

JOÃO ROMERO DO AMARAL SANTOS DE CARVALHO ROCHA

**PRÉ-MELHORAMENTO DE CAPIM-ELEFANTE PARA PRODUÇÃO DE  
BIOENERGIA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2015

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

R672p  
2015

Rocha, João Romero do Amaral Santos de Carvalho, 1990-  
Pré-melhoramento de capim-elefante para produção de  
bioenergia / João Romero do Amaral Santos de Carvalho Rocha.  
– Viçosa, MG, 2015.  
ix, 50f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Pedro Crescêncio de Souza Carneiro.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Inclui bibliografia.

1. Capim-elefante Melhoramento genético. 2. Diversidade  
genética. 3. *Pennisetum purpureum*. 4. Biomassa.  
5. Biocombustíveis. 6. Combustão. 7. Etanol. I. Universidade  
Federal de Viçosa. Departamento de Biologia Geral. Programa  
de Pós-graduação em Genética e Melhoramento. II. Título.

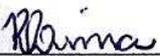
CDD 22. ed. 662.88

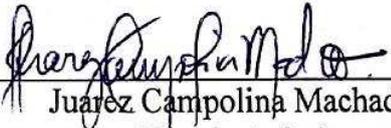
JOÃO ROMERO DO AMARAL SANTOS DE CARVALHO ROCHA

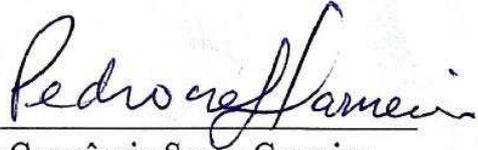
**PRÉ-MELHORAMENTO DE CAPIM-ELEFANTE PARA PRODUÇÃO DE  
BIOENERGIA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

**APROVADA:** 13 de julho de 2015.

  
\_\_\_\_\_  
Rodrigo Oliveira de Lima

  
\_\_\_\_\_  
Juarez Campolina Machado  
(Coorientador)

  
\_\_\_\_\_  
Pedro Crescêncio Souza Carneiro  
(Orientador)

Aos meus pais, Roméro e Magda,  
pelo empenho e apoio incondicional  
para que eu chegasse até aqui.

**DEDICO.**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, pela vida e saúde.

Aos meus pais Roméro de Carvalho Rocha e Magda do Amaral Santos, à minha irmã Ana Carolina do Amaral Santos de Carvalho Rocha, meus eternos agradecimentos.

A Isadora Santos e Oliveira, minha namorada, incentivadora e companheira de todos os momentos.

Ao Professor Pedro Crescêncio Souza Carneiro, pela orientação, ensinamentos, disposição e amizade.

Ao Pesquisador Juarez Campolina Machado, pela amizade, pela oportunidade, pelos ensinamentos e valiosas sugestões durante a elaboração dessa dissertação.

Ao Professor Rodrigo Oliveira de Lima, pelo suporte e valiosa ajuda na finalização desse trabalho.

Ao Programa Trigo, em especial ao Professor Moacil Alves de Souza, ao Adérico Júnior Badaró Pimentel e ao Guilherme Ribeiro, que sempre me incentivaram à pesquisa científica em genética e melhoramento.

Aos amigos do Laboratório de Biometria e do Programa Feijão.

Ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento e à Universidade Federal de Viçosa (UFV) pela oportunidade concedida.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

E a todos, que de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho.

**MUITO OBRIGADO!**

## **BIOGRAFIA**

JOÃO ROMERO DO AMARAL SANTOS DE CARVALHO ROCHA, filho de Roméro de Carvalho Rocha e Magda do Amaral Santos, nasceu em 18 de julho de 1990 na cidade de Barra do Piraí, Rio de Janeiro, Brasil.

Em 2008, completou o ensino médio pelo Colégio Meta de Ensino Fundamental e Médio- Juiz de Fora - MG.

No ano de 2014, foi diplomado Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa-MG.

Em março de 2014, ingressou no curso de Mestrado em Genética e Melhoramento da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa-MG, vindo a defender o título de *Magister Scientiae*, em 2015.

## SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	viii
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	3
CAPÍTULO 1: Potencial bioenergético e diversidade genética do capim-elefante via caracteres morfo-agronômicos e de qualidade da biomassa.....	6
RESUMO.....	7
ABSTRACT.....	8
1. Introdução.....	9
2. Material e métodos.....	10
3. Resultados e discussão.....	12
4. Conclusão.....	16
5. Referências Bibliográficas.....	17
6. Tabelas e figuras.....	21
CAPÍTULO 2: Aptidão dos grupos de capim-elefante Cameroon e Napier para a produção de bioenergia via combustão direta da biomassa.....	27
RESUMO.....	28
ABSTRACT.....	29
1. Introdução.....	30
2. Material e métodos.....	31
3. Resultados e discussão.....	34
4. Conclusão.....	39
5. Referências Bibliográficas.....	39
6. Tabelas.....	44
3. CONCLUSÕES GERAIS.....	50

## RESUMO

ROCHA, João Romero do Amaral Santos de Carvalho, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2015. **Pré-melhoramento genético do capim-elefante para a produção de bioenergia.** Orientador: Pedro Crescêncio Souza Carneiro. Coorientadores: José Eustáquio de Souza Carneiro, Marcos Deon Vilela de Resende e Juarez Campolina Machado.

Este trabalho foi realizado com os objetivos de quantificar a diversidade genética entre acessos de Capim-elefante do Banco Ativo de Germoplasma da Embrapa (BAGCE), por meio de caracteres morfo-agronômicos e de qualidade da biomassa, e avaliar a aptidão dos grupos Cameroon e Napier, visando pré-melhoramento genético do capim-elefante para a produção de bioenergia via combustão direta da biomassa. Utilizou-se da metodologia de modelos mistos para estimar os valores genotípicos de 100 acessos do BAGCE com base em caracteres morfo-agronômicos e de qualidade da biomassa, bem como avaliar a aptidão dos grupos Napier e Cameroon. Os grupos de dissimilaridade genética foram obtidos pelo método de Tocher a partir da matriz de dissimilaridade genética, obtida pela distância euclidiana média padronizada. Para quantificar a importância relativa dos caracteres para a diversidade genética, utilizou-se o método de Singh. Para a visualização da diversidade genética dentro dos grupos de dissimilaridade, utilizou-se o método hierárquico do vizinho mais próximo. Análises de correlações canônicas foram realizadas entre os grupos de caracteres morfo-agronômicos e de qualidade da biomassa para os grupos Napier e Cameroon. Complementarmente, utilizou-se a análise de trilha tendo-se como variável principal o poder calorífico (POC). Verificou-se que os acessos do BAGCE apresentaram maior variabilidade genética quanto aos caracteres de qualidade da biomassa em relação aos morfo-agronômicos. Os 100 acessos do BAGCE foram divididos em seis grupos de dissimilaridade genética, com potencial de uso na produção de etanol de segunda geração e combustão direta da biomassa. O grupo Cameroon apresenta em média aproveitamento térmico pela combustão da biomassa superior ao grupo Napier e, portanto, possui maior aptidão para a cogeração de energia. Para o grupo Napier o primeiro par canônico indicou que acréscimo no diâmetro do colmo (DC) resulta em redução da porcentagem de biomassa seca (%BS) e do teor de cinzas (CZ) e proporcionam incrementos no caractere POC. O segundo par canônico indica que os acessos do grupo Napier com florescimento (FLOR) mais tardio e com maior altura de plantas (ALT) são os que apresentam

menores teores de lignina (LIG) e nitrogênio (NIT). Enquanto o terceiro par canônico sugere que plantas com o FLOR mais tardio são as que proporcionam maiores teores de CZ e menores POC. Quanto à interpretação do primeiro par canônico para os acessos do grupo Cameroon pode-se afirmar que plantas com maior ALT e maior DC apresentam menores teores de CZ e maiores valores de POC, assim como menores conteúdos de celulose/lignina (C/L). No grupo Napier, destacaram-se os caracteres DC, LIG e CZ, enquanto, no grupo Cameroon, as características ALT, DC, C/L LIG, fibra em detergente neutro (FDN) e CZ foram as principais determinantes do POC. Este trabalho é pioneiro na quantificação da diversidade genética, visando utilização do capim-elefante como insumo bioenergético e reforça a importância de ações de pré-melhoramento para elevar a cultura do capim-elefante a um patamar de destaque na diversificação sustentável da matriz energética brasileira.

## ABSTRACT

ROCHA, João Romero do Amaral Santos de Carvalho, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2015. **Pre-breeding of elephant grass for bioenergy production.** Adviser: Pedro Crescêncio Souza Carneiro. Co-adviser: José Eustáquio de Souza Carneiro, Marcos Deon Vilela de Resende and Juarez Campolina Machado.

This work was carried out to quantify the genetic diversity of Embrapa's Active Germplasm Bank of Elephant grass (BAGCE), through morphoagronomic and biomass quality traits and assess the suitability of Cameroon and Napier groups, aiming pre-breeding of elephant grass for bioenergy production. For this, 100 BAGCE accessions were evaluated by morphoagronomic and biomass quality traits, in two cuts. We used the mixed model methodology to estimate the genotypic values of 100 BAGCE accessions, using morphoagronomic and biomass quality traits, and to evaluate the suitability of Napier and Cameroon groups. The genetic dissimilarity groups were obtained from Tocher method using dissimilarity matrix, obtained by standardized average Euclidean distance. To quantify the relative importance of traits to genetic diversity it was used the method proposed by Singh. To display the genetic diversity within the dissimilarity groups, we used hierarchical neighbor joining method. Canonical correlations analyses were carried out between groups of morphoagronomic and biomass quality traits, for elephant grass groups, Napier and Cameroon. In addition, we used the path analysis using as the main variable calorific value (POC). We found that the BAGCE accessions showed genetic variability superior to quality biomass than morphoagronomic traits. The 100 BAGCE accessions were distributed into six groups of genetic dissimilarity, with potential for second generation ethanol production and direct combustion of biomass. The Cameroon group has an average thermal recovery from combustion of the biomass superior than Napier group, and therefore, exhibit greater suitability to energy cogeneration. In Napier group, the first canonical pair indicates that the increase in average stalk diameter (DC) results in reduction of the percentage of dry biomass (% BS) and ash content (CZ) and increase calorific value (POC). The second canonical pair, reports that plants with late flowering (FLOR) and greater height average (ALT) are those with lower lignin content (LIG) and nitrogen (NIT). The third one, indicate that latter flowering accessions present higher values for CZ, lower POC and higher *in vitro* digestibility of dry biomass (DIBS). For Cameroon

group, plants with higher ALT and DC have lower CZ and cellulose/lignin ratio (C/L) and higher POC. Based on path analysis, we observed as main determinants of POC, in Napier group, the traits DC, LIG and CZ and ALT, DC, C/L LIG, FDN e CZ for Cameroon group. This work is pioneer in genetic diversity quantification, aimed the use of elephant grass as a bioenergy feedstock and reinforces the importance of pre-breeding to raise the elephant grass culture to a prominent level in the sustainable diversification of the Brazilian energy matrix.

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A biomassa vegetal como insumo energético vem ganhando importância no desenvolvimento de energias alternativas na matriz energética (Samson et al., 2005; Nass et al., 2007). Nesse sentido, as biorrefinarias representam opções para substituir a demanda por óleo, carvão, gás natural e outras fontes de energia não renováveis. Ademais, o desenvolvimento de tecnologias capazes de converter a biomassa de plantas em produtos químicos, energia e outros materiais podem ser fundamentais para mover a economia mundial em direção a uma matriz energética renovável e sustentável (McKendry, 2002; Foutoura et al, 2015).

As fontes de energia de biomassa mais comuns no Brasil são a cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) e o eucalipto (*Eucalyptus spp.*). O primeiro é a principal fonte de etanol e o segundo é, até o atual momento, a principal fonte de celulose e carvão vegetal (Fontoura et al., 2015). De acordo com Tew & Cobill (2008), a meta do melhoramento genético da cana energia destinada à combustão é obter cultivares com 30% de fibras, 65% de água e 5% de açúcares, porém, atualmente as cultivares de cana-de-açúcar apresentam 12 % de fibras, 75% de água e 13 % de açúcares. Ao estudarem espécies florestais, Munalula e Meincken (2009) obtiveram valores de poder calorífico para a espécie *Eucalyptus cladocalyx* de 18,87 MJ Kg<sup>-1</sup>.

Várias culturas têm sido citadas como candidatas à geração de energia a partir da biomassa (Boehmel et al., 2008; Sanderson & Adler, 2008; David & Ragauskas, 2010; Ra et al., 2012), dentre as quais uma alternativa de destaque é a utilização do capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schumach.), principalmente por reunir características de qualidade da biomassa adequadas a conversão em bioenergia, além de alta produção de biomassa (Strezov et al., 2008; Morais et al., 2009; Ra et al., 2012; Fontoura et al., 2015; Mohammed et al., 2015).

A espécie *P. purpureum* é perene, alógama e alotetraploide ( $2n = 4x = 48$ , genoma A'A'BB) (Martel et al. 1997). Apresenta baixa produção de sementes, sendo que a propagação comercial é feita principalmente de forma vegetativa. Devido ao cruzamento natural, a diversidade genética dessa espécie é elevada (Augustin e Tcacenco, 1993). Na África tropical (centro de domesticação), Brasil, Porto Rico, Estados Unidos, Austrália, China, Paquistão e Índia, há a manutenção de coleções de germoplasma. Intercâmbios de germoplasma foram extensivamente realizados sem registros adequados da genealogia (Bhandari et al., 2006). Esses autores ainda afirmam

que as coleções de germoplasma devem ser caracterizadas para manter identidade e pureza, bem como conservadas para que se tenha uma melhor utilização no melhoramento genético.

O capim-elefante pode ser dividido de acordo com a variabilidade dentro do germoplasma nos grupos: Cameroon, Napier, Mercker e Anão (Lira et al., 2010). As cultivares de capim-elefante atualmente em uso foram selecionadas para alimentação de animais, com ênfase em alta porcentagem de folhas, alta concentração de nitrogênio e baixos teores de fibras. A produção de biomassa foi muitas vezes um fator secundário, em prol da obtenção de alta qualidade nutricional (Rengsirikul et al., 2013). Em contrapartida, para a produção de bioenergia, o objetivo é obter o rendimento máximo de biomassa, com qualidade adequada seja para a combustão direta ou para a conversão em biocombustíveis (Strezov et al., 2008; Prochnow et al., 2009; Naik et al., 2010).

A Embrapa Gado de Leite mantém um Banco Ativo de Germoplasma de Capim-Elefante com 160 acessos, sendo: 101 de *P. purpureum*, 19 acessos de espécies do *pool* gênico terciário do gênero (*Pennisetum spp.*) e uma coleção de trabalho de *P. glaucum* com 40 acessos. A ampliação dos esforços de pré-melhoramento do capim-elefante, como a expansão das atividades de caracterização e avaliação do germoplasma e compreensão das inter-relações dos caracteres, favorecerá o seu uso como fonte de bioenergia, elevando a cultura do capim-elefante a um patamar de destaque na diversificação sustentável da matriz energética brasileira.

