum* Shum x *Pennisetum glaucum* L. hybrids and their parents. *Ciência e Agrotecnologia*, 27(1): 23-26.
- Becker, H. C. (1981). Correlations among some statistical measures of phenotypic stability. *Euphytica*, 30(3):835-840.
- Boddey, R.M., Alves, B.J.R., Urquiaga, S.S. (2004) Redução das emissões do gás carbônico através da produção de bioenergia utilizando capim elefante. *Embrapa Agrobiologia*, Seropédica- RJ.
- Bruna, E. D., Moreto, A. L., Dalbó, M. A. (2012). Uso do coeficiente de repetibilidade na seleção de clones de pessegueiro para o Litoral Sul de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 34:206 - 215.
- Brunken, J.N. (1977) A systematic study of *Pennisetum* Sect. *Pennisetum* (Gramineae). *American Journal of Botany*, 64(2): 161-76.
- Cardoso, All. (2006) Número mínimo de colheitas em pepino híbrido estimado por meio do coeficiente de repetibilidade. *Bragantia*. 65:591-595.
- Cargnin, A. (2016) Repetibilidade e número de colheita de características para seleção de clones de variedades de viníferas. *Ciência Rural*. 46(2): 221-226.
- Cavalcante, M., de Andrade Lira, M., dos Santos, M. V. F., Pita, E. B. A. F., Ferreira, R. L. C., Tabosa, J. N. (2012). Coeficiente de repetibilidade e parâmetros genéticos em Capim-elefante. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 47(4), 569-575.
- Cavalcante, M., Lira, M.A. (2010) Variabilidade genética em *Pennisetum purpureum* schum . *Revista Caatinga*, 23(2): 153-163.

- Couto, L.C., Couto, L., Watzlawick, L.F., Câmara, D. (2004) Vias de valorização energética da biomassa. *Biomassa & Energia*, 1 (1): 71-92.
- Cruz, C. D. (2013) GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiaru Agronomy*, 35(3): 271-276.
- Cruz, C. D., Regazzi, A. J., Carneiro, P. C. S. (2012) *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético* Volume1: Ed. UFV. 514p.
- Cruz, C. D., Castoldi, F. L. (1991) Decomposição da interação genótipo x ambiente em partes simples e complexas. *Revista Ceres*, 38(219):422-430.
- Cruz, C.D., Torres, R.A.A., Vencovsky, R. (1989) An alternative approach to the stability analysis proposed by silva and barreto. *Revista Brasileira de Genética*, 12(3): 567-580.
- Cunha, M. V. da., Lira, M. de A., Santos, M. V. F. dos., Dubeux Júnior, J. C. B., Mello, A. C. L. de., Freitas, E. V. de. (2013). Adaptabilidade e estabilidade da produção de forragem por meio de diferentes metodologias na seleção de genótipos de *Pennisetum* spp. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*. 8 (4): 681-686.
- 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., Maldonado, H., Vander Pereira, A., do Amaral Junior, A. T., Pereira, M. G., Ferreira, C. F., da Silva, M. P. (2004). Estimativas de parâmetros genéticos e de coeficientes de repetibilidade de caracteres forrageiros em clones de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.). *Acta Scientiarum. Agronomy*, 26(4), 483-490.

- 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, M. G., Amaral, J.R. A. T., Pereira, A. V., Léo, F. J. S., Daros, M. (2003). Estabilidade da produção forrageira em genótipos de capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.). *Ciência Agrotecnologia*; 27(4): 788-797.
- Danner, M. A., Raseira, M. C. B., Sasso, S. A. Z. Citadin, I., Scariot, S. (2010). Repetibilidade de caracteres de fruto em araçazeiro e pitangueira. *Ciência Rural*, 40: 2086 -2091.
- De Oliveira, M. S. P. e Moura., E. F. (2010) Repetibilidade e número mínimo de medições para caracteres de cacho de bacabi (*Oenocarpus mapora*). *Revista Brasileira de Fruticultura*, 32(4): 1173-1179.
- 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).
- Domingues, L. S., Ribeiro, N. D., Minetto, C., Souza, J. F., Antunes, I. F. (2013). Metodologias de análise de adaptabilidade e de estabilidade para a identificação de linhagens de feijão promissoras para o cultivo no Rio Grande do Sul. *Semina: Ciências Agrárias*,34(3): 1065-1076.
- Duarte, J.B., Vencovsky, R. (1999) Interação genótipos x ambientes: uma introdução à análise AMMI. *Sociedade Brasileira de Genética*, 60p.
- Eberhart S. A., Russel W. A. (1996) Stability parameters for comparing. *CropSci*.6:36-40.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Centro Nacional e Pesquisa em Solos. (2006) Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa-Solos, 306p
- Evane, S., Rocha, C. R. (2010) Eucalipto e Capim-elefante: Característica e Potencial Produtivo de Biomassa. *Revista Agrogeoambiental*, v. 2, nº 1 - Pouso Alegre: IFSULDEMINAS.

