

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
FACULDADE DE AGRONOMIA E ZOOTECNIA
Programa de Pós-Graduação Agricultura Tropical

**GENÓTIPOS DE CAPIM-ELEFANTE PARA PRODUÇÃO DE ENERGIA NA
FORMA DE COMBUSTÃO**

HENRIQUE GUIMARÃES DE FAVARE

CUIABÁ – MT

2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
FACULDADE DE AGRONOMIA E ZOOTECNIA
Programa de Pós-Graduação Agricultura Tropical

HENRIQUE GUIMARÃES DE FAVARE
Engenheiro Agrônomo

**GENÓTIPOS DE CAPIM-ELEFANTE PARA PRODUÇÃO DE ENERGIA NA
FORMA DE COMBUSTÃO**

Orientador: Prof. Dr. Joadil Gonçalves de Abreu

Tese apresentada à Faculdade de
Agronomia e Zootecnia da Universidade
Federal de Mato Grosso, para obtenção
do Título de Doutor em Agricultura
Tropical.

CUIABÁ - MT

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

G963g Guimarães de Favare, Henrique.
GENÓTIPOS DE CAPIM-ELEFANTE PARA PRODUÇÃO
DE ENERGIA NA FORMA DE COMBUSTÃO / Henrique
Guimarães de Favare. -- 2019
53 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Joadil Gonçalves de Abreu.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Mato Grosso,
Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Programa de Pós-
Graduação em Agricultura Tropical, Cuiabá, 2019.
Inclui bibliografia.

1. Pennisetum purpureum Schum. 2. FDA. 3. Materiais Voláteis.
4. Minerais. 5. Produtividade. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
FACULDADE DE AGRONOMIA E ZOOTECNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA TROPICAL
Av. Fernando C. da Costa, nº 2367 – Cidade Universitária- 78060-900 – Cuiabá – MT.
Telefone/Fax (65) 3615.8618. E-mail: agritrop@ufmt.br

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título "GENÓTIPOS DE CAPIM-ELEFANTE PARA PRODUÇÃO DE BIOENERGIA"

Autor: Henrique Guimaraes de Favare

Orientador: Joadil Gonçalves de Abreu

Aprovado (a) em 05 de abril de 2019

Comissão Examinadora:

Doutor Joadil Gonçalves de Abreu
(Orientador - UFMT)

Doutora Livia Vieira de Barros
(Examinadora Interna - UFMT)

Doutor Felipe Gomes da Silva
(Examinadora Interna - UFMT)

Doutor Luis Miguel Mendes Ferreira
(Examinador Externo - UTAD)

Doutor Inácio Martins da Silva Neto
(Examinador Externo - UNIVAG)

**“As pessoas esperam que Deus faça tudo por elas, mas não percebem que elas têm poder...
Você quer um milagre? Seja um MILAGRE”.**
(Trecho do filme Bruce Almighty, 2003).

Agradecimentos

Agradeço a Deus, por todas as oportunidades a mim concedidas.

À Universidade Federal de Mato Grosso, campus Cuiabá pela oportunidade de realização do curso de pós-graduação.

À CAPES, pelo apoio financeiro no decorrer do curso de pós-graduação.

Ao Centro de Pesquisa da Empresa Mato-grossense de Pesquisa, Assistência e Extensão Rural, polos Cáceres-MT e Várzea Grande-MT por ceder área para realização do experimento, auxílio quanto as análises laboratoriais.

Ao professor Dr. Joadil Gonçalves de Abreu, pelo apoio e orientação no desenvolvimento da pesquisa.

Aos membros da banca examinadora, professores Luis Miguel Mendes Ferreira, Marco Antônio Aparecido Barelli, Livia Vieira de Barros, Felipe Gomes da Silva e Inácio Martins da Silva Neto pelas críticas, correções e sugestões.

Ao pesquisador Francisco Ildfonso da Silva Campos pela idealização e contribuição técnica na implantação e execução do experimento.

Aos bolsistas de iniciação científica e estagiários do grupo de estudo em Forragicultura, pelo comprometimento e dedicação na implantação e execução deste experimento.

Aos mestrandos e doutorandos do grupo de estudo em Forragicultura, que auxiliaram direta ou indiretamente no desenvolvimento da pesquisa para confecção desta Tese.

À minha família, pelo incentivo e orgulho sempre demonstrados durante minha vida acadêmica.

À minha noiva Laura Regina Pinheiro Leite, pelo carinho, companheirismo e pelo apoio nos momentos bons, e principalmente nos momentos difíceis.

E a todos que de alguma forma deram sua contribuição para o desenvolvimento deste trabalho.

Muito obrigado!

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1. Biomassa	11
2.1.1. Processo de combustão	12
2.1.2. Composição mineral	14
2.2. Capim-elefante	16
2.2.1. Origem e fenologia	16
2.2.2. Potencial energético	18
3. MATERIAL E MÉTODOS	19
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
4.1. Características Agronômicas	23
4.1.1. Altura de planta	23
4.1.2. Comprimento e largura de lâmina foliar	26
4.1.3. Diâmetro do colmo	28
4.1.4. Número de perfilhos	28
4.1.5. Produtividade de matéria seca	29
4.1.6. Porcentagem de colmo	32
4.2. Composição bromatológica	32
4.2.1. Teor de matéria seca	32
4.2.2. Teor de fibra em detergente ácido	35
4.2.3. Teor de fibra em detergente neutro	36
4.2.4. Teor de hemicelulose	36
4.2.5. Teor de matérias voláteis e carbono fixo	37
4.3. Composição mineral	40
5. CONCLUSÃO	47
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