Diante do exposto, o presente trabalho foi realizado com os objetivos de quantificar a diversidade genética de acessos do Banco Ativo de Germoplasma de Capim-Elefante da Embrapa (BAGCE), por meio de caracteres morfo-agronômicos e de qualidade da biomassa e avaliar a aptidão dos grupos Cameroon e Napier, visando melhoramento genético do capim-elefante para a produção de bioenergia.

## 2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Augustin, E.; Tcacenco, F.A. Isozymatic characterization of elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum.). **Revista Brasileira de Genética**, v. 16, p. 685-696, 1993.

Bhandari, A.P., Sukanya, D.H.; Ramesh, C.R. Application of isozyme data in fingerprinting napiergrass (*Pennisetum purpureum* Schum.) for germplasm management. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 53, p. 253-264, 2006. doi:10.1007/s10722-004-6120-2

Boehmel, C.; Lewandowski, I.; Claupein, W. Comparing annual and perennial energy cropping systems with different management intensities. **Agricultural Systems**, v. 96, p. 224-236, 2008.

David, K.; Ragauskas, A.J. Switchgrass as an energy crop for biofuel production: a review of its ligno-cellulosic chemical properties. **Energy Environment Sciences**, v.3, n.9, p.1182-1190, 2010.

Fontoura, C.F. Brandão, L.E.; Gomes, L.L. Elephant grass biorefineries: towards a cleaner Brazilian energy matrix? **Journal of Cleaner Production**, v. 96, p. 85-93, 2015. doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.02.062

Lira, M.A., Cunha, M.V. e Pereira, A.V. Melhoramento genético do capim-elefante. In: Lira, M.A.; Dubeux Júnior, J.C.B.; Mello, A.C.L. (Eds.) **Capim-elefante: Fundamentos e Perspectivas**. Recife: IPA/UFRPE, 2010. p. 31-48.

Martel, E.; De Nay, D.; Siljak-Yakovlev, S.; Brown, S.; Sarr, A. Genome size variation and basic chromosome number in pearl millet and fourteen related *Pennisetum* species. **Journal of Heredity**, v. 88, p. 139-143, 1997. doi:10.1093/oxfordjournals.jhered.a0230

McKendry, P. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. **Bioresource Technology**, v. 83, p. 37-46, 2002.

Mohammed, I.Y.; Abakr, Y.A.; Kazi, F.K.; Yusup, S.; Alshareef, I.; Chin, S.A. Comprehensive Characterization of Napier Grass as a Feedstock for Thermochemical Conversion. **Energies**, v. 8, p. 3403-3417, 2015. doi:10.3390/en8053403

Morais, R.F.; Souza, J.B.; Leite, J.M.; Soares, L.H.B.; Alves, B.J.R.; Boddey, R.M.; Urquiaga, S. Elephant grass genotypes for bioenergy production by direct biomass combustion. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 2, p. 133-140, 2009.

Munalula, F.; Meincken, M. An evaluation of South African fuelwood with regards to calorific value and environmental impact. **Biomass and Bioenergy**, v. 33, p. 415-420, 2009.

Nass, L.L.; Pereira, P.A.A.; Ellis, D. Biofuels in Brazil: an overview. **Crop Science**, v. 47, p. 2228-2237, 2007.

Ra, K.; Shiotsu, F.; Abe, J.; Morita, S. Biomass yield and nitrogen use efficiency of cellulosic energy crops for ethanol production. **Biomass and Bioenergy**, v. 37, p. 330-334, 2012.

Samson, R.; Mani, S.; Boddey, R.; Sokhansanj, S.; Quesada, D.; Urquiaga, S.; Reis, V.; Holem, C. The potential of C4 perennial grasses for developing a global BIOHEAT industry. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 24, p. 461-495, 2005.

Sanderson, M.A.; Adler, P.R. Perennial Forages as Second Generation Bioenergy Crops. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 9, p.768-788, 2008 doi: 10.3390/ijms9050768

Strezov, V.; Evans, T.J.; Hayman, C. Thermal conversion of elephant grass (*Pennisetum Purpureum* Schum) to bio-gas, bio-oil and charcoal. **Bioresource Technology**, v. 99, p. 8394-8399, 2008. doi:10.1016/j.biortech.2008.02.039

Tew, T.L. Cobill, R.M. Genetic improvement of sugarcane (*Saccharum* spp.) as an energy crop. In: Vermerris, W. (Ed) **Genetic improvement of bioenergy crops**. Springer, New York, 2008, p 273-294.

## **CAPÍTULO 1**

# **POTENCIAL BIOENERGÉTICO E DIVERSIDADE GENÉTICA DO CAPIM- ELEFANTE VIA CARACTERES MORFO-AGRONÔMICOS E DE QUALIDADE DA BIOMASSA**

**VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2015**

## RESUMO

ROCHA, João Romero do Amaral Santos de Carvalho, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2015. **Potencial bioenergético e diversidade genética do capim-elefante via caracteres morfo-agronômicos e de qualidade da biomassa.** Orientador: Pedro Crescêncio Souza Carneiro. Coorientadores: José Eustáquio de Souza Carneiro, Marcos Deon Vilela de Resende e Juarez Campolina Machado.

O objetivo do presente estudo foi quantificar a diversidade genética entre acessos do Banco Ativo de Germoplasma de Capim-elefante da Embrapa (BAGCE) por meio de caracteres morfo-agronômicos e de qualidade da biomassa, visando seu uso como insumo bioenergético. Utilizou-se da metodologia de modelos mistos para estimar os valores genotípicos de 100 acessos do BAGCE com base em caracteres morfo-agronômicos e de qualidade da biomassa. Os grupos de similaridade genética foram obtidos pelo método de Tocher a partir da matriz de dissimilaridade genética, obtida pela distância euclidiana média padronizada. Para quantificar a importância relativa dos caracteres para a diversidade genética, utilizou-se o método de Singh. Para a visualização da diversidade dentro dos grupos de similaridade, utilizou-se o método hierárquico do vizinho mais próximo. Verificou-se que os acessos do BAGCE apresentam maior variabilidade genética para os caracteres de qualidade da biomassa em relação aos morfo-agronômicos. Os 100 acessos do BAGCE foram divididos em seis grupos de similaridade genética, com potencial de uso na produção de etanol de segunda geração e combustão direta da biomassa.

**Palavras chave:** *Pennisetum purpureum*, biomassa energética, etanol, combustão.

## ABSTRACT

ROCHA, João Romero do Amaral Santos de Carvalho, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2015. **Bioenergy potential and genetic diversity of Elephant grass via morphoagronomic and biomass quality traits.** Adviser: Pedro Crescêncio Souza Carneiro. Co-adviser: José Eustáquio de Souza Carneiro, Marcos Deon Vilela de Resende and Juarez Campolina Machado.

The aim of this study was to quantify the genetic diversity between accessions of Embrapa's Elephant Grass Active Germplasm Bank (BAGCE), through morphoagronomic and biomass quality traits, aiming its use as bioenergy feedstock. We used the mixed model methodology to estimate the genotypic values of 100 BAGCE accessions, using morphoagronomic and biomass quality traits. The genetic similarity groups were obtained from Tocher method using dissimilarity matrix, obtained by standardized average Euclidean distance. To quantify the relative importance of traits to genetic diversity we used the method proposed by Singh. To display the genetic diversity within the similarity groups, we used hierarchical neighbor joining method. It was found that the BAGCE accessions showed genetic variability to quality biomass traits superior in relation to morphoagronomic traits. The 100 BAGCE accessions were distributed into six groups of genetic similarity, with potential in second generation ethanol production and direct combustion of biomass.

**Key words:** *Pennisetum purpureum*, energetic biomass, ethanol, combustion.

## 1. Introdução

O capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) tem sido uma alternativa de destaque para a produção de bioenergia. A espécie, tradicionalmente utilizada como planta forrageira, tem atraído considerável atenção, como uma das culturas promissoras para utilização como insumo bioenergético, principalmente por sua eficiência fotossintética (mecanismo C4 de fixação de carbono), alta produção de biomassa, perenidade, rápido crescimento, ampla adaptação, capacidade de fixação biológica de nitrogênio, além de suas propriedades químicas (Anderson et al., 2008; Morais et al., 2009; Zeng-Hui & Hong-Bo, 2010; Ra et al., 2012; Fontoura et al., 2015).

As cultivares atualmente em uso foram selecionadas para alimentação de animais, com ênfase em alta porcentagem de folhas, alta concentração de nitrogênio e baixos teores de fibras. A produção de biomassa foi muitas vezes um fator secundário, em prol da obtenção de elevada qualidade nutricional (Rengsirikul et al., 2013). Em contrapartida, para a produção de bioenergia, o objetivo é obter o máximo rendimento de biomassa, com qualidade adequada seja para a combustão direta ou para a conversão em biocombustíveis (Strezov et al., 2008; Prochnow et al., 2009; Naik et al., 2010).

A biomassa quando destinada ao uso como fonte de energia térmica no processo de combustão deve apresentar altas concentrações de lignina e celulose (Gani & Naruse, 2007), alta relação carbono/nitrogênio, alto poder calorífico, além de baixos teores de umidade, cinzas e nitrogênio (McKendry, 2002; Long et al., 2006; Jaradat, 2010). Para a produção de etanol celulósico, é desejável alta relação celulose/lignina, além de hemicelulose para proporcionar alta produção de etanol por tonelada de biomassa. Ademais, nos processos fermentativos, é desejável que a biomassa apresente alta concentração de carboidratos de baixo peso molecular em estado não polimerizado (Porter et al., 2007).

A Embrapa Gado de Leite mantém um Banco Ativo de Germoplasma de Capim-Elefante (BAGCE) que possui 160 acessos. Destes, 101 acessos são de *Pennisetum purpureum*, 19 acessos de espécies do *pool* gênico terciário do gênero (*Pennisetum spp.*) e uma coleção de trabalho de *P. glaucum* com 40 acessos. A ampliação dos esforços de pré-melhoramento do capim-elefante, como a expansão das atividades de caracterização e avaliação do germoplasma quanto à qualidade da biomassa, favorecerá o seu uso como fonte de bioenergia.

Na etapa de pré-melhoramento, destacam-se as análises de diversidade genética, podendo citar em capim-elefante trabalhos de diversidade genética com base em características morfológicas e agronômicas (Van de Wouw et al., 1999; Shimoya et al., 2001; Shimoya et al., 2002), citogenéticas (Techio et al., 2002) e moleculares (Struwig et al., 2009; Harris et al., 2009; Azevedo et al., 2012; Wanjala et al., 2013). Contudo, para uso bioenergético, a quantificação da diversidade genética em capim-elefante com base na qualidade da biomassa não é relatada na literatura.

O objetivo do presente estudo foi quantificar a diversidade genética entre acessos de capim-elefante do BAGCE, visando o uso como insumo bioenergético, por meio de caracteres morfo-agronômicos e de qualidade da biomassa.

## **2. Material e Métodos**

O experimento foi conduzido no campo experimental da Embrapa Gado de Leite, localizado no município de Coronel Pacheco, MG, Brasil (21°33'18''S, 43°15'51''W, a 417m de altitude). A implantação do experimento foi realizada em dezembro de 2011, em sulcos com 0,20 m de profundidade, com adubação de plantio realizada de acordo com a análise de solo. Para adubação de manutenção foi utilizada a dose de 60 Kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de N, realizada após cada um dos cortes de avaliação. Os demais tratamentos culturais foram os recomendados para a cultura do capim-elefante.

Após a fase de estabelecimento, 30 dias após a data de implantação do experimento, as parcelas foram cortadas a 0,30 m da superfície do solo (corte de uniformização), procedendo-se assim, o início da fase de coleta de dados. Foram realizados dois cortes de avaliação para o presente estudo, que para o uso como insumo bioenergético adotou-se a frequência de cortes a cada 250 dias.

Foram avaliados 100 acessos do Banco Ativo de Germoplasma de Capim-Elefante da Embrapa (BAGCE). As parcelas foram constituídas de uma linha de 4m de comprimento, espaçadas em 1,5m. O delineamento experimental utilizado foi o de látice simples (10 x 10), com duas repetições.

As características mensuradas foram classificadas em duas categorias: morfo-agronômicas e qualidade da biomassa.

(i) Características morfo-agronômicas: Florescimento (dias) - foi determinado pelo número de dias a partir do corte de uniformização até o florescimento de 50% da parcela experimental; altura média (m) - foi obtida a partir da média aritmética da altura de três plantas tomadas ao acaso, em cada parcela, medindo-se desde o nível do solo até

curvatura da última folha completamente expandida; vigor fenotípico, obtido por meio de escala de notas em que varia de 1 a 5: nota 5 alto vigor e 1 baixo vigor; diâmetro do colmo (mm) - foi obtida a partir da média aritmética de cinco plantas na parcela útil, tomadas ao acaso, medidas a 10 cm do nível do solo com paquímetro digital; biomassa seca total ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) - foi quantificado pela multiplicação da biomassa fresca e a biomassa seca dada em porcentagem.

(ii) Características de qualidade da biomassa do capim-elefante. Após cada corte das parcelas experimentais foram retiradas amostras aleatórias de plantas inteiras provenientes do campo, as quais foram secas a uma temperatura de  $56^{\circ}\text{C}$  sob circulação de ar por 72 horas. Após a secagem, as amostras foram moídas (1 mm) em moinho tipo Willey e enviadas ao laboratório de análise da biomassa para realização das análises químicas descritas abaixo:

Teores de celulose (%); lignina (%) e hemicelulose (%); - foram determinadas conforme metodologias propostas por Goering & Van Soest (1970). Digestibilidade *in vitro* da biomassa seca (%) - foi determinada conforme metodologia utilizada por Tilley & Terry, 1963. Nitrogênio (%) - foi determinado conforme metodologia proposta pela *Association of Official Analytical Chemical* (AOAC, 1975). Cinzas (%) - foi determinada conforme metodologia proposta por Silva & Queiroz (2002). Poder calorífico ( $\text{MJ kg}^{-1}$ ) - determinado utilizando-se bomba calorimétrica IKA C-5000. Porcentagem de biomassa seca (%) - obtida pela amostragem de plantas inteiras de cada parcela, que após pesagem (peso verde), foram secas em estufa até estabilização do peso. As amostras foram novamente pesadas (peso seco) e, então, determinada a porcentagem de biomassa seca, pela razão entre peso seco e peso verde. Esse caractere foi utilizado como denominador comum para se estimar a biomassa seca total, celulose, lignina, hemicelulose, digestibilidade *in vitro* da matéria seca, nitrogênio, cinzas e poder calorífico.

Em razão da complexidade estrutural dos dados (medidas repetidas ao longo do tempo ou dados longitudinais) adotou-se nas análises estatísticas a metodologia de modelos mistos via REML/BLUP (máxima verossimilhança restrita residual/melhor predição linear não viciada), conforme Patterson & Thompson (1971).

Na análise de *deviance* adotou-se o modelo estatístico denotado por:  $y = X\mathbf{m} + Z\mathbf{g} + W\mathbf{b} + T\mathbf{i} + Q\mathbf{p} + \varepsilon$ , em que  $y$  é o vetor de dados,  $\mathbf{m}$  é o vetor dos feitos das combinações medição-repetição (assumidos como fixos) somados à média geral,  $\mathbf{g}$  é o vetor dos efeitos genotípicos (assumidos como aleatórios),  $\mathbf{b}$  é o vetor dos efeitos de

blocos (assumidos como aleatórios),  $\mathbf{i}$  é o vetor dos efeitos da interação genótipos x medições,  $\mathbf{p}$  é vetor dos efeitos de ambiente permanente (parcelas no caso) (aleatórios) e  $\boldsymbol{\varepsilon}$  é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios). X, Z, W, T e Q representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.