- Falconer D. S. (1981) Introdução à genética quantitativa. Tradução de M.A. Silva e J.C. Silva. Viçosa, UFV, 279p.
- Fehr, W. R. (1987). Principles of cultivars development. New York: Mac Millan. 536p
- Fernandes Júnior, A. R., Andrade, J. A. C., Santos, P. C., Hoffmann, H. P., Chapola, R. G., Carneiro, M. S., Cursi, D. E. (2013) Adaptabilidade e estabilidade de clones de cana-de-açúcar. *Bragantia*, 72(3):208-216.
- Ferreira, R. P., Pereira, A. V. (2005) Melhoramento de forrageiras. In: BORÉM, A. (Ed.). *Melhoramento de espécies cultivadas*. Viçosa, MG: UFV, p. 781-812.
- Finlay, K. W., Wilkinson, G. N. (1963) The analysis of adaptation in a plant breeding programme. *Aust. J. Agr. Res.* 14, 742-754.
- Freire, L. R., Balieiro, F. D. C., Zonta, E., Anjos, L. D., Pereira, M. G., Lima, E., Polidoro, J. C. (eds.) (2013) Manual de Calagem e Adubação do Estado do Rio de Janeiro. Brasília, DF: Embrapa; Seropédica: Universidade Rural, 430p.
- Freitas, A. R., de Paula, R., Moreira, A. (2011). Análises de dados de medidas repetidas por meio do modelo linear geral e do modelo misto. *Revista Ciência Agrárias*, 54 (3), 214-224.
- Freitas, E. V. (2008) Caracterização de pastos, consumo e desempenho de vacas em pastagens de *Pennisetum sp.* Tese (Doutorado em Zootecnia), Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 88p.
- Garbuglio, D. D., Gerage, A. C., Araujo, P. M., Fonseca Júnior, N. S., Shioga, P. S. (2007). Análise de fatores e regressão bissegmentada em estudos de estratificação ambiental e adaptabilidade em milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42(2):183-191.
- Gauch, H.G. and Zobel, R.W. (1996) AMMI analysis of yield trials. In: kang, M.S. and Gauch, H.G. (eds.) *Genotype by Environment Interaction*. New York: CRC Press, p. 416.
- Goldemberg, J. (2009) Biomassa e energia. *Quim. Nova*, 32: 582-587



- 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.
- Holm, L.G., Plucknett, D.L., Pancho, J.V., Herberger, J.P. (1977) The World's worst Weeds. *Distribution and Biology*. Honolulu: University Press of Hawaii, p.609
- Huehn, M. (1990) Nonparametric measures of phenotypic stability. Part 1: Theory. *Euphytica*, 47(3):189-194.
- Ibrahim, N., Kamarudin, S. K., Minggu, L. J. (2014) Biofuel from biomass via photo-electrochemical reactions: An overview. *Journal of Power Sources*, 259(1):33-42.
- Kang M. S., Phan H.N.. (1991) Simultaneous selection for high yielding and stable crop genotypes. *Agronomy Journal* 83: 161-165.
- Kempthorne, O. (1973) The design and analysis of experiments. New York: Robert E. Krieger Publishing Company.
- Köppen, W. (1948) *Climatologia: con un estudio de los climas de La Tierra*, México: Fondo de Cultura Económica, 479 p.
- Lédo, F. J. D. S., Pereira, A. V., Souza Sobrinho, F. D., Auad, A. M., Jank, L., Oliveira, J. S. (2008) Estimativas de repetibilidade para caracteres forrageiros em *Panicum maximum*. *Ciência Agrotecnica*, 32(4):1299-1303.
- Lessa, L. S., Ledo, C. A. S., Amorim, E. P., Silva, S. O. (2014) Estimativas de repetibilidade de híbridos diploides (AA) de bananeira. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 49(2):109-117.
- 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
- Lin, C. S., e Binns, M. R. (1988) A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. *Canadian Journal of Plant Science*, 68(1):193-198.