GENÓTIPOS DE CAPIM-ELEFANTE PARA PRODUÇÃO DE ENERGIA NA FORMA DE COMBUSTÃO

RESUMO: Objetivou-se avaliar as características agronômicas, composição bromatológica de genótipos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* SCHUM.) para produção de energia na forma de combustão. O experimento foi realizado no campo experimental da empresa Mato-grossense de Pesquisa, Assistência e Extensão Rural (EMPAER) em Cáceres-MT. O delineamento experimental foi de blocos casualizados com três repetições. Os tratamentos foram dispostos em esquema de parcelas subdivididas, considerando como parcela os genótipos e como subparcelas as épocas de corte (seca e águas). Os treze genótipos avaliados foram Cubano Pinda, Porto Rico, Vruckwona, Piracicaba 241, Cuba 116, Taiwan A-25, Mercker, Napier, Canará, Guaçu, Cameroon e os clones CNPGL 93-41-1 e CNPGL 91-25-1. A unidade experimental constituiu-se de quatro fileiras de 5,0 m de comprimento com espaçamento entre linhas de 1,0 m, totalizando 20 m². O experimento teve duração de dois anos consecutivos, com corte realizado a cada seis meses contados do corte de uniformização (março/2016), efetuando-se um corte na seca (setembro) e um nas águas (março), totalizando quatro cortes. Foram avaliadas as características agronômicas (altura da planta, comprimento e largura da lâmina foliar, diâmetro do colmo, número de perfilhos, produtividade de matéria seca e porcentagem de colmo); composição bromatológica (teores de matéria seca, fibra em detergente neutro e ácido, hemicelulose, matérias voláteis e carbono fixo); composição mineral (concentrações de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre e nitrogênio). Os genótipos que apresentaram maiores produtividade de matéria seca, altura de planta e diâmetro de colmo são CNPGL 91-25-1, Cubano Pinda, BRS Canará, Porto Rico e Mercker. Maiores teores de matéria seca, fibra em detergente ácido e matérias voláteis ocorrem no período seco do ano e nos seguintes genótipos Mercker, Piracicaba 241, Guaçu, Cubano Pinda e BRS Canará. Menores concentrações de fósforo (águas), potássio (seca) e magnésio (seca e águas) são encontradas nos genótipos Cuba 116, Piracicaba 241, Vruckwona, Porto Rico, BRS Canará e Cubano Pinda. Analisando as características agronômicas, composição bromatológica e mineral, os genótipos recomendados para produção de energia na forma de combustão são BRS Canará e Cubano Pinda.

Palavras-chave: *Pennisetum purpureum* Schum; FDA; Materiais Voláteis; Minerais; Produtividade

ELEPHANT GRASS GENOTYPES FOR ENERGY PRODUCTION IN THE FORM OF COMBUSTION

ABSTRACT: The objective was to evaluate the agronomic characteristics, the chemical composition of elephant grass genotypes (*Pennisetum purpureum* Schum.) For energy production in the form of combustion. The experiment was conducted in the Experimental field of the company Mato-grossense of Research, Assistance and Rural Extension (EMPAER) in Cáceres-MT. The experimental design was a randomized block with three replicates. The treatments were arranged in a split plots scheme, considering as genotype plot and cuttings (dry and water) as subplots. The thirteen genotypes evaluated were Cubano Pinda, Porto Rico, Vruckwona, Piracicaba 241, Cuba 116, Taiwan A-25, Mercker, Napier, Canará, Guaçu, Cameroon and the clones CNPGL 93-41-1 and CNPGL 91-25-1. The experimental unit consisted of four rows of 5.0 m in length with spacing between rows of 1.0 m, totaling 20 m². The experiment lasted two consecutive years, with a cut made every six months counting from the standardization cut (March/2016), with a cut in the drought (September) and one in the waters (March), totaling four cuts. The agronomic characteristics (plant height, leaf blade length and width, stem diameter, number of tillers, dry matter yield and stem percentage) were evaluated; bromatological composition (dry matter, neutral and acid detergent fiber, hemicellulose, volatile matter and fixed carbon); mineral composition (concentrations of phosphorus, potassium, calcium, magnesium, sulfur and nitrogen). The genotypes with the highest yields of dry matter, plant height and stem diameter were CNPGL 91-25-1, Cubano Pinda, BRS Canará, Porto Rico and Mercker. Larger levels of dry matter, acid detergent fiber and volatile matter occur in the dry period of the year and in the following genotypes Mercker, Piracicaba 241, Guaçu, Cubano Pinda and BRS Canará. Smaller concentrations of phosphorus (water), potassium (dry) and magnesium (dry and water) are found in the genotypes Cuba 116, Piracicaba 241, Vruckwona, Porto Rico, BRS Canará and Cubano Pinda. Analyzing the agronomic characteristics, bromatological and mineral composition, the elephantgrass genotypes recommended for the production of energy in the form of combustion are BRS Canará and Cubano Pinda.

KEY-WORDS: *Pennisetum purpureum* Schum; FDA; Volatile Matter; Minerals; Productivity

1. INTRODUÇÃO

Os combustíveis de fontes fósseis apresentam problemas ambientais que alteram a dinâmica climática, além de ser um recurso finito. Sendo assim, há a necessidade de se gerar energia alternativa, a partir de recursos naturais renováveis, a ponto de suprir as necessidades da sociedade, com um mínimo de impacto ambiental.

As culturas de potencial energético se enquadram no plano de mitigação dos gases de efeito estufa (GEE), por serem plantas de grande potencial para conversão em produtos químicos, energia térmica ou elétrica, combustíveis, com baixos níveis de insumo para produção, minimizando o uso das fontes de combustíveis fósseis e com grande potencial de sequestro de carbono (Fontoura et al., 2015). Isto despertou interesse tanto pelo setor privado quanto público não só pela sua aplicabilidade econômica, mas principalmente ambiental devido as metas e acordos estipulados nas reuniões Rio 21, Protocolo de Kioto e Acordo de Paris (Souza e Corazza, 2017).

No Brasil, o eucalipto e seus coprodutos (serragem, lenha e cavaco) são os recursos energéticos alternativos tradicionais com diferentes usos, a exemplo: carvão, celulose, produção de madeira para fabricação de compensados e de papel. O setor agrícola possui espécies que se apresentam como promissoras para uso energético, dentre elas o capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.), uma das mais difundidas espécies forrageiras tropicais no mundo, distribuída por propriedades rurais como alimento volumoso (Reis et al., 2008).