Para os efeitos aleatórios do modelo testou-se a significância pela razão de verossimilhança (LTR), usando o teste qui-quadrado com um grau de liberdade. Também foram estimadas as médias BLUP (*Best Linear Unbiased Prediction*) para cada um dos 100 acessos com base nos 13 caracteres avaliados.

Na quantificação da diversidade genética entre os 100 acessos do BAGCE utilizou-se o método de agrupamento de Tocher (Rao, 1952) com base na matriz de dissimilaridade genética, obtida pela distância euclidiana média padronizada a partir das médias BLUP. Para a análise de *deviance*, estimativas das médias BLUP e obtenção da matriz de dissimilaridade genética utilizou-se o *software* Selegen-REML/BLUP (Resende, 2007).

A importância relativa dos caracteres, na quantificação da divergência genética, foi estimada com base no método proposto por Singh (1981), utilizando o programa computacional GENES (Cruz et al., 2013).

Para a análise gráfica da diversidade genética entre os 100 acessos do BAGCE foram construídos dendrogramas com base na metodologia hierárquica da ligação simples (vizinho mais próximo), por meio do software DARwin versão 6.0.000 (Perrier & Jacquemoud-Collet, 2014).

### **3. Resultados e Discussão**

Detectou-se efeito de clones significativo ( $p < 0,05$ ) pela análise conjunta de *deviance* nos dois cortes avaliados tanto para os caracteres morfo-agronômicos quanto para os de qualidade da biomassa, com exceção de hemicelulose (Tabela 1). Esses resultados indicam elevada variabilidade genética entre os 100 acessos (clones) do BAGCE.

Quanto à interação clones x cortes, observou-se efeito significativo ( $p < 0,01$ ) para quatro (florescimento, altura média, diâmetro do colmo e biomassa seca total) das cinco características morfo-agronômicas. Para os caracteres de qualidade da biomassa, houve efeito significativo ( $p < 0,01$ ) para duas (porcentagem de biomassa seca e teor de celulose) das oito avaliadas (Tabela 1). Interação clones x cortes não significativa indica comportamento coincidente de clones em relação aos diferentes cortes de avaliação.

Infere-se, portanto que a seleção pode ser realizada em qualquer um dos cortes, especialmente, quando são considerados os caracteres de qualidade da biomassa. Além do mais, efeito significativo de clones na presença de interação significativa corrobora com a elevada variabilidade dos 100 acessos do BAGCE.

Considerando a variabilidade dos caracteres morfo-agronômicos avaliados nos 100 acessos, observou-se a formação de três grupos pelo método de otimização de Tocher (Figura 1). No primeiro grupo, foram alocados 96 acessos. Os dez acessos mais similares foram, nesta ordem, 9, 43, 12, 14, 63, 20, 64, 81, 47 e 82. Menor distância dentro dos grupos em relação à distância entre grupos é o princípio básico de agrupamento do método de Tocher (Rao, 1952). Assim, espera-se que os acessos do primeiro grupo possuam genótipos similares. Contudo, pode ser observado no dendrograma da Figura 1, que ainda existe elevada variabilidade genética a ser explorada dentro desse grupo. Van de Wouw et al. (1999) comentam que acessos estreitamente relacionados geneticamente podem ter diferentes valores agronômicos e, por conseguinte, distintos usos. Assim, cruzamentos dentro do grupo podem ser recomendados sem prejudicar os aspectos morfo-agronômicos de interesse, diferentemente do que ocorre quando acessos selvagens são utilizados nos blocos de cruzamentos.

Cabe ressaltar que o acesso 49 (Mott), alocado isoladamente no grupo III (Figura 1); apresenta reduzida altura média de planta (*dwarfing genes*), baixa produção de biomassa e conseqüentemente baixo potencial de utilização para produção de bioenergia. Em trabalho com marcadores moleculares, Struwig et al. (2009) relatam que os marcadores do tipo RAPD (*Random Amplification of Polymorphic DNA*) não foram capazes de separar acessos de capim-elefante quanto a altura média de plantas. Da mesma forma, Azevedo et al. (2012) constataram que marcadores microssatélites também não foram eficientes em determinar um padrão de agrupamento com acessos de baixa estatura. Isso ressalta a importância da utilização das características morfo-agronômicas para a diversidade genética do capim-elefante.

Ao se considerar a variabilidade das características de qualidade da biomassa avaliadas nos 100 acessos, foi possível distinguir 11 grupos, pelo método de otimização de Tocher. Sessenta e cinco por cento dos acessos concentraram-se no primeiro grupo, dentre os quais os dez mais similares foram: 46, 71, 64, 67, 59, 43, 51, 61, 38 e 98. De forma semelhante ao observado para os caracteres morfo-agronômicos, se verifica elevada variabilidade genética dentro do grupo I (Figura 2). Em suma, pode-se inferir

que as características de qualidade da biomassa do capim-elefante apresentam maior diversidade genética que as características morfo-agronômicas na discriminação dos 100 acessos de capim-elefante do BAGCE. Portanto, as análises de qualidade da biomassa, rotineiramente utilizadas em programas de melhoramento e avaliação do valor nutritivo de forrageiras, auxiliam na seleção e distinção dos grupos de divergência, e podem contribuir para a caracterização da biomassa de capim-elefante para uso energético (Ampong-Nyarko & Murray, 2011).

A análise de diversidade entre os 100 acessos com base nas características morfo-agronômicas e de qualidade da biomassa do capim-elefante em conjunto, revelou a formação de seis grupos, onde 91 acessos se concentraram no primeiro grupo (Figura 3). Azevedo et al. (2012), ao estudarem a diversidade genética desses acessos, por meio de marcadores moleculares do tipo microssatélite, obtiveram apenas um grupo de similaridade genética entre os acessos de *P. purpureum* avaliados. Esses resultados indicam a importância de caracteres morfo-agronômicos e de qualidade da biomassa na quantificação da diversidade genética de capim-elefante, já que permitiram separar eficientemente os grupos de similaridade genética. Vale ressaltar, que as propriedades de qualidade da biomassa (conteúdo de umidade, poder calorífico, e teores de cinzas, celulose, lignina e nitrogênio) são capazes de influenciar todo processo de conversão em etanol e aproveitamento térmico da biomassa (McKendry, 2002; Gani & Naruse, 2007; Prochnow et al., 2009; Jaradat, 2010).

Os dez acessos mais similares considerando os caracteres morfo-agronômicos e de qualidade da biomassa em conjunto foram: 26, 72, 82, 81, 29, 47, 75, 57, 41 e 44. Azevedo et al. (2012), ao utilizar marcadores microssatélites na análise de diversidade genética dos 100 acessos utilizados neste trabalho, relataram que os acessos 82, 81, 75 e 41 apresentaram coeficiente de similaridade igual a 0,98, indicando que estes acessos podem ter os mesmos ancestrais genéticos e que alguns deles podem ser descartados sem perda de diversidade genética.

A avaliação da importância relativa das características na diversidade genética dos 100 acessos do BAGCE, pelo método de Singh (1981), indicou que as cinco principais características foram: florescimento, porcentagem de biomassa seca, diâmetro do colmo, poder calorífico e teor de nitrogênio (Tabela 2). Os demais caracteres possuem menor importância relativa, mas não devem ser descartados, já que a retirada do caractere de menor importância (altura média) altera o padrão de agrupamento dos

acessos. Assim, todos os caracteres utilizados nesse trabalho devem ser considerados para a quantificação da diversidade genética dos acessos.

Na Tabela 3, são apresentados os valores genotípicos das características morfo-agronômicas e de qualidade da biomassa do capim-elefante utilizadas no agrupamento pela metodologia de Tocher. Foi possível a identificação de seis diferentes grupos, descritos a seguir com base nas cinco principais características (porcentagem de biomassa seca, diâmetro do colmo, poder calorífico e teor de nitrogênio), as quais podem direcionar os acessos para diferentes usos finais (e.g. uso forrageiro, produção de etanol de segunda geração e combustão direta da biomassa).

Grupo I: Os acessos se caracterizam por apresentar valores médios para as características: florescimento, diâmetro do colmo, porcentagem de biomassa seca, teor de nitrogênio e poder calorífico. É o grupo que apresenta maior número de acessos e a maior diversidade intragrupo. Os acessos desse grupo tem aptidão tanto para combustão, quanto para produção de etanol celulósico, sobretudo quando considerados os de maior potencial de produção de biomassa.

Grupo II: Apresenta florescimento precoce, diâmetro do colmo fino, alto teor de nitrogênio e baixo poder calorífico. É representado pelos acessos 63, 90, 91 e 100. Os acessos desse grupo tem baixa aptidão para produção de biomassa energética e deveriam ser direcionados, especificamente para uso forrageiro.

Grupo III: Inclui os acessos 2 e 95. O grupo caracteriza-se por apresentar florescimento tardio, diâmetro do colmo espesso e altura elevada. Destaca-se pela grande produção de biomassa seca total. Em função do elevado potencial de produção de biomassa, os acessos desse grupo apresentam aptidão tanto para combustão, quanto para produção de etanol celulósico.

Grupo IV: Apresenta um único genótipo - acesso 6 - caracterizado pelo florescimento tardio, diâmetro do colmo espesso, alta porcentagem de biomassa seca, baixo teor de nitrogênio e poder calorífico médio. Esse acesso pode ser direcionado à produção de etanol celulósico em função do elevado teor de celulose presente no mesmo.

Grupo V: Apresenta um único genótipo - acesso 74 - com florescimento precoce, baixa porcentagem de biomassa seca e teor de nitrogênio, mas possui o mais alto poder calorífico entre todos os acessos, bem como o maior teor de lignina, e a menor digestibilidade *in vitro* da biomassa seca. O acesso desse grupo é especificamente adaptado ao processo de combustão da biomassa.

Grupo VI: Apresenta um único indivíduo - acesso 49 - Caracteriza-se por apresentar florescimento super tardio, diâmetro do colmo muito fino, teor de nitrogênio muito alto, contudo o poder calorífico é o mais baixo entre todos os acessos. O acesso 49 é especificamente adaptado para uso forrageiro, sob pastejo, em função do alto valor nutricional e reduzida altura média de plantas (*dwarfing genes*).

A biomassa quando destinada ao uso como fonte de energia térmica no processo de combustão deve apresentar altas concentrações de lignina e celulose (Gani & Naruse, 2007), alta relação carbono/nitrogênio, alto poder calorífico, além de baixos teores de umidade, cinzas e nitrogênio (McKendry, 2002; Long et al., 2006; Jaradat, 2010). Para a produção de etanol celulósico, é desejável alta relação celulose/lignina, além de hemicelulose para proporcionar alta produção de etanol por peso de biomassa. (Porter et al., 2007).

Os resultados obtidos nesse trabalho indicam ser possível aproveitar o potencial do capim-elefante como planta bioenergética, já que os acessos de capim-elefante do BAGCE apresentam elevada diversidade genética distribuída em diferentes grupos, que pode ser explorada como insumo para produção de etanol de segunda geração e combustão direta da biomassa.

Nesse sentido, o cruzamento entre indivíduos divergentes, pertencentes a grupos distintos, é recomendado para a obtenção de populações com alto potencial para extração de clones superiores. Portanto, o inter cruzamento dos acessos dos grupos I (acessos: 15, 50, 53 e 78), III e V, são promissores visando melhoria do potencial do capim-elefante como insumo para a combustão da biomassa. Para a produção de etanol de segunda geração (etanol celulósico), os acessos dos grupos I (acessos: 9, 12, 27 e 97), III e IV devem ser preferencialmente inter cruzados.

Este trabalho é pioneiro na quantificação da diversidade genética, visando utilização do capim-elefante como insumo bioenergético e reforça a importância de ações de pré-melhoramento para elevar a cultura do capim-elefante a um patamar de destaque na diversificação sustentável da matriz energética brasileira.

#### **4. Conclusões**

Os acessos do BAGCE apresentam maior variabilidade genética quanto aos caracteres de qualidade da biomassa em relação aos morfo-agronômicos;

Os 100 acessos do BAGCE foram divididos em seis grupos de dissimilaridade genética, com potenciais diferenciados para uso na produção de etanol de segunda geração e combustão direta da biomassa.

## 5. Referências Bibliográficas

Ampong-Nyarko, K.; Murray, C.L. Utility of Forage Grass Nutrient Composition Databases in Predicting Ethanol Production Potential. **Journal of Biobased Materials and Bioenergy**, v. 5, n. 3, p. 295-305, 2011. doi.org/10.1166/jbmb.2011.1167

Anderson, W.; Casler, M.; Baldwin, B. Improvement of Perennial Forage Species as Feedstock for Bioenergy. In: Vermerris, W. (Ed.). **Genetic Improvement of Bioenergy Crops**, Springer, p. 308-345, 2008.

Association of Official Analytical Chemical (AOAC). Washington. **Official methods of analysis of the Association of analytical Chemists**. 12 ed. Washington, D.C. 1975. 1094p.

Azevedo, A.L.S.; Costa, P.P.; Machado, J.C.; Machado, M.A.; Pereira, A.V.; Lédo, F.J.S. Cross-species amplification of *Pennisetum glaucum* microsatellite markers in *Pennisetum purpureum* and genetic diversity of Napier grass accessions. **Crop Science**, v. 52, p.1776-1785, 2012.

Cruz, C.D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**, v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013.

Fontoura, C.F. Brandão, L.E.; Gomes, L.L. Elephant grass biorefineries: towards a cleaner Brazilian energy matrix? **Journal of Cleaner Production**, v. 96, p. 85-93, 2015. doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.02.062

Gani, A.; Naruse, I. Effect of cellulose and lignin content on pyrolysis and combustion characteristics for several types of biomass. **Renewable Energy**, v. 32, n. 4, p. 649-661, 2007.

Goering, H.K.; Van Soest, P.J. Forage fiber analysis: Apparatus, Reagents, Procedures and some applications. **Agricultural Handbook**, Washington, D.C., 1967. 379p.

Harris, K.; Anderson, W.; Malik, R. Genetic relationships among napiergrass (*Pennisetum purpureum* Schum.) nursery accessions using AFLP markers. **Plant Genetic Resources**, v. 8, n. 1, p. 63-70, 2009. doi: 10.1017/S1479262109990165

Jaradat, A.A. Genetic resources of energy crops: Biological systems to combat climate change. **Australian Journal of Crop Science**, v. 4, n. 5, p. 309-323, 2010.

Long, S.P.; Zhu, X.G.; Naidu, S.L.; Ort, D.R. Can improvement in photosynthesis increase crop yields? **Plant Cell Environment**, v. 29, p. 315-330, 2006.

McKendry, P. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. **Bioresource Technology**, v. 83, p. 37-46, 2002.

Morais, R.F.; Souza, J.B.; Leite, J.M.; Soares, L.H.B.; Alves, B.J.R.; Boddey, R.M.; Urquiaga, S. Elephant grass genotypes for bioenergy production by direct biomass combustion. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 2, p. 133-140, 2009.