- Lush, J.L. (1964) *Melhoramento dos animais domésticos*. Tradução de Carneiro, G.G., Memoria, J.M.P. & Drummond, G. (Eds.) Rio de Janeiro: Ed. CEDEGRA.
- Mansour, H., Nordheim, E.V., Cruz Rutledge, J.J. (1981). Estimators of repeatability. *Theoretical and Applied Genetics*, 60 (3): 151-156.
- MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2017) Registro Nacional de Cultivares. Consultado em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/registro-nacional-cultivares>> em 09/02/2017.
- Mariotti, J. A., Oyarzabal, E. S. e Osa, J. M. (1976) Analisis de estabilidad y adaptabilidad de genotipos de cana de azucar, 1: Interacciones dentro de una localidad expe
- Martel, E., Ricroch, A., Sarr, A. (1996) Assessment of genome organization among diploid species ( $2n = 2x = 14$ ) belonging to primary and tertiary gene pools of pearl millet using fluorescent in situ hybridization with rDNA probes. *Genome*, 39(4):680-687.
- Martuscello, J. A., Braz, T. G. D. S., Jank, L., Cunha, D. D. N. F. V., Lima, B. P. D. S., Oliveira, L. P. D. (2015) Repeatability and phenotypic stabilization of *Panicum maximum* accessions. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 37(1): 15-21.
- Martuscello, J. A., Braz, T. G. D. S., Jank, L., Cunha, D. D. N. F. V., Souza, M. W. M., Brito, G. F. D., Oliveira, L. P. D. (2013) Repeatability of agronomic characters in *Brachiaria brizantha* cultivars. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 42(1): 30-35.
- Martuscello, J. A., Jank, L., Fonseca, D. M., Cruz, C. D., Cunha, D. N. F. V. (2007) Repetibilidade de caracteres agronômicos em *Panicum maximum* Jacq. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36:1975-1981.
- Mendonça, J. C., Sousa, E. F., Bernardo, S., Sugawara, M. T., Peçanha, A. L., Gottardo, R. D. (2007) Determinação do coeficiente cultural (Kc) do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em Campos dos Goytacazes, RJ. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 471-475.

- Menezes, B. R. S., Daher, R. F., Gravina, G. A., Gottardo, R. D., Schneider, L. S. A., Rocha, A. S. (2016) Comportamento Per se de híbridos de capim-elefante para fins energéticos. *Comunicata Scientiae*, 7 (1): 73-85.
- 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, G. C., Vieira, C., Cruz, C. D., Araujo, G. A. A. (1998) Comparação de métodos de avaliação da adaptabilidade e da estabilidade de cultivares de feijoeiro. *Acta Scientiarum Agronomy*, 20(3):249-255.
- Mohammed, I. Y., Abakr, Y. A., Kazi, F. K., Yusup, S., Alshareef, I., Chin, S. A. (2015) Comprehensive characterization of napier grass as a feedstock for thermochemical conversion. *Energies*, 8(5):3403-3417.
- Negreiros, J. R. da S., Saraiva, L. L., Oliveira, T. K. de., Álvares, V. de S., Roncatto, G. (2008) Estimativas de repetibilidade de caracteres de produção em laranjeiras-doces no Acre. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 43:1763-1768.
- Negreiros, J. R. S., Andrade Neto, R. C., Miqueloni, D. P., Lessa, L. S. (2014) Estimativa de repetibilidade para caracteres de qualidade de frutos de laranja - doce. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 49(1): 40-48.
- Neves, L. G., Bruckner, C. H., Cruz, C. D., Barelli, M. A. A. (2010) Avaliação da repetibilidade no melhoramento de famílias de maracujazeiro. *Ceres*, 57:480-485.
- Oliveira, A. V. (2013) *Avaliação do desenvolvimento e de características morfoagrômicas 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, A. V., Daher, R. F., da Silva Menezes, B. R., de Amaral Gravina, G., de Sousa, L. B., da Silva Gonçalves, A. C., e Oliveira, M. L. F. (2013) Avaliação do