O capim-elefante surge como opção, pois apresenta produtividade de matéria seca acima de $50 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Marafon et al., 2014), aproximadamente o dobro do eucalipto; menor ciclo produtivo com cortes semestrais; metabolismo C_4 que garante maior assimilação de carbono; poder calorífico entre 4.100 e $4.500 \text{ kcal kg}^{-1}$ (Quirino et al., 2005); baixo custo de produção e possibilidade de fabricação de briquetes e pellets, o qual agrega valor a biomassa e qualidade de queima (Seguchi et al., 2017).

A variabilidade de genótipos de capim-elefante é grande e se desenvolvem bem nas condições subtropicais e tropicais do Brasil. Recentemente foi lançado pela Embrapa para bioma Mata Atlântica, a cultivar BRS Capiapu para fins forrageiros (Pereira et al., 2017). Por outro lado, existem cultivares que estão em desuso e podem ser promissores para queima direta, em função dos elevados teores de matéria seca e fibra que apresentam (Rocha et al., 2017a), além do que a escolha

de genótipos com maior relação colmo/folha contribuirá para queima ideal da biomassa, pois o poder calorífico é geralmente maior nos colmos que nas folhas devido composição química (Mohamed et al., 2015).

Sabendo que o capim-elefante está entre as culturas de maior relevância como fonte renovável para a produção de energia nas próximas décadas, objetivou-se avaliar as características agronômicas e composição bromatológica de genótipos de capim-elefante para produção de energia na forma de combustão.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Biomassa

As fontes alternativas de energia renováveis, tais como energia solar, eólica, hídrica, geotérmica e de biomassa vegetal, são de extrema importância. O uso delas tem sido relevante para o desenvolvimento social com a geração de empregos, diversificação da matriz energética e contribuição para o meio ambiente devido minimização na emissão de gases do efeito estufa (Nass et al., 2007; Lima et al., 2018).

A biomassa passou a ser um segmento em potencial da matriz energética mundial e mais uma aliada na redução da dependência de combustíveis fósseis, principalmente pelas seguintes vantagens: disponível em grandes quantidades e com custo relativamente baixo; emissão de CO₂ de forma sustentável; baixo teor de cinzas com elevado teor de matéria volátil; alta reatividade e baixa temperatura de ignição; além da diversificação do abastecimento de combustível e segurança energética (Vassilev et al., 2015).

Conceitualmente, as biomassas são produtos originados de organismos vegetais (provenientes das florestas ou matéria orgânica residual) e/ou animal, usados como combustíveis ou na produção destes, sendo tradicional (lenha, carvão vegetal, palha e a casca de arroz, resíduos vegetais e animais) ou moderno (resíduos da utilização industrial da madeira, bagaço de cana, resíduos urbanos), em destaque nos últimos anos para as culturas energéticas (Chen e Önal, 2016).

As culturas energéticas podem ser utilizadas para geração de calor, eletricidade ou biocombustíveis sólidos (briquetes e pellets), gasosos (biogás) e líquidos (etanol e biodiesel) (Dias et al., 2012; Garcia et al., 2018), podendo se tornar uma das soluções para o fornecimento energético de baixo custo, tendo

funcionalidade nas cidades, como também propriedades rurais ou comunidades isoladas.

As biomassas oriundas de culturas energéticas são consideradas de baixo custo de produção, pois estas são fonte de energia providas diretamente do sol, a qual se deriva da reação entre gás carbônico, água e luz solar, pelo processo de fotossíntese, armazenando a fração de energia nas ligações químicas da sua composição estrutural. Embora o gás carbônico possa ser liberado na queima da biomassa, considera-se como carbono neutro, pois é reutilizado no crescimento vegetal, além de que uma parte permanece no solo como matéria orgânica residual da colheita, completamente oposto do que ocorre com o uso das fontes fósseis de energia como o petróleo ou carvão mineral (Zhu et al., 2008).

A potencialidade da energia advinda da biomassa é muito grande, mesmo tendo pouca expressão, não chegando a 15% do consumo mundial de energia, mas em longo prazo, esta será uma das alternativas energéticas mais seguras (Fontoura et al, 2015). Pesquisas estão sendo feitas por diversos países a fim de encontrar tipos de biomassa lignocelulósica que podem ser produzidas de acordo com a realidade do seu respectivo território, e em discussões sobre o mercado futuro de carbono, a cultura do capim-elefante está em ascensão (Boddey et al., 2004).

O promissor cenário energético advindo das biomassas terá lugar de destaque nos próximos anos, pois a substituição gradativa da energia fósseis é uma tendência. No Brasil, a energia oriunda de fontes renováveis do ano de 2015 a 2050, tem previsão de crescimento de quase 50%, sendo aproximadamente 35% da biomassa (Greenpeace, 2013).

O Brasil é um país em destaque para a produção e geração das energias alternativas, devido a alta taxa de incidência solar, condições edafoclimáticas e extensão territorial apropriadas ao segmento (Couto et al., 2004). Desta forma, pode colaborar para a garantia de suprimento energético, beneficiando o desenvolvimento do país pela diversificação da matriz energética, pois no ano de 2015, a biomassa proporcionou 8% da oferta interna de energia elétrica (EPE, 2016).

2.1.1. Processo de combustão

Aproximadamente 95% da bioenergia produzida no mundo é oriunda da combustão direta da biomassa, e a co-combustão de misturas de biomassa e

combustíveis fósseis surge como um propulsor para aumentar a produção de biocombustíveis em larga escala (Vassilev et al., 2013).

O combustível é qualquer corpo cuja combinação química com outro seja exotérmica, em geral é qualquer substância que reage com o oxigênio produzindo calor, chamas e gases. Este processo é de grande importância na área tecnológica atual, pois tem fornecido a maior parte da energia utilizada no mundo, citados com exemplo, em aquecimento de maneira geral, transporte e geração de eletricidade. O crescimento na oferta de energia calorífica, obtida através das biomassas como combustíveis, vem tornando possível a grande demanda por parte das atividades industriais (Hilsdorf et al., 2004).