Naik, S. N.; Goud, V. V.; Rout, P. K; Dalai, A. K. Production of First and Second Generation Biofuels: A Comprehensive Review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 2, p. 578-597, 2010. doi.org/10.1016/j.rser.2009.10.003

Patterson, H.D.; Thompson, R. Recovery of inter-block information when blocks sizes are unequal. **Biometrika**, v.58, p.545-554, 1971.

Perrier, X., Jacquemoud-Collet, J.P.: **DARwin software**. 2014 [<http://darwin.cirad.fr/darwin>].

Porter, J.R.; Kirsch, M.M.N; Streibig, J.; Felby, C. Choosing crops as energy feedstocks. **Nature Biotechnology**, n. 25, p. 716-717, 2007.

Prochnow, A.; Heiermann, M.; Plöchl, M.; Amon, T.; Hobbs, P.J. Bioenergy from Permanent Grassland - A Review: 2. Combustion. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 21, p. 4945-4954, 2009. doi:10.1016/j.biortech.2009.05.069

Ra, K.; Shiotsu, F.; Abe, J.; Morita, S. Biomass yield and nitrogen use efficiency of cellulosic energy crops for ethanol production. **Biomass and Bioenergy**, v. 37, p. 330-334, 2012.

Rao, C.R. **Advanced statistical methods in biometric research**. New York: John Wiley & Sons; 1952. 390p.

Rengsirikul, K.; Ishii, Y.; Kangvansaichol, K.; Sripichitt, P.; Punsuvon, V.; Vaithanomsat, P.; Nakamane, G.; Tudsri, S. Biomass Yield, Chemical Composition and Potential Ethanol Yields of 8 Cultivars of Napiergrass (*Pennisetum purpureum* Schumacher.) Harvested 3-Monthly in Central Thailand. **Journal of Sustainable Bioenergy Systems**, v. 3, n. 2, p. 107-112, 2013.

Resende, M.D.V. **Seleção-REML / BLUP: Sistema Estatístico e Seleção Genética Computadorizada Via Modelos Lineares Mistos**. Embrapa Florestas, Colombo, 2007. 359p.

Shimoya, A.; Cruz, C.D.; Ferreira, R.P.; Pereira, A.V.; Carneiro, P.C.S. Divergência genética entre acessos de um banco de germoplasma de capim elefante. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n.7, p. 971-980, 2002.

Shimoya, A.; Ferreira, R.P.; Pereira, A.V.; Cruz, C.D.; Carneiro, P.C.S. Comportamento morfo-agronômico de genótipos de capim-elefante. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 48, n. 276, p. 141-158, 2001.

Silva, D.J.; Queiroz, A.C. **Análises de alimentos** (métodos químicos e biológicos). 3ªed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2002. 235p.

Singh, D. The relative importance of characters affecting genetic divergence. **Indian Journal of Genetic and Plant Breeding**, v. 41, p. 237-245, 1981.

Strezov, V.; Evans, T.J.; Hayman, C. Thermal conversion of elephant grass (*Pennisetum Purpureum* Schum) to bio-gas, bio-oil and charcoal. **Bioresource Technology**, v. 99, p. 8394-8399, 2008. doi:10.1016/j.biortech.2008.02.039

Struwig, M.; Mienie, C.M.S.; Van Den Berg, J.; Mucina, L.; Buys, M.H. AFLPs are incompatible with RAPD and morphological data in *Pennisetum purpureum* (Napier grass). **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 37, p. 645-652, 2009. doi:10.1016/j.bse.2009.09.010

Techio, V.H.; Davide, L.C.; Pereira, A.V.; Bearzoti, E. Cytotaxonomy of some species and of interspecific hybrids of *Pennisetum* (Poaceae, Poales). **Genetics and Molecular Biology**, v. 25, n. 2, p. 203-209, 2002. doi:10.1590/S1415-47572002000200014

Tilley, J.H.A.; Terry, R.A. A two stage technique for in vitro digestion of forage crops. **Journal of British Grassland Society**, v. 18, p. 104-111, 1963.

Van de Wouw, M.; Hanson, J.; Luethi, S. Morphological and agronomic characterisation of a collection of napier grass (*Pennisetum purpureum*) and *P. purpureum* × *P. glaucum*. **Tropical Grasslands**, v.33, pp.150–158, 1999.

Wanjala, B.W.; Obonyo, M.; Wachira, F.N.; Muchugi, A.; Mula, M.; Harvey, J.; Skilton, R.A.; Proud, J.; Hanson, J. Genetic diversity in Napier grass (*Pennisetum purpureum*) cultivars: implications for breeding and conservation. **AOB PLANTS**, v. 5, p. 1-10, 2013. doi:10.1093/aobpla/plt022

Zeng-Hui, L.; Hong-Bo, S. Main developments and trends of international energy plants, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n. 14, p. 530-534, 2010.

## 6. Tabelas e Figuras

**Tabela 1** - Análise conjunta de *deviance* em dois cortes de capim-elefante para os caracteres avaliados em 100 acessos de capim-elefante.

Características		Efeitos		
		Clones+	Clones x Cortes+	Modelo completo
FLOR	<i>Deviance</i>	2634,08	2683,43	2563,34
	LTR ( $X^2$ )	70,74**	120,09**	-
ALT	<i>Deviance</i>	-131,64	-124,67	-147,43
	LTR ( $X^2$ )	15,79**	22,76**	-
VIG	<i>Deviance</i>	-216,52	-237,65	-238,54
	LTR ( $X^2$ )	22,02**	0,89 <sup>ns</sup>	-
DC	<i>Deviance</i>	1466,52	1454,36	1442,94
	LTR ( $X^2$ )	23,58**	11,42**	-
BS	<i>Deviance</i>	1943,07	1924,56	1912,76
	LTR ( $X^2$ )	30,31**	11,8**	-
%BS	<i>Deviance</i>	-1996,2	-1974,20	-2008,30
	LTR ( $X^2$ )	12,06**	34,08**	-
CEL	<i>Deviance</i>	887,74	886,67	882,07
	LTR ( $X^2$ )	5,67*	4,60*	-
LIG	<i>Deviance</i>	527,91	521,16	519,30
	LTR ( $X^2$ )	8,61**	1,86 <sup>ns</sup>	-
HCEL	<i>Deviance</i>	625,53	627,04	623,76
	LTR ( $X^2$ )	1,77 <sup>ns</sup>	3,28 <sup>ns</sup>	-
DIBS	<i>Deviance</i>	1248,49	1239,77	1237,9
	LTR ( $X^2$ )	10,59**	1,87 <sup>ns</sup>	-
NIT	<i>Deviance</i>	-1428,90	-1440,50	-1441,00
	LTR ( $X^2$ )	12,02**	0,44 <sup>ns</sup>	-
CZ	<i>Deviance</i>	662,02	653,78	651,99
	LTR ( $X^2$ )	10,03**	1,79 <sup>ns</sup>	-
POC	<i>Deviance</i>	-688,89	-698,84	-701,45
	LTR ( $X^2$ )	12,56**	2,61 <sup>ns</sup>	-

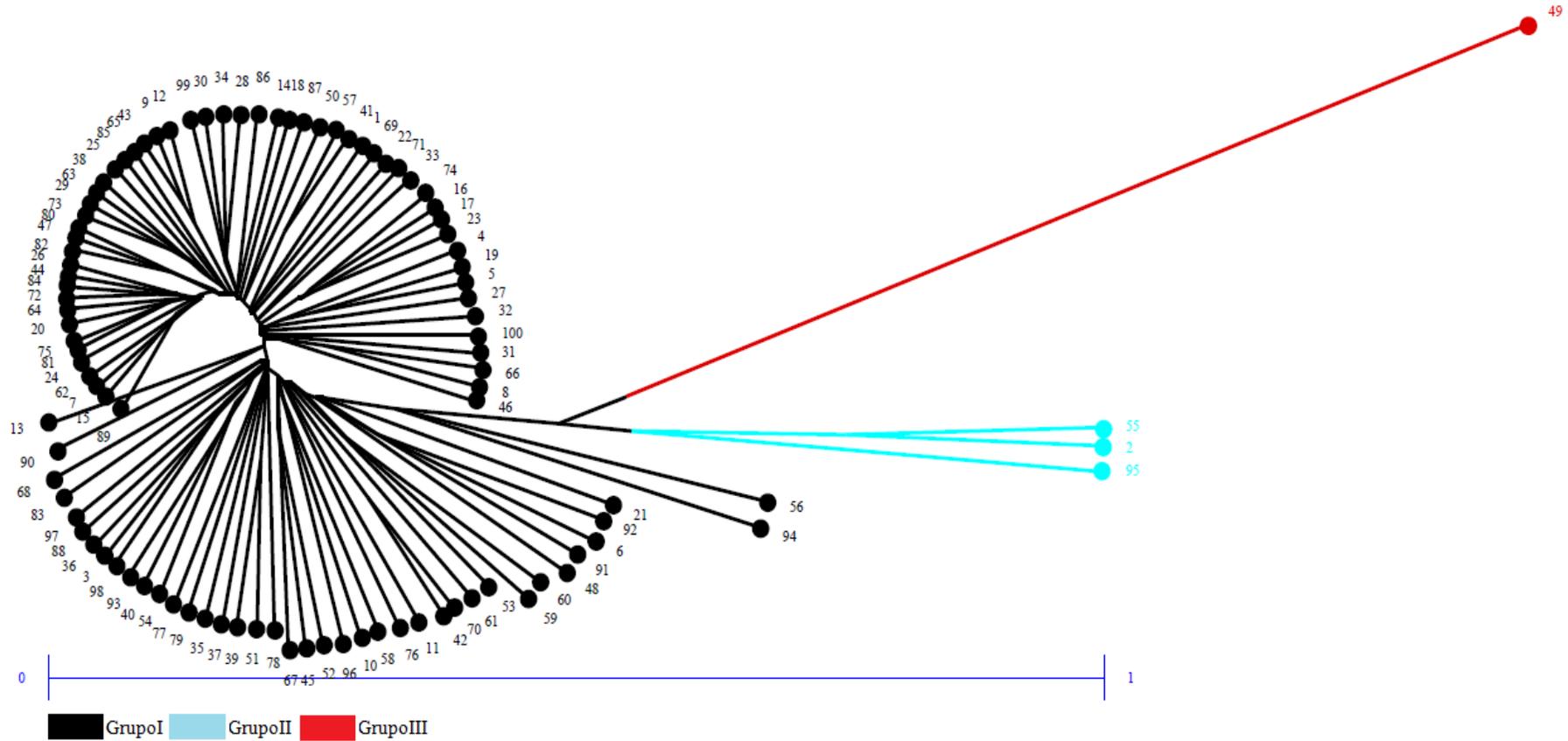
FLOR = Florescimento (dias); ALT = Altura média (m); VIG = Vigor fenotípico (1-5); DC = Diâmetro do colmo (mm); BS = Biomassa seca total (Mg ha<sup>-1</sup>); %BS = Porcentagem de biomassa seca (%); CEL = Celulose (%); LIG = Lignina (%); HCEL = Hemicelulose (%); DIBS = Digestibilidade *in vitro* da biomassa seca (%); NIT = Nitrogênio (%); CZ = Cinzas (%) e POC = Poder calorífico (MJ kg<sup>-1</sup>).

Qui-quadrado tabelado: 3,84 e 6,63 para os níveis de significância de 5% e 1%, respectivamente.

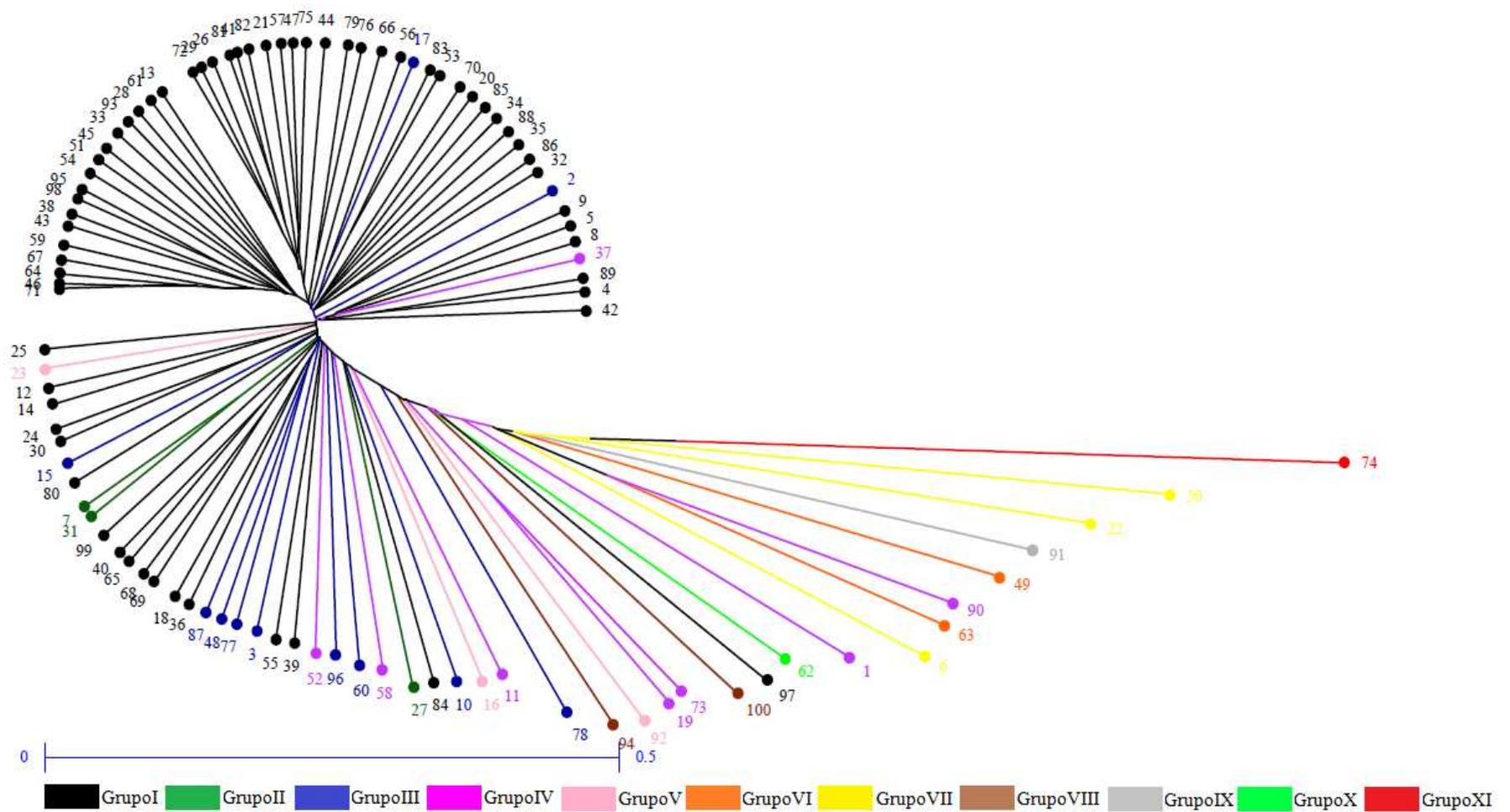
\*\* , significativo a 1 e 5% respectivamente, pelo teste de qui-quadrado.