- desenvolvimento de 73 genótipos de capim-elefante em Campos dos Goytacazes-RJ. *Boletim de Indústria Animal*, 70(2), 119-131.
- Oliveira, M. A. R., Pípolo, V. C., Schuster, I., Vicente, D., Dellagostin, M., Oliveira, E. F. (2006) Soybean stability and adaptability in Southern and Central Brazil. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 6:55-64.
- 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.
- Oliveira, T. N., Santos, M. V. F., Lira, M. A., Mello, A. C. L., Lira Júnior, M. A., Silva, N. G. M. (2011) Estimativa de repetibilidade para mancha ocular em clones de *Pennisetum*. *Arquivos de Zootecnia*, 60 (231):797- 808.
- Paterlini, E. M., Arantes, M. D. C., Gonçalves, F. G., Vidaurre, G. B., Bauer, M. D. O., Moulin, J. C. (2013) Avaliação do capim elefante para uso energético. *Journal of Biotechnology and Biodiversity*, 4(2)
- Pereira, A. V. (1994). Germoplasma e diversidade genética do capim elefante. In: *Simpósio sobre Capim Elefante*, 2., Juiz de Fora. Anais Coronel Pacheco: EMBRAPACNPGL, p.111.
- Pereira, A. V., Léo, F. J. S. (2008). Melhoramento genético de *Pennisetum purpureum*. In: Resende, R. M. S., Vale, C. B. e Jank, L. (Ed.). *Melhoramento de forrageiras tropicais*, 1, 89-116.
- Pereira, A. V., Machado, M. A., Azevedo, A. L. S., Nascimento, C. S., Campos, A. L., Léo, F. J. S. (2008) Diversidade genética entre acessos de capim-elefante obtida com marcadores moleculares. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37(7):1216-1221.
- Pereira, A. V., 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
- 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.

- Pinto, R.J.B. (2009) Introdução ao melhoramento genético de plantas. Maringá.
- Plaisted, R. L., Peterson, L. C. (1959) A technique for evaluating the ability of selections to yield consistently in different locations or seasons. *American Potato Journal*, 36(11):381-385.
- Queiroz Filho, J. L., Silva, D. S., Nascimento, I. S. (2000) Produção de matéria seca e qualidade do capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) cultivar Roxo em diferentes idades de corte. *Revista Brasileira Zootecnia*. 29(1):69-74.
- Ramalho, M. A. P., Abreu, A. F. B., Santos, J. D., e Nunes, J. A. R. (2012) *Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas*. Lavras: UFLA, p.365-456.
- Ramalho, M.A.P., Santos, J.B., Zimmermann, M.J.O. (1993) *Genética Quantitativa em Plantas autógamas: aplicações ao melhoramento do feijoeiro*. 1. ed. Goiânia, 271p.
- Resck, D. V. S., Ferreira, E. A. B., Figueiredo, C. C., Zinn, Y. L. (2008) Dinâmica da matéria orgânica no Cerrado. In: Santos, G. A.; Silva, L. S.; Canellas, L. P.; Camargo, F. A. O. (Eds.). *Fundamentos da matéria orgânica do solo- Ecossistemas tropicais e subtropicais*, 2., Porto Alegre, p. 359-406.
- Resende, M.D.V. (2002). *Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p.975.
- Rocha, A. S. (2015) *Estudos de interação genótipos por cortes semestrais e correlações em capim-elefante para fins energéticos*. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 70p.
- 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, E. P. A., Souza, D. F., Damasceno, S. M. (2009) Estudo da viabilidade da utilização de briquete de capim como fonte alternativa de energia para queima

em alto-forno. *VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica*. Uberlândia-MG.

Rossi, D. A. (2010) *Avaliação morfoagronômica e da qualidade da biomassa de acessos de capim-elefante (Pennisetum purpureum Schum.) para fins energéticos no norte fluminense*. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 66p.

Rossi, D. A., Menezes, B. D. S., Daher, R. F., Gravina, G. D. A., de Lima, R. S. N., Lédo, F. D. S., de Souza, C. L. M. (2014). Canonical correlations in elephant grass for energy purposes. *African Journal of Biotechnology*, 13(36):3666-3671.

Rutledge, J.J. (1974) A scaling which removes bias of Abeywardena's estimator of repeatability. *Journal of Genetics*, 61(3): 247-250.

Santos, M. M. P., Daher, R. F., Ponciano, N. J., Gravina, G. A., Pereira, A. V., e Santos, C. L. (2014) Respostas do capim-elefante sob doses de adubação azotada de cobertura para fins energéticos. *Revista de Ciências Agrárias*, 37(1):100-108.