Para melhor conhecimento da biomassa e o seu potencial de utilização, a análise de suas propriedades térmicas e químicas fundamentais se faz necessário, sendo: teores de umidade, materiais voláteis, poder calorífico, cinzas (Cortez et al., 2008).

O teor de umidade é um fator importante que influencia diretamente o poder calorífico da biomassa. Inevitavelmente ocorre perda de calor nos gases de combustão em forma de vapor de água, pois absorve energia resultante da combustão. Assim, quanto maior o teor de umidade, menor será a quantidade de energia proporcionada pelo combustível (Calegari et al., 2005). A preocupação quanto ao teor de umidade na biomassa vegetal é independente de sua origem seja ela lenhosa ou herbácea. A maioria das caldeiras é projetada para queima de biomassa com 50% de umidade, sendo que valores superiores à 52% podem resultar em prejuízos para estes equipamentos, por não ocorrer a queima completa, resultando em acúmulo de material na grelha (Payne, 1989). Neste sentido, biomassa lignocelulósicas como de capim-elefante deve seguir um padrão de excelência para uso em escala industrial.

No processo de queima, toda a matéria-prima libera uma quantidade de energia (calorias), sendo esta quantidade proporcional ao peso do material queimado. A medida do calor obtido pela queima do combustível pode ser definida como poder calorífico, sendo habitualmente expresso em termos de energia por unidade - kcal/kg (Quirino et al., 2005).

Este pode ser verificado sob duas bases distintas: poder calorífico superior (PCS) e poder calorífico inferior (PCI) (Iha et al., 2019). O PCS representa a energia total que se desprende, quando o combustível inflama no ar, incluindo também o

calor latente de vaporização da água contida na biomassa. A PCI corresponde à fração da energia produzida na combustão que fica efetivamente disponível, ou seja, a energia libertada na oxidação do combustível menos a energia necessária para evaporar a água nele contida (Peres et al., 2008). Toda energia contida na biomassa será maior quanto maior for o seu poder calorífico, e deste modo conhecer essa propriedade da biomassa que deseja utilizar como insumo energético é de grande importância.

O teor de matérias voláteis é a parte da biomassa que evapora como um gás (incluindo umidade) por aquecimento. Quanto maior o teor de voláteis, maior será a reatividade e conseqüentemente a ignição, ou seja, determina a facilidade com que uma biomassa entre em processo de combustão. Para quantificá-lo, a fração de massa da biomassa que volatiliza é medida durante o aquecimento de uma amostra padronizada e previamente seca, em atmosfera inerte até temperatura de 850°C (Mckendry, 2002).

A composição orgânica estrutural é compreendida por celulose (40 a 50 %), lignina (25 %) e hemicelulose (20 a 40 %), além de produtos orgânicos e inorgânicos em menor quantidade (Martini, 2009). Os resíduos resultantes da combustão dos componentes orgânicos e oxidação dos inorgânicos são denominadas como cinzas. Assim, o teor de cinzas refere-se a quantificação das substâncias inorgânicas contidas na biomassa vegetal após o processo de queima, a qual se processa em altas temperaturas, que podem ou não influenciar na durabilidade dos equipamento quem compõem o sistema (Khan et al., 2009).

2.1.2. Composição mineral

A biomassa é uma mistura heterogênea complexa de compostos orgânicos e inorgânicos sendo que cada elemento influencia diretamente sobre a dinâmica de combustão (Cortez et al., 2008). As cinzas das biomassas vegetais são constituídas de silício (Si), potássio (K), sódio (Na), enxofre (S), cálcio (Ca), fósforo (P), magnésio (Mg) e ferro (Fe). A proporção destes constituintes e seu comportamento em processos de conversão é altamente variável, porque cada tipo de biomassa tem uma origem e condições de formação específica (Vassilev et al., 2014).

As biomassas perenes seguem uma tendência de elementos metálicos e não metálicos na ordem K>Ca>Mg>P>S (Monti et al., 2008), e tal concentração deve-se principalmente sua estrutura orgânica e acelerado metabolismo. Quesada (2005),

estudando parâmetros quantitativos e qualitativos da biomassa de capim-elefante para fins energéticos, constatou que os minerais mais extraídos do solo e aderidos à biomassa foram o potássio, cálcio, nitrogênio, magnésio, fósforo.

Durante o processo de queima, os gases e o material contidos na matéria-prima podem afetar o desempenho e/ou durabilidade das caldeiras, principalmente se encontrados em excessos. Com relação ao potássio, pode ser encontrado na concentração de 0,88% no sorgo biomassa (Monti et al., 2008); 0,07 a 0,13% no eucalipto (Freddo et al., 1999); 0,54 a 1,12% para capim-elefante (Quesada, 2005). Na co-combustão de carvão e biomassa, temperaturas mais elevadas podem resultar combinação do potássio com partículas de cinza, ricas em alumino-silicatos, enxofre e em algumas biomassas, o cloro. As reações químicas entre o cloreto de potássio do depósito das cinzas reagindo com o dióxido de enxofre, dão origem a cloretos e sulfatos que corroem as superfícies metálicas (Kassman et al., 2011; Nakai et al., 2016).

O cálcio pode reagir com silício, carbono e fosfatos formando os silicatos, carbonatos e hidroxiapatita. Ele pode ser observado em concentrações de 0,83 e 0,92% para o sorgo sacarino e sorgo biomassa, respectivamente (Monti et al., 2008); e 0,32 a 0,54% para capim-elefante (Quesada, 2005).

O enxofre pode ser encontrado nas concentrações 0,10 e 0,11% para sorgo sacarino e sorgo biomassa, respectivamente (Monti et al., 2008); 0,05% para eucalipto (Vassilev et al., 2014). Forma compostos alcalinos com sódio e potássio que apresentam baixo ponto de fusão, e resultam em depósito de cinzas sobre as superfícies trocadoras de calor. Também se depositam em forma de pó ou condensados, dissolvendo o revestimento protetor, que é a base de óxido de ferro, desencadeando intensa corrosão do material potencializados com presença de sulfatos e cloretos.