<sup>ns</sup> não significativo a 5%, pelo teste de qui-quadrado.

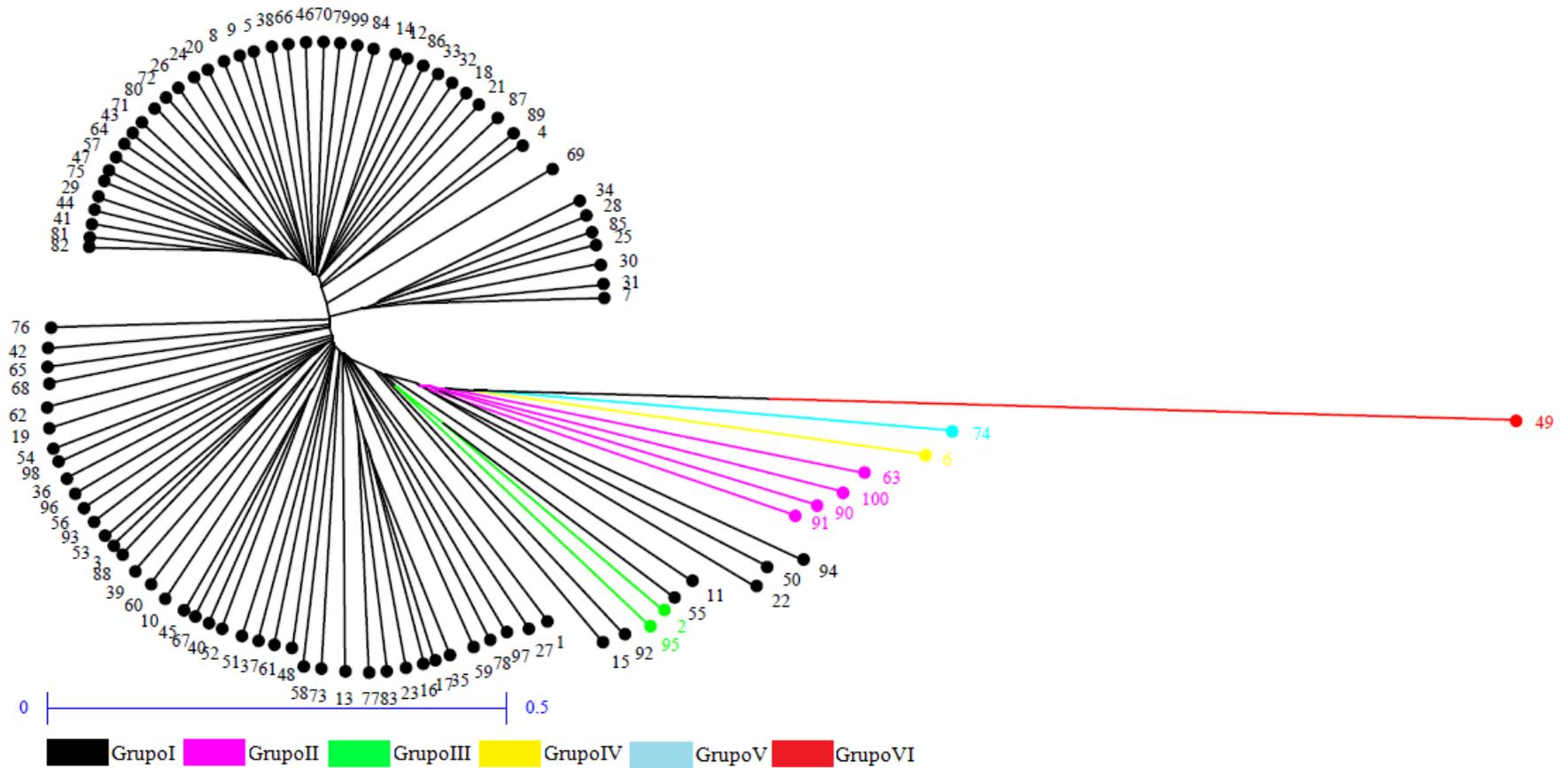
+ Deviance do modelo ajustado sem os referidos efeitos.



**Figura 1** - Dendrograma de 100 acessos de *P. purpureum* do BAGCE, baseado no método do vizinho mais próximo, obtido a partir das médias BLUP de características morfo-agronômicas do capim-elefante. As diferentes cores representam os grupos de acessos similares formados pelo método de agrupamento de Tocher.



**Figura 2** - Dendrograma de 100 acessos de *P. purpureum* do BAGCE, baseado no método do vizinho mais próximo, obtido a partir das médias BLUP de características da qualidade da biomassa do capim-elefante. As diferentes cores representam os grupos de acessos similares formados pelo método de agrupamento de Tocher.



**Figura 3** - Dendrograma de 100 acessos de *P. purpureum* do BAGCE, baseado no método do vizinho mais próximo, obtido a partir das médias BLUP de características morfo-agronômicas e de qualidade da biomassa do capim-elefante. As diferentes cores representam os grupos de acessos similares formados pelo método de agrupamento de Tocher.

**Tabela 2** – Contribuição relativa dos caracteres morfo-agronômicos e de qualidade da biomassa do capim-elefante, avaliados em 100 acessos do BAGCE, com base no método de Singh (1981).

	Características	S,j	Importância relativa (%)
Morfo-agronômicas	FLOR	771,833	17,88
	DC	495,315	11,47
	VIG	297,042	6,88
	BS	221,342	5,13
	ALT	195,662	4,53
Qualidade da biomassa	%BS	538,504	12,47
	POC	430,592	9,97
	NIT	324,295	7,51
	DIBS	298,57	6,92
	CEL	252,646	5,85
	LIG	252,31	5,84
	CZ	239,069	5,54

FLOR = Florescimento (dias); ALT = Altura média (m); VIG = Vigor fenotípico (1-5); DC = Diâmetro do colmo (mm); BS = Biomassa seca total (Mg ha<sup>-1</sup>); %BS = Porcentagem de biomassa seca (%); CEL = Celulose (%); LIG = Lignina (%); HCEL = Hemicelulose (%); DIBS = Digestibilidade *in vitro* da biomassa seca (%); NIT = Nitrogênio (%); CZ = Cinzas (%) e POC = Poder calorífico (MJ kg<sup>-1</sup>).

**Tabela 3** – Resumo do agrupamento de Tocher, valores genotípicos médios para as características morfo-agronômicas e de qualidade da biomassa do capim-elefante nos diferentes grupos e caracterização dos grupos para as cinco principais características.

Características	Grupo I	Grupo II	Grupo III	Grupo IV	Grupo V	Grupo VI	
Morfo-agronômicas	FLOR	181 (223 - 154)	158 (168 - 152)	204 (210 - 197)	200 (200 - 200)	168 (168 - 168)	217 (217 - 217)
	ALT	3,63 (4,08 - 3,27)	3,43 (3,61 - 3,18)	4,06 (4,11 - 4,01)	4,16 (4,16 - 4,16)	3,56 (3,56 - 3,56)	2,54 (2,54 - 2,54)
	VIG	3,20 (3,85 - 2,76)	2,97 (3,17 - 2,84)	3,82 (3,94 - 3,70)	3,22 (3,22 - 3,22)	3,07 (3,07 - 3,07)	2,58 (2,58 - 2,58)
	DC	18,06 (22,77 - 14,68)	16,98 (19,99 - 13,98)	21,96 (22,72 - 21,20)	20,07 (20,07 - 20,07)	19,18 (19,18 - 19,18)	14,29 (14,29 - 14,29)
	BS	21,34 (34,60 - 14,22)	15,72 (19,17 - 13,26)	37,23 (41,37 - 33,09)	15,63 (15,63 - 15,63)	17,38 (17,38 - 17,38)	11,53 (11,53 - 11,53)
Qualidade da biomassa	%BS	40,72 (44,55 - 36,08)	39,75 (41,68 - 37,03)	40,66 (42,72 - 38,60)	41,91 (41,91 - 41,91)	37,07 (37,07 - 37,07)	39,15 (39,15 - 39,15)
	CEL	41,23 (42,01 - 40,32)	40,23 (40,41 - 39,84)	41,49 (41,71 - 41,26)	42,56 (42,56 - 42,56)	41,41 (41,41 - 41,41)	40,24 (40,24 - 40,24)
	LIG	10,26 (10,92 - 9,56)	9,73 (10,11 - 9,36)	10,40 (10,50 - 10,31)	10,52 (10,52 - 10,52)	11,27 (11,27 - 11,27)	9,64 (9,64 - 9,64)
	HCEL	27,09 (27,24 - 26,84)	27,17 (27,24 - 27,12)	27,00 (27,05 - 26,94)	27,18 (27,18 - 27,18)	26,76 (26,76 - 26,76)	27,25 (27,25 - 27,25)
	DIBS	33,26 (34,94 - 30,90)	34,46 (35,54 - 33,21)	33,19 (33,20 - 33,18)	32,28 (32,28 - 32,28)	30,83 (30,83 - 30,83)	34,75 (34,75 - 34,75)
	NIT	0,45 (0,52 - 0,41)	0,48 (0,49 - 0,47)	0,44 (0,44 - 0,43)	0,43 (0,43 - 0,43)	0,43 (0,43 - 0,43)	0,51 (0,51 - 0,51)
	CZ	6,64 (7,49 - 5,92)	7,21 (7,78 - 6,50)	6,23 (6,31 - 6,15)	6,06 (6,06 - 6,06)	6,09 (6,09 - 6,09)	8,34 (8,34 - 8,34)
POC	18,15 (18,32 - 17,94)	18,02 (18,10 - 17,94)	18,23 (18,26 - 18,19)	18,22 (18,22 - 18,22)	18,32 (18,32 - 18,32)	17,94 (17,94 - 17,94)	
Caracterização	FLOR	Intermediário	Super precoce	Tardio	Tardio	Precoce	Super Tardio
	DC	Diâmetro médio	Fino	Espesso	Espesso	Diâmetro médio	Muito fino
	%BS	Média	Média	Média	Alta	Baixa	Média
	NIT	Médio	Alto	Médio	Baixo	Baixo	Muito alto
	POC	Médio	Baixo	Médio	Médio	Alto	Muito baixo

FLOR = Florescimento (dias); ALT = Altura média (m); VIG = Vigor fenotípico (1-5); DC = Diâmetro do colmo (mm); BS = Biomassa seca total (Mg ha<sup>-1</sup>); %BS = Porcentagem de biomassa seca (%); CEL = Celulose (%); LIG = Lignina (%); HCEL = Hemicelulose (%); DIBS = Digestibilidade *in vitro* da biomassa seca (%); NIT = Nitrogênio (%); CZ = Cinzas (%) e POC = Poder calorífico (MJ kg<sup>-1</sup>).

<sup>1, 2 e 3</sup> Valores médios, máximos e mínimos, respectivamente, da característica dentro do grupo.

## **CAPÍTULO 2**

### **APTIDÃO DOS GRUPOS DE CAPIM-ELEFANTE CAMEROON E NAPIER PARA A PRODUÇÃO DE BIOENERGIA VIA COMBUSTÃO DIRETA DA BIOMASSA**

**VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2015**

## RESUMO

ROCHA, João Romero do Amaral Santos de Carvalho, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2015. **Aptidão dos grupos de capim-elefante Cameroon e Napier para a produção de bioenergia via combustão direta da biomassa.** Orientador: Pedro Crescêncio Souza Carneiro. Coorientadores: José Eustáquio de Souza Carneiro, Marcos Deon Vilela de Resende e Juarez Campolina Machado.

O objetivo do presente estudo foi avaliar a aptidão dos grupos Cameroon e Napier, visando melhoramento genético do capim-elefante para a produção de bioenergia via combustão direta. A avaliação da aptidão dos grupos e obtenção das matrizes de correlação genotípica se deu pela metodologia de modelos mistos. Análises de correlações canônicas foram realizadas entre os caracteres morfo-agronômicos e de qualidade da biomassa para os grupos Napier e Cameroon. Complementarmente, utilizou-se a análise de trilha tendo-se como variável principal o poder calorífico (POC). O grupo Cameroon apresenta maior aptidão para uso como insumo bioenergético via combustão direta da biomassa. No grupo Napier o primeiro par canônico indicou que acréscimos no diâmetro do colmo (DC) resultam em reduções na porcentagem de biomassa seca (%BS) e do teor de cinzas (CZ) e proporcionam incrementos no POC. O segundo par canônico indica que os acessos com florescimento (FLOR) mais tardio e com maior altura de plantas (ALT) são os que apresentam menores teores de lignina (LIG) e nitrogênio (NIT). Enquanto o terceiro par canônico sugere que plantas com o FLOR mais tardio são as que proporcionam maiores teores de CZ e menores POC. Quanto à interpretação do par canônico para o grupo Cameroon pode-se afirmar que plantas com maior ALT e maior DC apresentam menores teores de CZ e maiores valores de POC, assim como menores conteúdos de celulose/lignina (C/L). No grupo Napier, destacaram-se as características DC, LIG e CZ, enquanto, no grupo Cameroon, as características ALT, DC, C/L LIG, fibra em detergente neutro (FDN) e CZ foram as principais determinantes do POC.

**Palavras chave:** *Pennisetum purpureum*, correlação canônica, análise de trilha.

## ABSTRACT

ROCHA, João Romero do Amaral Santos de Carvalho, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, July de 2015. **Suitability of elephant grass groups Cameroon and Napier for bioenergy production by direct combustion of biomass** Adviser: Pedro Crescêncio Souza Carneiro. Co-adviser: José Eustáquio de Souza Carneiro, Marcos Deon Vilela de Resende and Juarez Campolina Machado.

The aim of this study was evaluate the suitability of Cameroon and Napier groups, aiming elephant grass breeding for bioenergy production by direct combustion. The suitability evaluation of the groups and genotypic correlation matrices was given through mixed models methodology. Canonical correlations analyses were performed between morphoagronomic and quality of biomass traits, for Napier and Cameroon groups. In addition, we used the path analysis using calorific value (POC) as the main variable. Cameroon group show more suitability to bioenergy use by direct combustion of biomass. In Napier group, the first canonical pair indicates that the increases in average stalk diameter (DC) reduce dry biomass percentage (% BS) and ash content (CZ), and increase POC. The second indicates that, late flowering (FLOR) and greater height average (ALT) accessions are those with lower lignin (LIG) and nitrogen (NIT) content. The third one, suggest that plants with late FLOR bring out greater CZ and lower POC. For Cameroon group, plants with greater ALT and DC exhibit lower CZ content, lower cellulose/lignin reason (C/L) and the higher POC values. Based on path analysis, we observed as main determinants of POC, in Napier group, the traits DC, LIG, and CZ, and in Cameroon group, ALT, DC, C/L LIG, neutral detergent fiber (FDN) and CZ.

**Key words:** *Pennisetum purpureum*, canonical correlation, path analysis.

## 1. Introdução

A biomassa vegetal como insumo energético vem ganhando importância no desenvolvimento de energias alternativas para uma matriz energética ambientalmente renovável e sustentável (Samson et al., 2005; Nass et al., 2007), já que esta pode ser convertida em produtos químicos, energia térmica/elétrica, combustíveis e outros materiais essenciais (McKendry, 2002; Fontoura et al., 2015).