Santos, R. L.; Freire, F. J.; Rocha, A. T.; Silva, J. A. A.; Tavares, J. A.; Ferreira, E. G. B. S.; Oliveira, E. C. A. (2015). Elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum.) biomass production as promising alternative source of energy in Brazil's semiarid area using gypsum. *Australian Journal of Crop Science*, 9(11):1082-1088.

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.

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

- Souza Sobrinho, F., Pereira, A. V., Ledo, F. J. S., Botrel, M. A., Oliveira, J. S., Xavier, D. F. (2005) Avaliação agronômica de híbridos interespecíficos entre capim-elefante e milho. *Pesquisa agropecuária brasileira*, 40 (9): 873-880.
- Souza Sobrinho, F., Borges, V., Léo, F. J. D. S., e Kopp, M. M. (2010). Agronomic traits repeatability and number of cuts needed for selecting *Urochloaruziziensis*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 45(6):579-584.
- Steel, R. G. D., Torrie, J. H.(1996) *Principles and Procedures of Statistics: a Biometrical Approach. 2 th ed. New York McGraw-Hill Kogakusha*.
- Tai, G. C. C. (1971) Genotypic stability analysis and its application to potato regional trials. *Crop Science*, 11(2):184-190.
- 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.
- Theil, H. (1950) A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis: indagaciones mathematicae. 12:85-91.
- Torres, F. E., Teodoro, P. E., Benites, S. B., de Oliveira, E. P., Correa, C. C. G. e da Silva, F. A. (2016) Number of cuts for estimating forage productivity in *P. maximum*. *Bioscience Journal*, 32(1): 172-178.
- United Nations Framework Convention on Climate Change - UNFCCC (2015) Adoption of the Paris Agreement. FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1. Consultado em: <<https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf>> em 19/02/2017.
- Vasconcellos, M. E., de Souza Gonçalves, P., de Paiva, J. R., Valois, A. C. C. (1985) Métodos de estimação do coeficiente de repetibilidade no melhoramento da seringueira. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 20(4):433-437.
- Veiga, J. B., Mott, G. O., de Rodrigues, L. R. A., e O cumpaugh, W. R. (1985) Capim-elefante anão sob pastejo I. Produção de forragem. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 20(8):929-936.

- Vencovsky, R., Barriga, P. (1992) *Genética biométrica no fitomelhoramento*.  
Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 496p.
- Verma, M. M., Chahal, G. S., Murty, B. R. (1979) Limitations of conventional regression analysis: a proposed modification. *Theoretical And Applied Genetics*, 53(1):89-91, 1978.
- Viana, A. P., Resende, M. D. V. (2014) *Genética quantitativa no melhoramento de fruteiras*. 1. Ed. Rio de Janeiro: Interciência, 296p.
- Viana, B. L., de Mello, A. C. L., de Andrade Lira, M., Júnior, J. C. B. D., dos Santos, M. V. F., da Cunha, M. V., & Ferreira, G. D. G. (2009) Repetibilidade e respostas de características morfofisiológicas e produtivas de capim-elefante de porte baixo sob pastejo. *Pesquisa. Agropecuária Brasileira*, 44(12): 1731-1738.
- Vilela, D. (1997) Utilização do capim elefante na forma de forragem conservada. In: Carvalho, M.M., Alvim, M.J., Xavier, D.F. et al. (Eds.) *Capim-elefante: produção e utilização*. Coronel Pacheco: Embrapa-Gado de Leite, p17-164.
- Wricke, G. (1965) Zurberechnung der okovalenzbeisommerweizen und hafer. *Zeitschrift Fur Pflanzenzuchtung-Journal Of Plant Breeding*, 52(2): 127-138.
- Yates, F., Cochran, W. G. (1938) The analysis of groups of experiments. *The Journal of Agricultural Science*, 28(04):556-580.
- Zanetti, J.B. (2010) *Identificação de genótipos de capim-elefante (Pennisetum purpureum Schumach.) de alta produção de biomassa com qualidade para fins energéticos*. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)- Seropédica- RJ. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro- UFRRJ, 84P.
- Zobel, R.W., Wright, M.J., Gauch, H.G. (1988) Statistical analysis of a yield trial. *Agronomy Journal*, Madison, 80:388-393.