Mesmo sendo uma fonte renovável de energia há preocupação sobre o destino adequado dos resíduos sólidos gerados após processo de queima. As cinzas, sem a correta destinação, são nocivas ao meio ambiente, pois a maioria dos resíduos é descartada em aterros sanitários. Mas, alternativas viáveis ecologicamente e economicamente são efetuadas com este resíduo, tais como a utilização agrícola, que pode reduzir gastos com corretivos e fertilizantes, maximizando a produtividade de culturas agrícolas (Bonfim-Silva et al., 2018).

Ademais, por conter em sua composição materiais inorgânicos (silicosos ou silico-aluminosos), as cinzas são utilizadas na substituição parcial do cimento portland para produção de concretos e argamassas (Cordeiro et al., 2009).

2.2. Capim-elefante

2.2.1. Origem e fenologia

O capim-elefante (*Pennisetum purpureum*) tem sua descrição original datada em 1827, mas teve modificações ao longo do tempo e atualmente a espécie pertence a Família Poaceae; Subfamília Panicoideae, tribo: Paniceae, gênero: *Pennisetum* L. Rich e espécie: *P. purpureum* SHUMACHER. É nativo da África Tropical e da região Subsaariana, onde cresce às margens de cursos de água, zonas úmidas ou das florestas em solos férteis (Tcacenco e Botrell, 1997).

Descoberto em 1905 pelo Coronel Napier, seu uso como cultura forrageira espalhou-se por toda a África e na maioria dos países tropicais e subtropicais onde ele foi introduzido intencionalmente. A cultura foi introduzida no Brasil em 1920, sendo trazida de Cuba, primeiramente na forma de mudas da cultivar Napier, e hoje encontra-se difundido em todo território nacional com grande variabilidade de cultivares, graças à boa adaptação ao ambiente (Cavalcante e Lira, 2010).

O capim-elefante apresenta de 3,0 a 5,0 m de altura; seus colmos são preenchidos por um parênquima suculento, chegando a 2,0 cm de diâmetro, com entrenós de até 20 cm; os perfilhos crescem formando touceiras espessas ou não a partir de rebentos basais ou rizomas curtos. Apresenta constante lançamento de perfilhos basais, mas também aéreos, podendo formar densas touceiras, apesar de não cobrirem totalmente o solo. As bainhas de folhas glabras são mais curtas que os entrenós; a lígula é um aro estreito densamente franjado com cílios brancos longos (Alcântara e Bufarah, 1999).

As lâminas de folhas do capim-elefante são lineares e afiladas, planas, verdes, com 1,0 m de comprimento e 3,0 cm de largura, nervura central larga, pilosidade perto da base, especialmente nas margens. A inflorescência é em forma de espiga, com coloração do amarelo ao púrpuro, com 15 a 20 cm de comprimento e 2,0 cm de largura. As espigas apresentam de 4,0 a 6,0 mm de comprimento, únicas ou em grupos de 2 a 6 no eixo piloso, rodeadas por cerdas esparsamente plumosas de até 2,0 cm de comprimento que caem com as espiguetas na maturidade (Carvalho et al., 1997).

O capim-elefante cresce em áreas abertas com iluminação total do sol ou sombreamento parcial, mas sem tolerância ao sombreamento total de árvores com copa densa. Preferencialmente cresce em habitats tropicais úmidos de altitudes desde o nível do mar até 2.000 m, e pluviosidade acima de 1500 mm anuais. Seu sistema de raízes profundas permite que sobreviva em períodos de seca, tendo tolerância a áreas com precipitação anual de 200 a 4000 mm. A produtividade de matéria seca é estacional, em períodos chuvosos ocorre sua maior produção, com 70% a 80% do potencial anual de produção (Carvalho et al., 1997).

Quanto ao tipo de solo é adaptado desde solos argilosos até solos arenosos com pH variando de 4,5 a 8,2, com melhor desenvolvimento em solos férteis e bem drenados. As temperaturas para o crescimento ótimo devem ser de 25 a 40°C, e há pouco crescimento abaixo de 15°C (Villa Nova et al., 2007).

No Brasil, o cultivo plantio do capim-elefante é preferencialmente realizado durante o verão, no início das chuvas para garantir o melhor estabelecimento da cultura. E quando o propósito é a produção de biocombustível recomenda-se o mínimos de fertilizantes, pois presença de minerais gera cinzas que danificam os fornos de combustão (Rocha, 2015).

Devido as características genéticas da espécie (ciclo curto) e ao metabolismo C₄, o capim-elefante é uma gramínea perene de crescimento rápido, e quando atinge a maturidade, emite floração em variados meses do ano. O capim-elefante é uma espécie alógama e protogínica e, com isso, apresenta baixa produção de sementes. A propagação é feita por fragmentos de colmo, estacas e perfilhos o que permite a fixação de um genótipo (Pereira et al., 2001).

Os genótipos de capim-elefante podem ser divididos em cinco grupos, de acordo com a época de florescimento, pilosidade da planta, diâmetro do colmo, formato da touceira, largura da folha, número e tipo de perfilhos. Esses grupos são Anão; Cameroon; Mercker; Napier; Híbridos interespecies resultantes do cruzamento entre espécies de *Pennisetum* (Pereira, 1994).

Para produção de biomassa de capim-elefante, existe a necessidade de genótipos que acumulam grande quantidade de fibra e lignina e possuam alta relação C:N (Rocha, 2015). Rocha et al. (2017a), avaliando acessos de capim-elefante para produção de bioenergia, verificaram o potencial de uso em grande parte de acessos, o qual demonstra a possibilidade de haver genótipos com alta produtividade de matéria seca e com elevado teor de fibra.

2.2.2. Potencial energético

O capim-elefante atende as necessidades do setor industrial devido a sua versatilidade, tais como: fibra para indústria de papel (Madakadze et al., 2010); biomassa para produção de bioetanol (Santos et al., 2018); combustão direta da biomassa como substituto do carvão vegetal (Morais et al., 2011); co-produtos gerados nas biorefinarias (Fontoura et al., 2015).