A biomassa das culturas destinadas à combustão deve apresentar baixa proporção de estruturas reprodutivas na biomassa, fenologia que permita longos períodos de crescimento associados à alta produção de biomassa (Porter et al., 2007). Além dos caracteres morfo-agronômicos, alguns autores indicam que as propriedades de qualidade da biomassa (conteúdo de umidade, poder calorífico, conteúdo de cinzas e teores de celulose, lignina e nitrogênio) são fundamentais para a sua utilização, por serem capazes de influenciar todo o processo de conversão e aproveitamento térmico (McKendry, 2002; Obernberger et al., 2006; Gani & Naruse, 2007; Karp & Shields, 2008; Prochnow et al., 2009; Jaradat, 2010; Dorez et al., 2014).

Várias culturas têm sido citadas como candidatas à geração de energia a partir da biomassa (Boehmel et al., 2008; Sanderson & Adler, 2008; David & Ragauskas, 2010; Ra et al., 2012). Nesse sentido, alguns autores (Strezov et al., 2008; Morais et al., 2009; Ra et al., 2012; Fontoura et al., 2015) destacam o capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) na geração de energia térmica pela combustão da biomassa, por reunir características de qualidade adequadas e alta produção de biomassa.

Contudo, a quantificação da qualidade da biomassa apresenta elevado custo e tempo para obtenção dos resultados. Desta forma, a seleção com base nos caracteres morfo-agronômicos para obtenção de ganhos indiretos em qualidade da biomassa é uma estratégia promissora na fase inicial de um programa de melhoramento genético de capim-elefante para a produção de bioenergia via combustão direta, tendo em vista o grande número de populações que deve ser avaliado todos os anos. Nesse sentido, a análise de correlações canônicas se destaca, uma vez que maximiza a estimativa da correlação entre dois conjuntos de variáveis (Rajasundaram et al., 2014).

Além do mais, a compreensão da associação entre o poder calorífico liberado pela combustão da biomassa e seus principais determinantes morfo-agronômicos e de qualidade da biomassa, facilita a seleção de plantas com maior poder calorífico e produção de biomassa.

No entanto, segundo Tyagi & Lal (2007), a simples correlação entre os caracteres não retrata condição de causa e efeito e sua interpretação direta pode resultar em erros na estratégia de seleção. Neste contexto, destaca-se a análise de trilha por decompor o coeficiente de correlação simples em efeitos diretos e indiretos sobre uma variável de interesse.

O capim-elefante pode ser dividido de acordo com a variabilidade dentro do germoplasma nos grupos: Cameroon, Napier, Mercker e Anão (Lira et al., 2010). Entretanto, não há relatos da inter-relação dos caracteres de qualidade da biomassa e morfo-agronômicos nesses grupos, o que poderia determinar o potencial desses grupos na produção de bioenergia via combustão direta.

Diante do exposto, o objetivo do presente estudo foi avaliar a aptidão dos grupos Cameroon e Napier, visando melhoramento genético do capim-elefante para a produção de bioenergia via combustão direta.

## **2. Material e Métodos**

Foram utilizados neste estudo 100 acessos do Banco Ativo de Germoplasma de Capim-Elefante da Embrapa (BAGCE). Dos quais, 18 foram classificados como pertencentes ao grupo Cameroon, 44 como Napier, quatro como Mercker e os demais acessos foram classificados como intermediários aos grupos supracitados.

O experimento foi conduzido no campo experimental da Embrapa Gado de Leite, localizado no município de Coronel Pacheco, MG, Brasil (21°33'18''S, 43°15'51''W, a 417m de altitude). A implantação do experimento foi realizada em dezembro de 2011, em sulcos com 0,20 m de profundidade, com adubação de plantio realizada de acordo com a análise de solo. Para adubação de manutenção foi utilizada a dose de 60 Kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de N, realizada após cada um dos cortes de avaliação. Os demais tratos culturais foram os recomendados para a cultura do capim-elefante.

Após a fase de estabelecimento, 30 dias após a data de implantação do experimento, as parcelas foram cortadas a 0,30 m da superfície do solo (corte de uniformização), procedendo-se assim, o início da fase de coleta de dados. Foram realizados dois cortes de avaliação para o presente estudo (1° corte aos 250 dias - setembro de 2012 e 2° corte com o mesmo intervalo em dias - junho de 2013).

As parcelas foram constituídas de uma linha de 4m de comprimento, espaçadas em 1,5m entre si. O delineamento experimental utilizado foi o de látice simples (10 x 10), com duas repetições.

Os caracteres avaliados foram classificados em duas categorias: morfo-agronômicos e qualidade da biomassa.

(i) Caracteres morfo-agronômicos. Florescimento (FLOR) - foi determinado pelo número de dias a partir do corte de uniformização até o florescimento de 50% da parcela experimental. Altura média (ALT) - foi obtida a partir da média aritmética da altura de três plantas tomadas ao acaso, dentro da área útil de cada parcela, medindo-se desde o nível do solo até curvatura da última folha completamente expandida, dada em m. Vigor fenotípico (VIG), obtido por meio de escala de notas em que varia de 1 a 5: nota 5 alto vigor e 1 baixo vigor. Diâmetro do colmo (DC) - foi obtida a partir da média aritmética de cinco plantas na parcela útil, tomadas ao acaso, medidas a 10 cm do nível do solo com paquímetro digital, dado em mm. Biomassa verde (BV) - foi quantificada pela pesagem da biomassa fresca colhida em cada parcela ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ). Biomassa seca total (BS) - foi quantificado pela multiplicação da biomassa verde e a porcentagem de biomassa seca, dada em  $\text{Mg ha}^{-1}$ .

(ii) Características de qualidade da biomassa do Capim-elefante. Após cada corte das parcelas experimentais foram retiradas amostras aleatórias de plantas inteiras provenientes do campo, as quais foram secas a uma temperatura de  $56^{\circ}\text{C}$  sob circulação de ar por 72 horas. Após a secagem, as amostras foram moídas (1 mm) em moinho tipo Willey e enviadas ao laboratório de análise da biomassa para realização das análises químicas descritas a seguir:

Fibra em detergente ácido (FDA), fibra em detergente neutro (FDN), teores de celulose (CEL); lignina (LIG) e hemicelulose (HCEL); - foram determinadas conforme metodologias propostas por Goering & Van Soest (1970). Digestibilidade *in vitro* da biomassa seca (DIBS) - foi determinada conforme metodologia utilizada por Tilley & Terry, 1963. Nitrogênio (NIT) - foi determinado conforme metodologia proposta pela *Association of Official Analytical Chemical* (AOAC, 1975). Relação celulose/lignina (C/L) - deu-se pela razão entre celulose e lignina. Cinzas (CZ) - foi determinada conforme metodologia proposta por Silva & Queiroz, 2002. Todos os caracteres acima foram dados em porcentagem. Poder calorífico (POC) - determinado utilizando-se bomba calorimétrica IKA C-5000, dado em  $\text{MJ kg}^{-1}$ . E porcentagem de biomassa seca (%BS) - obtida pela amostragem de plantas inteiras de cada parcela, que após pesagem (peso verde), foram secas em estufa até estabilização do peso. As amostras foram novamente pesadas (peso seco) e, então, determinada a %BS pela razão entre peso seco e peso verde. Essa variável foi utilizada como denominador comum para se estimar a

biomassa seca total, celulose, lignina, hemicelulose, digestibilidade *in vitro* da biomassa seca, nitrogênio, cinzas e poder calorífico.

Adotou-se nas análises estatísticas a metodologia de modelos mistos via REML/BLUP (máxima verossimilhança restrita residual/melhor predição linear não viciada), conforme Patterson & Thompson (1971). Estimaram-se as médias genotípicas (médias BLUP - *Best Linear Unbiased Prediction*) em cada corte para as 17 características, a partir do modelo estatístico dado por:  $y = X\mathbf{m} + Z\mathbf{g} + W\mathbf{b} + Q\mathbf{p} + T\mathbf{i} + e$ , em que  $\mathbf{y}$  é o vetor de dados,  $\mathbf{m}$  é o vetor dos efeitos das combinações medição-repetição (assumidos como fixos) somados à média geral,  $\mathbf{g}$  é o vetor dos efeitos genotípicos (assumidos como aleatórios),  $\mathbf{b}$  é o vetor dos efeitos de blocos (assumidos como aleatórios),  $\mathbf{p}$  é vetor dos efeitos de ambiente permanente (parcelas no caso) (aleatórios),  $\mathbf{i}$  é o vetor dos efeitos da interação genótipos x cortes e  $e$  é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios).  $X$ ,  $Z$ ,  $W$ ,  $Q$  e  $T$  representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos. Também foram obtidas as matrizes de correlação genotípica entre os caracteres a partir das médias BLUP dos acessos pertencentes a cada um dos grupos.

Na quantificação da variabilidade dentro dos grupos Napier e Cameroon, utilizou-se a análise de *deviance* segundo o modelo:  $y = X\mathbf{b} + Z\mathbf{g} + \epsilon$ , em que  $\mathbf{y}$  são as médias BLUP,  $\mathbf{b}$  é o vetor dos efeitos de blocos (assumidos como fixos) somados à média geral,  $\mathbf{g}$  é o vetor dos efeitos genotípicos (assumidos como aleatórios), e  $\epsilon$  o vetor de erros ou resíduos (aleatórios).  $X$  e  $Z$  representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos. Neste modelo foram utilizadas as médias BLUP de cada corte como repetições. O grupo Mercker não foi incluído nesse estudo por apresentar apenas quatro exemplares, bem como os acessos classificados como intermediários.

Para comparar as médias dos caracteres entre os grupos Cameroon e Napier, utilizou-se o seguinte modelo estatístico:  $y = X\mathbf{b} + Z\mathbf{t} + \epsilon$ , em que  $\mathbf{y}$  são as médias BLUP,  $\mathbf{b}$  é o vetor dos efeitos aleatório de blocos,  $\mathbf{t}$  é o vetor dos efeitos de tratamentos assumidos como fixos somados à média geral,  $\epsilon$  é o vetor de erros (aleatórios).  $X$  e  $Z$  representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.

Para os efeitos aleatórios dos modelos utilizados testou-se a significância pela razão de verossimilhança (LTR), usando o teste qui-quadrado com um grau de liberdade. Enquanto, as significâncias entre as médias dos caracteres dos grupos foram avaliadas pelo teste F. Os procedimentos estatísticos acima foram realizados pelo programa Selegen-REML/BLUP (Resende, 2007).

Realizou-se o diagnóstico de multicolinearidade nas matrizes de correlação genotípica do grupo Napier e Cameroon de acordo com as recomendações de Montgomery & Peck (1992). Foram então estimados os coeficientes de correlação canônica entre os caracteres morfo-agronômicos e de qualidade da biomassa para cada grupo. Também foi realizada a análise de trilha, utilizando o caractere poder calorífico como variável dependente, ou principal, e os demais caracteres como variáveis secundárias ou explicativas. Nas análises de correlação canônica e de trilha foram utilizados apenas os caracteres com variabilidade significativa entre os acessos e que não contribuem para multicolinearidade.

O diagnóstico de multicolinearidade e as análises de correlações canônicas e de trilha foram realizadas com o auxílio do programa computacional GENES (Cruz et al., 2013).

### **3. Resultados e Discussão**

As médias genotípicas dos caracteres morfo-agronômicos e de qualidade da biomassa de 44 acessos do grupo Napier e 18 acessos grupo Cameroon são apresentadas na Tabela 1. Houve variabilidade significativa para todos os caracteres morfo-agronômicos tanto para os acessos do grupo Napier quanto para os do grupo Cameroon. O mesmo se observou para os caracteres de qualidade da biomassa, exceto para HCEL, que não apresentou variabilidade em ambos os grupos.

Considerando o teste F para o desdobramento do efeito de tratamentos - Napier vs. Cameroon - para os 17 caracteres avaliados, verificou-se diferença significativa ( $p < 0,01$ ) para a maioria dos caracteres, exceto, HCEL e NIT (Tabela 1). Cabe ressaltar que os valores do poder calorífico do grupo Cameroon, considerando sua produtividade média por hectare, resulta em valor ainda mais expressivo quando comparado ao grupo Napier, com valores de 440,09 MJ ha<sup>-1</sup> para o grupo Cameroon contra 382,54 MJ ha<sup>-1</sup> do grupo Napier. Os valores de POC (MJ kg<sup>-1</sup>) obtidos pelo grupo Cameroon, 18,16 (Tabela 1) são muito próximos aos obtidos por Munalula e Meincken (2009) em espécies florestais como o *Pinus patula* e *Eucalyptus cladocalyx*, com valores de 18,68 e 18,87 MJ Kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Esses resultados indicam que o grupo Cameroon apresenta em média aproveitamento térmico pela combustão da biomassa superior ao grupo Napier, sugerindo maior aptidão para esse fim, devendo-se direcionar prioritariamente os esforços de melhoramento genético do capim-elefante para o grupo

Cameroon. Contudo, para se obter valores de %BS e LIG mais adequados ao processo de combustão cruzamentos intergrupos devem ser priorizados.

De acordo com Tew & Cobill (2008), a meta do melhoramento genético da cana destinada à combustão é obter cultivares com 30% de fibras, 65% de água e 5% de açúcar, porém, atualmente as cultivares apresentam 12 % de fibras, 75% de água e 13 % de açúcares. No presente trabalho a média geral para o teor de fibras (FDA) envolvendo todos os acessos do grupo Napier e Cameroon foi de 52% e para a %BS de 41%, ou seja, 59% de água presente na biomassa. Desta forma, fica evidente o elevado potencial que o capim-elefante apresenta. Vale ressaltar que todo este potencial ainda não foi alvo de melhoramento genético. Por essa prática, podem-se obter valores ainda muito mais favoráveis à utilização da biomassa do capim-elefante como insumo na produção de bioenergia via combustão direta. Outros autores já haviam identificado superioridade do capim-elefante frente inúmeras culturas, principalmente por reunir características de qualidade da biomassa adequadas, além de alta produção de biomassa (Strezov et al., 2008; Morais et al., 2009; Ra et al., 2012; Fontoura et al., 2015).

Pelo diagnóstico de multicolinearidade, observou-se que os caracteres BV, C/L, FDA e FDN para o grupo Napier e FLOR, VIG, BV, CEL, LIG, FDA, HCEL, DIBS e NIT para o grupo Cameroon, quando presentes em suas respectivas matrizes de correlação genotípica, proporcionaram número de condição (NC) maior que 100. Conforme Montgomery & Peck (1992) valores de NC menores que 100 implicam em multicolinearidade fraca, portanto, não se constitui em problema sério nas análises.

A multicolinearidade entre as variáveis é uma questão sistêmica em análises de regressão multivariada e é passível de provocar graves dificuldades na interpretação correta dos resultados, com o risco de conclusões errôneas, pesquisas mal orientadas e medidas de conservação genética ineficazes (Prunier et al., 2015). Assim, os caracteres acima mencionados foram excluídos das análises de correlações canônicas e análises de trilha, de acordo com os respectivos grupos (Napier e Cameroon), proporcionando NC menor que 100 em todos os casos.