No caso da queima direta, corte efetuados a partir 180 dias pós-plantio tem sido comumente empregados e garantem boa produtividade de biomassa, também havendo resultados promissores até aos 10 meses de idade (Flores et al., 2013). Ademais, apresenta excelente balanço energético na queima *in natura*, com a obtenção de 21,3 unidades de energia renovável para cada unidade de energia fóssil utilizada no processo produtivo e pode vir a ser fonte renovável mais importante para a produção de energia nas próximas décadas (Chakraborty et al., 2012).

O colmo do capim-elefante é a porção com maior acúmulo de fibra que promove a manutenção e a persistência do fogo. Quando cortado aos 6 meses após o plantio apresenta poder calorífico de 4.100 a 4.500 kcal kg⁻¹, obtendo valores próximos ao *Eucalyptus* sp. (4.525 kcal kg⁻¹) (Quirino et al., 2005). Assim, a escolha de genótipos com maior relação colmo/folha contribuirá para queima ideal da biomassa, pois o poder calorífico é geralmente maior nos colmos que nas folhas devido composição química (fibras e cinzas). Zanetti et al. (2010) verificaram que o PCS médio de seis genótipos de capim-elefante foi de 4.180 kcal kg⁻¹ nos colmos e 3.953 kcal kg⁻¹ nas folhas.

Seguchi et al. (2017), ao comparar os custos de produção do capim-elefante e eucalipto, a partir do levantamento e comparação dos custos de produção, no plantio, tipos de secagens da biomassa (solar e induzida), até a fase industrial de peletização, com finalidade energética constataram custo da tonelada do briquete no valor de 143,66 reais t⁻¹ na secagem solar e 220,86 reais t⁻¹ na secagem induzida para eucalipto e de 96,77 reais t⁻¹ na secagem solar e 167,48 reais t⁻¹ secagem induzida para capim-elefante o qual mostrou-se de maior rentabilidade. Conforme Nakashima et al. (2017), a briquetagem favorece o aproveitamento, transporte e armazenagem, o que possibilita seu uso como lenha ecológica para aquecer

residências, hotéis, hospitais, fornos de pizzarias e padarias, e também empregado na geração de calor em fornos e caldeiras na indústria ceramista.

A partir de investimento privados em 2010, entrou em funcionamento a primeira usina termoelétrica brasileira abastecida por capim-elefante, localizada em São Desidério-BA. A empresa Sykué Bioenergia possui uma área plantada de 4000 ha de capim-elefante voltado especificamente para biomassa com meta de produção energética de 30 megawatts hora, suficiente para atender a uma cidade de 30000 habitantes (Bispo, 2010).

Também é possível o uso da biomassa de capim-elefante para produção de etanol celulósico, também chamado de álcool de segunda geração, devido alta relação celulose/lignina, além de hemicelulose que proporciona alta produção de etanol por tonelada de biomassa (Naik et al., 2010). Estima-se que a produção de etanol tem alcance de 40% com a utilização de biomassa lignocelulósica como matéria-prima do que o etanol de 1ª geração (Fontoura, et. al., 2015).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Campo experimental da Empresa Mato-grossense de Pesquisa, Assistência e Extensão Rural (EMPAER) em Cáceres-MT, situado a 16°09"04" de Latitude Sul; 57°38"03" de Longitude Oeste; altitude de 157 m. O clima no município, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, ou seja, clima tropical, megatérmico, caracterizado por duas estações bem definidas: seca (maio a setembro) e chuvosa (outubro a abril).

O experimento teve duração de dois anos, com cortes a cada 180 dias contados após o corte de uniformização (março/2016), havendo um corte no período de seca (setembro) e outro corte no período de águas (março), em um total de quatro cortes em dois anos consecutivos.

Os dados climáticos obtidos nesse período foram obtidos do site INMET por estação meteorológica localizada na região (Figura 1).

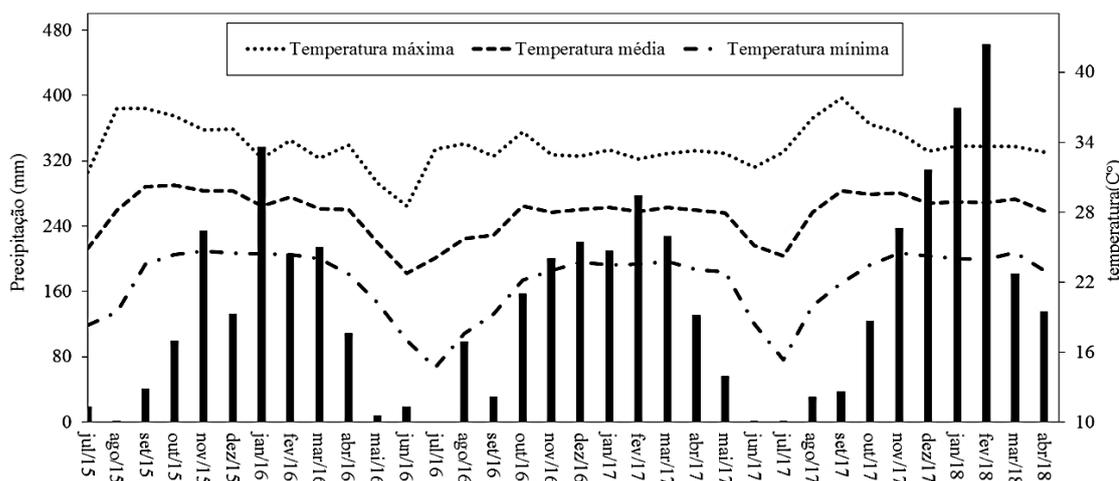


Figura 1: Precipitação e temperaturas máxima, mínima e média de Cáceres-MT durante a realização do experimento de julho/2015 a abril/2018 (Fonte: INMET).