Além do mais, nas correlações canônicas a interpretação geralmente baseia-se no significado dos pesos canônicos, que é altamente influenciado por multicolinearidade. Portanto, as cargas canônicas devem ser preferidas aos pesos canônicos para a interpretação dos resultados (Rajasundaram et al., 2014).

Foram obtidas três correlações canônicas significativamente diferentes de zero ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de qui-quadrado para o grupo Napier (Tabela

2), e uma para o grupo Cameroon (Tabela 3). Esses resultados evidenciam que há relação de dependência entre os caracteres morfo-agrônomicos e os de qualidade da biomassa nos dois grupos de capim-elefante avaliados.

Com base nas cargas canônicas do primeiro par canônico para o grupo Napier, verificou-se que acréscimos no DC resultam em reduções na %BS e dos teores de CZ e proporcionam incrementos no caractere POC. O segundo par canônico indica que os acessos do grupo Napier com FLOR mais tardio e com maior ALT são os que apresentam menores teores de LIG e NIT. Já o terceiro par canônico sugere que acessos com o FLOR mais tardio são as que proporcionam maiores teores de CZ e menores POC (Tabela 2).

Quanto à interpretação do primeiro par canônico para os acessos do grupo Cameroon pode-se afirmar que acessos com ALT elevada e maior DC apresentam menores teores de CZ, maiores valores de POC e menores valores de C/L (Tabela 3).

A biomassa das culturas destinadas à combustão direta deve apresentar baixo conteúdo de umidade na colheita para que se tenha alta eficiência das tecnologias de conversão térmica. (McKendry, 2002; Jaradat, 2010). Segundo McKendry (2002) o poder calorífico de um material é expresso pelo conteúdo de energia que é liberado quando queimado. As plantas de uma mesma espécie podem diferir quanto a sua composição bioquímica, por conseguinte, a composição da planta determina a disponibilidade de energia a partir de um tipo específico de biomassa, quando ajustado para o teor de umidade, resultando em diferenças na produção de energia (Jaradat, 2010). O teor de cinzas, dependendo da sua magnitude, reduz proporcionalmente a energia disponível no material, reduzindo sua eficiência de conversão, além do mais, afeta o custo de manuseio e do processamento da biomassa e causam danos nos equipamentos, interferindo no custo final da conversão em bioenergia (McKendry, 2002; Shao et al. 2012). Mohammed et al. (2015) concluíram que a biomassa do capim-elefante apresenta, dentre outros atributos desejáveis, reduzido teor de CZ e, portanto, apresenta potencial para produção de bio-óleo de boa qualidade a partir da conversão termoquímica.

Resultados obtidos por Gani & Naruse (2007) sugerem que o conteúdo de celulose na biomassa afeta a sua ignição e decomposição da lignina. Ainda, ressaltam que o teor de lignina tem efeito sobre a velocidade da combustão.

A biomassa para bioenergia é colhida de acordo com o conteúdo de carbono e não pelo conteúdo de nitrogênio, por conseguinte, uma elevada proporção de

carbono/nitrogênio é preferível para máxima conversão (Long et al., 2006; Porter et al., 2007). A elevada demanda de nitrogênio pelas culturas bioenergéticas torna o balanço energético desfavorável. No caso do capim-elefante, em média 51% do nitrogênio utilizado é proveniente da fixação biológica de nitrogênio e a absorção deste elemento até a colheita da biomassa pode ser dez vezes maior que a quantidade de nitrogênio fornecida ao solo na forma de fertilizante químico (Morais et al., 2009; Ra et al. 2012), o que torna o capim-elefante uma das culturas bioenergéticas com maior eficiência no balanço energético.

A demanda por novas cultivares para uso bioenergético se tornará mais complexa no sentido de se obter altos níveis de expressão para um considerável número de caracteres (Santchurn et al., 2012), estando estes, em maior ou menor grau correlacionados. Com a finalidade de particionar a correlação entre todos os caracteres em relações de causa e efeito, utilizou-se a análise de trilha tendo como caractere principal o POC. Com base nas análises trilha observaram-se valores de coeficientes de determinação ( $R^2$ ) de 0,91 e 0,89 para os grupos Napier e Cameroon, respectivamente, indicando que as variáveis explicativas (morfo-agronômicas e de qualidade da biomassa) consideradas em cada análise são as principais determinantes do POC em capim-elefante (Tabelas 4 e 5).

No grupo Napier, destacaram-se os caracteres DC, LIG e CZ como principais determinantes do POC (Tabela 4). O caractere DC apresentou correlação com POC de magnitude intermediária (0,56), porém com baixo efeito direto (-0,04) sendo seu principal efeito em POC via CZ. Quanto ao caractere LIG, observou-se correlação intermediária (0,69) de baixo efeito direto, cujo efeito indireto também foi via CZ. Já a característica CZ apresentou elevada correlação (-0,92) com alto efeito direto (-0,70), demonstrando que para elevar os valores do POC devem-se selecionar materiais com menor teor de CZ. Esses resultados indicam o elevado potencial desse caractere (CZ) na seleção indireta para a melhoria do POC no grupo Napier.

No grupo Cameroon, as características ALT, DC, C/L, FDN e CZ foram as principais determinantes do POC (Tabela 5). Os caracteres ALT, C/L e FDN apresentaram correlação de magnitude intermediária (0,71, -0,70 e 0,58 respectivamente), com baixo efeito direto sendo o principal efeito indireto via CZ. O caractere DC apresentou elevada correlação (0,80) com efeito indireto principalmente via CZ. Enquanto, o caractere CZ apresentou elevada correlação (-0,89) com alto efeito direto sobre o POC. Vale ressaltar que o teor médio de CZ do grupo Cameroon é

estatisticamente inferior ao do grupo Napier (Tabela 1) e, que há variabilidade para essa característica dentro do referido grupo. Esses resultados indicam que a seleção visando incrementos em POC resultará principalmente de materiais com maiores ALT e DC e com menores valores de C/L (mais lignificados) e CZ.

Com base nas análises de correlações canônicas para os dois grupos de capim-elefante (Tabelas 2 e 3) observou-se que os caracteres DC e CZ estão relacionados com POC, entretanto pela análise de trilha observou-se que o efeito direto de DC sobre POC é de baixa magnitude, sendo sua principal influência via CZ (Tabelas 4 e 5). Embora os coeficientes de determinação do modelo de trilha tenha sido de elevada magnitude (acima de 89% para os grupos Cameroon e Napier), observou-se efeito residual variando entre 0,30 e 0,34. Estes resultados indicam que outras variáveis, em especial a densidade da biomassa, não considerada neste estudo, pode ter importância para a determinação completa de POC. Munalula e Meincken (2009), verificaram que, em espécies florestais, a maior densidade da madeira está diretamente relacionada com maior poder calorífico.

Reduzidas proporções de celulose/lignina na biomassa são importantes no processo de combustão, já que a presença de baixo teor de lignina associado ao elevado teor de celulose afeta a via de degradação da celulose e a carbonização, o que conduz a combustão incompleta destas fibras, limitando a sua contribuição para o calor liberado durante a combustão. Além do mais, a energia de ativação da combustão é regulada pela composição de fibras e particularmente pelo teor de lignina (Dorez et al., 2014) e esta relação de componentes se constitui no fator determinante para a seleção de plantas produtoras de biomassa (McKendry, 2002).

Em estudo realizado por Silveira et al. (2015) visando a seleção de famílias de cana energia para alta produção de biomassa, verificaram que a seleção de genótipos com alta produção de fibras não conduzem a ganhos em produção de biomassa se um novo cultivar não exibir alto valor médio para a produção de biomassa por hectare, ou seja, a maior produção de lignina ocorre quando um genótipo apresenta alta produção de biomassa e não pelo valor de lignina apresentado pelo mesmo. Esses autores ainda comentam que a lignina é extremamente importante na cogeração de eletricidade, devido à elevada contribuição para o poder calorífico.

Desta forma, pode-se concluir que a produção de biomassa é um dos fatores mais importantes para produção de bioenergia. Entretanto, no grupo Cameroon o coeficiente de correlação estimado entre os caracteres LIG e BS (0,32) foi não

significativo ( $p>0,01$ ) pelo teste t, indicando que entre os acessos de maior BS, estes apresentam tanto altos quanto baixos teores de LIG. Estes fatos associados aos resultados das análises de correlações canônicas e de trilha indicam que nas fases iniciais de um programa de melhoramento genético de capim-elefante, há possibilidade de seleção indireta via caracteres morfo-agronômicos para se obter ganho em POC. Nesse sentido, uma alternativa seria a seleção em tandem dentro do grupo Cameroon, em que se deve selecionar as plantas com maior ALT e DC dentre as de maior BS.

#### 4. Conclusão

O grupo Cameroon apresenta maior aptidão em relação ao grupo Napier para a geração de bioenergia a partir da biomassa via combustão.

O teor de CZ tem alta correlação e efeito direto em POC.

O melhoramento genético a partir dos caracteres morfo-agronômicos dentro do grupo Cameroon é recomendado. Deve-se selecionar dentre as plantas com maior BS as que apresentam maior ALT e DC, visando à obtenção de ganhos em POC.

#### 5. Referências Bibliográficas

Association of Official Analytical Chemical (AOAC). Washington. **Official methods of analysis of the Association of analytical Chemists**. 12 ed. Washington, D.C. 1975. 1094p.

Boehmel, C.; Lewandowski, I.; Claupein, W. Comparing annual and perennial energy cropping systems with different management intensities. **Agricultural Systems**, v. 96, p. 224-236, 2008.

Cruz, C.D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**, v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013.

David, K.; Ragauskas, A.J. Switchgrass as an energy crop for biofuel production: a review of its ligno-cellulosic chemical properties. **Energy Environment Sciences**, v. 3, n. 9, p. 1182-1190, 2010.

Dorez, G.; Ferry, L.; Sonnier, R.; Taguet, A.; Lopez-Cuesta, J.M. Effect of cellulose, hemicellulose and lignin contents on pyrolysis and combustion of natural fibers. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 107, p. 323-331, 2014.

Fontoura, C.F. Brandão, L.E.; Gomes, L.L. Elephant grass biorefineries: towards a cleaner Brazilian energy matrix? **Journal of Cleaner Production**, v. 96, p. 85-93, 2015. doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.02.062

Gani, A.; Naruse, I. Effect of cellulose and lignin content on pyrolysis and combustion characteristics for several types of biomass. **Renewable Energy**, v. 32, n. 4, p. 649-661, 2007.

Goering, H.K.; Van Soest, P.J. Forage fiber analysis: Apparatus, Reagents, Procedures and some applications. **Agricultural Handbook**, Washington, D.C., 1967. 379p.

Jaradat, A.A. Genetic resources of energy crops: Biological systems to combat climate change. **Australian Journal of Crop Science**, v. 4, n. 5, p. 309-323, 2010.

Karp, A.; Shield, I. Bioenergy from plants and the sustainable yield challenge. **New Phytologist**, v.179, p. 15-32, 2008.

Lira, M.A., Cunha, M.V. e Pereira, A.V. Melhoramento genético do capim-elefante. In: Lira, M.A.; Dubeux Júnior, J.C.B.; Mello, A.C.L. (Eds.) **Capim-elefante: Fundamentos e Perspectivas**. Recife: IPA/UFRPE, 2010. p. 31-48.

Long, S.P.; Zhu, X.G.; Naidu, S.L.; Ort, D.R. Can improvement in photosynthesis increase crop yields? **Plant Cell Environment**, v. 29, p. 315-330, 2006.

McKendry, P. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. **Bioresource Technology**, v. 83, p. 37-46, 2002.

Montgomery, D.C.; Peck, E.A. **Introduction to linear regression analysis**. New York: John Wiley & Sons, 1992. 504p.

Morais, R.F.; Souza, J.B.; Leite, J.M.; Soares, L.H.B.; Alves, B.J.R.; Boddey, R.M.; Urquiaga, S. Elephant grass genotypes for bioenergy production by direct biomass combustion. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 2, p. 133-140, 2009.

Mohammed, I.Y.; Abakr, Y.A.; Kazi, F.K.; Yusup, S.; Alshareef, I.; Chin, S.A. Comprehensive Characterization of Napier Grass as a Feedstock for Thermochemical Conversion. **Energies**, v. 8, p. 3403-3417, 2015. doi:10.3390/en8053403

Munalula, F.; Meincken, M. An evaluation of South African fuelwood with regards to calorific value and environmental impact. **Biomass and Bioenergy**, v. 33, p. 415-420, 2009.

Nass, L.L.; Pereira, P.A.A.; Ellis, D. Biofuels in Brazil: an overview. **Crop Science**, v. 47, p. 2228-2237, 2007.

Obernberger, I.; Brunner, T.; Bärnthaler, G. Chemical properties of solid biofuels - significance and impact. **Biomass and Bioenergy**, v. 30, n. 11, p. 973-982, 2006. doi:10.1016/j.biombioe.2006.06.011

Patterson, H.D.; Thompson, R. Recovery of inter-block information when blocks sizes are unequal. **Biometrika**, v.58, p.545-554, 1971.

Porter, J.R.; Kirsch, M.M.N; Streibig, J.; Felby, C. Choosing crops as energy feedstocks. **Nature Biotechnology**, n. 25, p. 716-717, 2007.

Prochnow, A.; Heiermann, M.; Plöchl, M.; Amon, T.; Hobbs, P.J. Bioenergy from Permanent Grassland - A Review: 2. Combustion. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 21, p. 4945-4954, 2009. doi:10.1016/j.biortech.2009.05.069

Prunier, J.G.; Colyn, M.; Legendre, X.; Nimon, K. F.; Flamand, M. C. Multicollinearity in spatial genetics: separating the wheat from the chaff using commonality analyses. **Molecular Ecology**, v. 24, p. 263-283, 2015.

Ra, K.; Shiotsu, F.; Abe, J.; Morita, S. Biomass yield and nitrogen use efficiency of cellulosic energy crops for ethanol production. **Biomass and Bioenergy**, v. 37, p. 330-334, 2012.

Rajasundaram, D.; Runavot, J.L.; Guo, X.; Willats, W.G.T.; Meulewaeter, F.; Selbig, J. Understanding the Relationship between Cotton Fiber Properties and Non-Cellulosic Cell Wall Polysaccharides. **Plos One**, v. 9, n. 11, p. 1-11, 2014.

Resende, M.D.V. **Seleção-REML / BLUP: Sistema Estatístico e Seleção Genética Computadorizada Via Modelos Lineares Mistos**. Embrapa Florestas, Colombo, 2007. 359p.

Samson, R.; Mani, S.; Boddey, R.; Sokhansanj, S.; Quesada, D.; Urquiaga, S.; Reis, V.; Holem, C. The potential of C4 perennial grasses for developing a global BIOHEAT industry. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 24, p. 461-495, 2005.

Sanderson, M.A.; Adler, P.R. Perennial Forages as Second Generation Bioenergy Crops. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 9, p. 768-788, 2008. doi:10.3390/ijms9050768

Santchurn, D.; Ramdoyal, K.; Badaloo, M.G.H.; Labuschagne, M. From sugar industry to cane industry: investigations on multivariate data analysis techniques in the identification of different high biomass sugarcane varieties. **Euphytica**, v. 185, p. 543-558, 2012.