Realizou-se a análise química e granulométrica do solo da área experimental (Tabela 1) antes do plantio por meio do qual foi feita a recomendação de adubação de estabelecimento. Após o último corte do capim elefante, efetuou-se nova análise do solo para verificar o nível de fertilidade do solo após os quatro cortes realizados. O solo foi caracterizado como Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico chernossólico, textura média/argilosa.

Tabela 1: Análise química e granulométrica na camada de 0 a 20 cm do solo da área experimental antes do plantio (A) e depois do último corte do capim-elefante (B).

	pH (CaCl ₂)	P (mg dm ⁻³)	K	Ca	Mg	AL (cmol _c dm ⁻³)	H+AL	SB	CTC	V (%)	MO (g dm ⁻³)	Ar	Sil (g kg ⁻¹)	Arg
A	5,6	6,90	0,12	2,2	0,8	0,0	2,1	3,1	5,2	60	27,0			
B	5,8	4,10	0,09	3,3	1,2	0,0	2,1	4,7	6,8	69	24,1	723	56	221

P = Fósforo; K = Potássio; Ca = Cálcio; Mg = Magnésio; Al = Alumínio; H = Hidrogênio; CTC = Capacidade de troca de Cátions; V = Saturação por Bases; OM = Matéria orgânica; Ar: Areia; Sil: Silte, Arg: Argila.

O preparo do solo foi feito com uma aração e duas gradagens no mês de setembro de 2015, sem aplicação de calcário, devido a porcentagem de saturação por bases desejada (Vd= 50%) estar em níveis adequados para estabelecimento do capim-elefante (Ribeiro et al., 1999). As mudas dos genótipos de capim-elefante utilizados para análise do potencial energético foram obtidas no viveiro do Campo Experimental da EMPAER. O plantio dos colmos foi realizado em sistema de “pé-com-ponta” sendo as mudas deitadas e recobertas com terra, utilizando-se o espaçamento de 1,0 m entre linhas.

A adubação única do experimento foi realizada no estabelecimento do capim-elefante nas quantidades de 70 kg de P₂O₅ ha⁻¹, 100 kg de K₂O ha⁻¹ e 100 kg de N

ha⁻¹ na forma dos seguintes fertilizantes: superfosfato simples, cloreto de potássio e sulfato de amônio, respectivamente. Tanto o fertilizante nitrogenado quanto o potássico foram parcelados em duas aplicações, sendo a primeira no plantio (novembro/2015), e a segunda logo após o corte uniformização (março/2016).

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados com 3 repetições. Os tratamentos foram dispostos em esquema de parcelas subdivididas, considerando como parcela os genótipos (13) e como subparcelas os ciclos de corte (seca e águas).

Os treze genótipos avaliados foram Cubano Pinda, Porto Rico, Vruckwona, Piracicaba 241, Cuba 116, Taiwan A 25, Mercker, Napier, Canará, Guaçu, Cameroon e os clones CNPGL 93-41-1 e CNPGL 91-25-1. A unidade experimental foi constituída por quatro fileiras de 5,0 m de comprimento com espaçamento entre linhas de 1,0 m, totalizando 20 m². Considerarou-se como área útil as duas linhas centrais, desprezando-se 1,0 m nas extremidades.

O 1º corte de aproveitamento foi realizado no mês de setembro de 2016 (corte da seca), e os cortes sucessivos foram realizados a cada 6 meses, sendo os seguintes: março/2017 (corte das águas), setembro/2017 (corte da seca); março/2018 (corte das águas).

As características agrônômicas avaliadas foram obtidas pela média aritmética de três amostras de perfilhos selecionados ao acaso dentro da área útil sendo elas altura da planta (ALT), mensurada desde o nível do solo até a inserção da última folha completamente expandida (em m); diâmetro do colmo (DC), mensurada do colmo ao do nível do solo com paquímetro digital (em mm); comprimento de folha (CF), mensurada pelo comprimento da última folha expandida (em m); largura de folha (LF), mensurada pela parte mais larga da última folha expandida (em cm); número de perfilhos por metro linear⁻¹ (NP) contabilizado pelos perfilhos na área útil e posteriormente converteu-se para metro linear; produtividade de matéria seca (PMS) foi obtida cortando-se toda a massa verde existente na área útil da parcela, multiplicando-se pelo teor de matéria seca e depois convertendo em t MS ha⁻¹.

O teor de matéria seca (MS %) e porcentagem de colmo (PC %) foram obtidos de três amostras de perfilhos selecionados ao acaso dentro da área útil e representaram a planta inteira, lâmina foliar e pseudocolmo. Estas porções foram devidamente separadas nos componentes morfológicos, posteriormente picadas e acondicionadas em saco de papel, pesadas e colocadas em estufa de 55°C até

atingir massa constante. Em seguida, as amostras foram novamente pesadas para obtenção da amostra seca ao ar (ASA).

Para análise da qualidade da biomassa as amostras de planta inteira foram moídas em moinho tipo Willey com peneira de 1 mm e acondicionado em potes plásticos para análises da composição bromatológica referente aos teores de fibra em detergente ácido (FDA %), fibra em detergente neutro (FDN %), hemicelulose (HEM %), matéria mineral (MM %); e concentrações (g kg^{-1}) dos minerais fósforo (P), potássio (K), nitrogênio (N), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S); conforme metodologia de Silva e Queiroz (2002).

Para a determinação da Análise Imediata da biomassa *in natura*, regida pela NBR 8112 citado por Nogueira e Rendeiro (2008), foram determinados os teores de matérias voláteis (MV %) e carbono fixo (CF %). Primeiramente as amostras de biomassa foram colocadas em estufa a $100 \pm 5^\circ\text{C}$ até que a massa ficasse constante. Após esta etapa, a amostra sem umidade foi introduzida em uma mufla a $850 \pm 10^\circ\text{C}$ por sete minutos. Posteriormente, a amostra foi colocada em dessecador para resfriamento e posterior pesagem. O teor de matérias voláteis (MV %) foi determinado pela equação:

$$MV (\%) = \frac{m_2 - m_3}{m_2} * 100$$

onde: m_2 representa a massa final do teor de umidade (g); m_3 é massa final (g) depois da mufla.