Shao, Y.; Wang, J.; Preto, F.; Zhu, J.; Xu, C.C. Ash Deposition in Biomass Combustion or Co-Firing for Power/Heat Generation. **Energies**, v. 5, p. 5171-5189, 2012. doi:10.3390/en5125171

Silva, D.J.; Queiroz, A.C. **Análises de alimentos** (métodos químicos e biológicos). 3ªed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2002. 235p.

Silveira, L.C.I.; Brasileiro, B.P.; Kist, V.; Weber, H.; Daros, E.; Peternelli, L.A.; Barbosa, M.H.P. Selection strategy in families of energy cane based on biomass production and quality traits. **Euphytica**, v. 204, p.443–455, 2015. DOI 10.1007/s10681-015-1364-9

Strezov, V.; Evans, T.J.; Hayman, C. Thermal conversion of elephant grass (*Pennisetum Purpureum* Schum) to bio-gas, bio-oil and charcoal. **Bioresource Technology**, v. 99, p. 8394-8399, 2008. doi:10.1016/j.biortech.2008.02.039

Tew, T.L. Cobill, R.M. Genetic improvement of sugarcane (*Saccharum* spp.) as an energy crop. In: Vermerris, W. (Ed) **Genetic improvement of bioenergy crops**. Springer, New York, 2008, p 273-294.

Tilley, J.H.A.; Terry, R.A. A two stage technique for in vitro digestion of forage crops. **Journal of British Grassland Society**, v. 18, pp.104-111, 1963.

Tyagi, A.P.; Lal, P. Correlation and path coefficient analysis in sugarcane. **The South Pacific Journal of Natural Science**, v. 25, p. 1-9, 2007.

## 6. Tabelas

**Tabela 1** – Média BLUP de dois cortes de avaliação para as características morfo-agronômicas e de qualidade da biomassa de 44 acessos de capim-elefante do grupo Napier e 18 acessos do grupo Cameroon.

	Caracteres	Grupos	
		Napier	Cameroon
Morfo-agronômicos	FLOR	171,63 <sup>b</sup>	212,74 <sup>a</sup>
	ALT	3,58 <sup>b</sup>	3,76 <sup>a</sup>
	VIG	3,15 <sup>b</sup>	3,37 <sup>a</sup>
	DC	17,22 <sup>b</sup>	20,54 <sup>a</sup>
	BV	51,92 <sup>b</sup>	61,14 <sup>a</sup>
	BS	21,05 <sup>b</sup>	24,13 <sup>a</sup>
Qualidade da biomassa	%BS	41,82 <sup>a</sup>	39,83 <sup>b</sup>
	CEL	41,35 <sup>a</sup>	41,00 <sup>b</sup>
	LIG	10,28 <sup>a</sup>	10,06 <sup>b</sup>
	C/L	4,08 <sup>b</sup>	4,14 <sup>a</sup>
	FDA	52,41 <sup>a</sup>	51,96 <sup>b</sup>
	FDN	79,56 <sup>a</sup>	78,99 <sup>b</sup>
	HCEL	27,12 <sup>a</sup>	27,06 <sup>a</sup>
	DIBS	33,20 <sup>b</sup>	33,59 <sup>a</sup>
	NIT	0,45 <sup>a</sup>	0,45 <sup>a</sup>
	CZ	6,79 <sup>a</sup>	6,57 <sup>b</sup>
	POC	18,11 <sup>b</sup>	18,16 <sup>a</sup>

FLOR = Florescimento (dias); ALT = Altura média (m); VIG = Vigor fenotípico (1-5); DC = Diâmetro do colmo (mm); BV = Biomassa verde (Mg ha<sup>-1</sup>); BS = Biomassa seca total (Mg ha<sup>-1</sup>); %BS = Porcentagem de biomassa seca (%); CEL = Celulose (%); LIG = Lignina (%); C/L = relação celulose:lignina; FDN = Fibra em detergente neutro(%); FDA = Fibra em detergente ácido; HCEL = Hemicelulose (%); DIBS = Digestibilidade *in vitro* da biomassa seca (%); NIT = Nitrogênio (%); CZ = Cinzas (%) e POC = Poder calorífico (MJ kg<sup>-1</sup>).

<sup>a,b</sup> Médias seguidas por letras diferentes na linha diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste F.

**Tabela 2** - Correlações canônicas e cargas nos pares canônicos ( $U_i$ ,  $V_i$ ), estimados entre os caracteres morfo-agronômicos e de qualidade da biomassa para o grupo Napier.

Cargas canônicas dos caracteres morfo-agronômicos					
Caracteres	U1	U2	U3	U4	U5
FLOR	0,2427	0,6594	0,6336	0,1580	-0,2826
ALT	0,4553	0,8192	-0,2707	0,0163	0,2193
VIG	-0,0835	0,4676	0,4623	-0,1882	0,7247
DC	0,9664	0,0172	-0,0579	0,0397	0,2468
BS	-0,4863	0,1825	0,0641	0,4361	0,7321
Cargas canônicas dos caracteres de qualidade da biomassa					
Caracteres	V1	V2	V3	V4	V5
%BS	-0,8737	0,3546	-0,0681	-0,0698	0,0002
CEL	0,3097	0,3850	0,1828	-0,4988	0,1568
LIG	0,3476	-0,3854	-0,3418	-0,4759	0,1802
DIBS	-0,2872	0,3522	0,3322	0,7329	0,0240
NIT	-0,0010	-0,4384	0,1562	0,7392	0,2630
CZ	-0,6759	-0,2123	0,5828	0,0680	0,0498
POC	0,6015	0,1036	-0,6745	-0,2299	0,2210
R	0,9030	0,7171	0,6232	0,4580	0,1698
<i>p-value</i> (%)	0,0000	0,0432	2,4168	28,9513	78,4906

FLOR = Florescimento (dias); ALT = Altura média (m); VIG = Vigor fenotípico (1-5); DC = Diâmetro do colmo (mm); BV = Biomassa verde ( $Mg\ ha^{-1}$ ); BS = Biomassa seca total ( $Mg\ ha^{-1}$ ); %BS = Porcentagem de biomassa seca (%); CEL = Celulose (%); LIG = Lignina (%); DIBS = Digestibilidade *in vitro* da biomassa seca (%); NIT = Nitrogênio (%); CZ = Cinzas (%) e POC = Poder calorífico ( $MJ\ kg^{-1}$ ). R = Coeficiente de correlação entre os pares canônicos.

**Tabela 3** - Correlações canônicas e cargas nos pares canônicos ( $U_i$ ,  $V_i$ ), estimados entre os caracteres morfo-agronômicos e de qualidade da biomassa para o grupo Cameroon.

Cargas canônicas dos caracteres morfo-agronômicos			
Caracteres	U1	U2	U3
ALT	0,8848	0,1368	0,4454
DC	0,9566	0,1131	-0,2687
BS	0,3618	0,9123	0,1919
Cargas canônicas dos caracteres de qualidade da biomassa			
Caracteres	V1	V2	V3
%BS	0,1102	0,8137	0,1410
C/L	-0,5776	0,0933	-0,3763
FDN	0,3904	0,6936	0,0907
CZ	-0,9699	-0,1377	-0,0006
POC	0,9066	0,1267	-0,1824
R	0,8910	0,7064	0,2698
<i>p-value</i> (%)	1,4619	29,5472	81,4589

ALT = Altura média (m); DC = Diâmetro do colmo (mm); BS = Biomassa seca total ( $Mg\ ha^{-1}$ ); %BS = Porcentagem de biomassa seca (%); C/L = relação celulose:lignina; FDN = Fibra em detergente neutro(%); CZ = Cinzas (%) e POC = Poder calorífico ( $MJ\ kg^{-1}$ ).

R = Coeficiente de correlação entre os pares canônicos.

**Tabela 4** - Efeitos diretos e indiretos obtidos pela análise de trilha de dez componentes secundários sobre o componente primário poder calorífico (POC - MJ kg<sup>-1</sup>) para o grupo Napier.

		Caracteres							
		FLOR		ALT		VIG		DC	
Efeito sobre	POC	-0,0641	POC	0,1466	POC	0,0315	POC	-0,0366	
Efeito via	ALT	0,0615	FLOR	-0,0269	FLOR	-0,0222	FLOR	-0,0093	
Efeito via	VIG	0,0109	VIG	0,0118	ALT	0,0551	ALT	0,0769	
Efeito via	DC	-0,0053	DC	-0,0192	DC	-0,0026	VIG	0,0023	
Efeito via	BS	0,0027	BS	-0,0022	BS	-0,0173	BS	0,0078	
Efeito via	%BS	0,0029	%BS	0,0074	%BS	-0,0090	%BS	0,0398	
Efeito via	CEL	-0,0559	CEL	-0,0652	CEL	-0,0443	CEL	-0,0534	
Efeito via	LIG	-0,1005	LIG	-0,0080	LIG	-0,0675	LIG	0,1097	
Efeito via	DIBS	0,0115	DIBS	0,0016	DIBS	0,0070	DIBS	-0,0098	
Efeito via	NIT	0,0123	NIT	0,0315	NIT	0,0156	NIT	-0,0015	
Efeito via	CZ	0,0112	CZ	0,3512	CZ	-0,1042	CZ	0,4298	
Total		-0,1128		0,4285		-0,1580		0,5556	
		BS		%BS		CEL		LIG	
Efeito sobre	POC	-0,0287	POC	-0,0526	POC	-0,2008	POC	0,3539	
Efeito via	FLOR	0,0061	FLOR	0,0036	FLOR	-0,0179	FLOR	0,0182	
Efeito via	ALT	0,0115	ALT	-0,0205	ALT	0,0476	ALT	-0,0033	
Efeito via	VIG	0,0190	VIG	0,0054	VIG	0,0070	VIG	-0,0060	
Efeito via	DC	0,0100	DC	0,0277	DC	-0,0097	DC	-0,0113	
Efeito via	%BS	-0,0217	BS	-0,0119	BS	0,0045	BS	0,0083	
Efeito via	CEL	0,0318	CEL	-0,0122	%BS	-0,0032	%BS	0,0145	
Efeito via	LIG	-0,1024	LIG	-0,0973	LIG	0,1911	CEL	-0,1084	
Efeito via	DIBS	0,0135	DIBS	0,0073	DIBS	-0,0190	DIBS	-0,0338	
Efeito via	NIT	-0,0152	NIT	0,0151	NIT	0,0514	NIT	0,0285	
Efeito via	CZ	-0,2198	CZ	-0,2815	CZ	0,3221	CZ	0,4279	
Total		-0,2960		-0,4169		0,3732		0,6884	

**Tabela 4 - Continuação**

		Caracteres					
		DIBS		NIT		CZ	
Efeito sobre	POC	0,0402	POC	-0,1171	POC	-0,7044	
Efeito via	FLOR	-0,0184	FLOR	0,0067	FLOR	0,0010	
Efeito via	ALT	0,0057	ALT	-0,0394	ALT	-0,0731	
Efeito via	VIG	0,0055	VIG	-0,0042	VIG	0,0047	
Efeito via	DC	0,0089	DC	-0,0005	DC	0,0223	
Efeito via	BS	-0,0096	BS	-0,0037	BS	-0,0090	
Efeito via	%BS	-0,0095	%BS	0,0068	%BS	-0,0210	
Efeito via	CEL	0,0951	CEL	0,0882	CEL	0,0918	
Efeito via	LIG	-0,2973	LIG	-0,0862	LIG	-0,2150	
Efeito via	NIT	-0,0412	DIBS	0,0141	DIBS	0,0185	R <sup>2</sup> = 0,9074
Efeito via	CZ	-0,3238	CZ	-0,1998	NIT	-0,0332	Pe = 0,3043
Total		-0,5443		-0,3350		-0,9173	

FLOR = Florescimento (dias); ALT = Altura média (m); VIG = Vigor fenotípico (1-5); DC = Diâmetro do colmo (mm); BV = Biomassa verde (Mg ha<sup>-1</sup>); BS = Biomassa seca total (Mg ha<sup>-1</sup>); %BS = Porcentagem de biomassa seca (%); CEL = Celulose (%); LIG = Lignina (%); DIBS = Digestibilidade *in vitro* da biomassa seca (%); NIT = Nitrogênio (%); CZ = Cinzas (%) e POC = Poder calorífico (MJ kg<sup>-1</sup>).

R<sup>2</sup> = Coeficiente de determinação

Pe = Efeito residual

**Tabela 5** - Efeitos diretos e indiretos obtidos pela análise de trilha de oito componentes secundários sobre o componente primário poder calorífico (POC - MJ kg<sup>-1</sup>) para o grupo Cameroon.

		Caracteres							
		ALT		DC		BS		%BS	
Efeito sobre	POC	-0,0898	POC	0,1733	POC	0,0289	POC	-0,0305	
Efeito via	DC	0,1286	ALT	-0,0667	ALT	-0,0476	ALT	-0,0164	
Efeito via	BS	0,0153	BS	0,0115	DC	0,0689	DC	0,0258	
Efeito via	%BS	-0,0056	%BS	-0,0045	%BS	-0,0173	BS	0,0164	
Efeito via	C/L	0,1510	C/L	0,1406	C/L	0,0447	C/L	-0,0376	
Efeito via	FDN	0,0266	FDN	0,0263	FDN	0,0398	FDN	0,0203	
Efeito via	CZ	0,4789	CZ	0,5155	CZ	0,2471	CZ	0,0817	
Total		0,7050		0,7960		0,3645		0,0597	
		C/L		FDN		CZ			
Efeito sobre	POC	-0,3072	POC	0,0688	POC	-0,6155			
Efeito via	ALT	0,0441	ALT	-0,0346	ALT	0,0699			
Efeito via	DC	-0,0793	DC	0,0661	DC	-0,1452			
Efeito via	BS	-0,0042	BS	0,0167	BS	-0,0116			
Efeito via	%BS	-0,0037	%BS	-0,0090	%BS	0,0040			
Efeito via	FDN	-0,0306	C/L	0,1365	C/L	-0,1569		R <sup>2</sup> = 0,8870	
Efeito via	CZ	-0,3144	CZ	0,3392	FDN	-0,0379		P <sub>ε</sub> = 0,3362	
Total		-0,6963		0,5837		-0,8932			

ALT = Altura média (m); DC = Diâmetro do colmo (mm); BS = Biomassa seca total (Mg ha<sup>-1</sup>); %BS = Porcentagem de biomassa seca (%); C/L = relação celulose:lignina; FDN = Fibra em detergente neutro(%); CZ = Cinzas (%) e POC = Poder calorífico (MJ kg<sup>-1</sup>).

R<sup>2</sup> = Coeficiente de determinação

P<sub>ε</sub> = Efeito residual

### 3. CONCLUSÕES GERAIS

O capim-elefante apresenta diversidade genética para os caracteres relacionados ao uso como insumo bioenergético;

Os caracteres de qualidade da biomassa apresentam maior diversidade genética em relação aos morfo-agronômicos;

Foi possível formar seis grupos de diversidade genética e direcioná-los aos diferentes usos (e.g. uso forrageiro, produção de etanol de segunda geração e combustão direta da biomassa).

No grupo Napier, destacam-se os caracteres DC, LIG e CZ na determinação do poder calorífico, enquanto que no grupo Cameroon destaca-se o teor de LIG;

O grupo Cameroon apresenta maior aptidão em relação ao grupo Napier para a