Em seguida, a amostra sem umidade e sem voláteis foi colocada na mufla com temperatura de $710 \pm 10^\circ\text{C}$ por uma hora (meia hora com a porta meio aberta e meia hora com a porta da mufla fechada), e o teor de cinzas (CIN) foi calculado utilizando a equação:

$$CIN (\%) = \frac{m_3 - m_4}{m_3} * 100$$

onde: m_3 é massa em gramas depois do procedimento anterior; m_4 é a massa final (g).

O teor de carbono fixo (CF) foi obtido por diferença através seguinte da equação:

$$CF (\%) = 100 - (MV + CIN)$$

onde: MV é o teor de matérias voláteis (%); CIN é o teor de cinzas (%).

Os dados coletados foram submetidos aos testes de normalidade (Lilliefors) e de homogeneidade de variâncias (Bartlett), porém não houve necessidade de transformação.

Em seguida, os dados foram submetidos a análise de variância e teste de agrupamento de médias de Scott-Knott, conforme Banzato e Kronka (1992), utilizando o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijk} = \mu + B_j + G_i + \varepsilon_{a_{ij}} + E_k + GE_{ik} + \varepsilon_{b_{ijk}}$$

em que:

Y_{ijk} = valor observado do i-ésimo genótipo, na k-ésima época e no j-ésimo bloco;

μ = média geral;

B_j = efeito do j-ésimo bloco;

G_i = efeito do i-ésimo genótipo;

$\varepsilon_{a_{ij}}$ = erro experimental associado a parcela;

E_k = efeito da k-ésima época;

GE_{ik} = efeito da interação entre genótipo e época;

$\varepsilon_{b_{ijk}}$ = erro experimental associado a subparcela.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Características Agronômicas

4.1.1. Altura de planta

No 1º ano de cultivo, comparando as duas épocas (águas e seca), todos os genótipos tiveram maiores ALT ($P < 0,05$) nas águas. Porém, o clone CNPGL 93-41-1 não diferiu estatisticamente da época seca (Tabela 2), o que demonstra que o fator umidade não o afetou com decréscimo em ALT. A ALT dos genótipos dentro do período de seca, não houve diferença ($P > 0,05$) com média de 2,56 m. De outra forma, os genótipos Cameroon, Porto Rico, Taiwan A 25, Vruckwona, Guaçu, Cuba 116, BRS Canará e Cubano Pinda tiveram as maiores ALT ($P > 0,05$) dentro do período das águas.

No 2º ano de cultivo, CNPGL 93-41-1 apresentou resultado semelhante aos demais genótipos obtendo maior ALT na época das águas (Tabela 3). A redução na ALT no período seco se deve à falta de chuvas, que restringe o crescimento vegetal a qual ocorre naturalmente neste período do ano. Com o retorno das chuvas, constataram-se incrementos em altura de planta para todos os genótipos, demonstrando assim a relação direta entre a disponibilidade de água no solo e a

Tabela 2: Altura de planta (ALT), comprimento (CF) e largura de lâmina foliar (LF), diâmetro do colmo (DC) e número de perfilhos (NP) de genótipos de capim-elefante aos 6 meses de idade no período de seca e águas do 1º ano de cultivo (2016-2017).

Genótipo	ALT (m)		CF (m)		LF (cm)		DC (mm)		NP (m linear)	
	Seca	Águas	Seca	Águas	Seca	Águas	Seca	Águas	Seca	Águas
CNPGL 93-41-1	2,93 aA	2,79 bA	1,33 aA	1,01 aA	5,37 aA	4,67 aB	17,33 aA	16,08 bA	14,61 bA	14,11 aA
CNPGL 91-25-1	2,41 aB	2,94 bA	1,31 aA	1,16 aA	4,70 bA	4,35 bA	18,33 aA	15,08 bB	18,67 bA	20,00 aA
Taiwan A25	2,72 aB	3,35 aA	0,78 bA	0,83 aA	1,23 eB	3,06 cA	12,00 bA	14,25 bA	22,94 aA	19,00 aA
Cuba 116	2,67 aB	3,41 aA	1,11 aA	0,88 aA	3,74 bA	3,08 cA	13,00 bB	16,42 bA	17,72 bA	20,33 aA
Mercker	2,39 aB	3,11 bA	1,27 aA	1,01 aA	5,07 aA	5,09 aA	16,67 aA	16,08 bA	16,83 bA	16,17 aA
Cameroon	2,47 aB	3,30 aA	1,20 aA	1,07 aA	4,37 bA	4,58 aA	15,00 bA	16,50 bA	17,22 bA	18,06 aA
Piracicaba 241	2,26 aB	3,11 bA	1,38 aA	1,04 aB	5,03 aA	3,99 bB	17,67 aA	13,30 bB	14,78 bA	14,22 aA
Vruckwona	2,24 aB	3,36 aA	1,24 aA	0,92 aA	4,13 bA	4,08 bA	14,00 bA	14,17 bA	18,78 bA	16,83 aA
Napier	2,50 aB	3,02 bA	1,22 aA	0,96 aA	3,93 bA	3,69 cA	14,00 bA	15,00 bA	20,11 bA	17,11 aA
Porto Rico	2,67 aB	3,35 aA	0,73 bA	0,99 aA	2,30 dB	3,12 cA	14,67 bA	13,17 bA	26,72 aA	20,94 aA
Guaçu	2,85 aB	3,38 aA	1,09 aA	0,95 aA	3,17 cB	4,02 bA	13,33 bA	15,33 bA	18,72 bA	15,72 aA
Cubano Pinda	2,58 aB	3,57 aA	1,08 aA	1,04 aA	3,60 bB	4,33 bA	13,00 bB	20,58 aA	17,72 bA	14,50 aA
BRS Canará	2,55 aB	3,47 aA	1,35 aA	1,01 aB	3,77 bA	4,14 bA	13,00 bA	14,83 bA	18,17 bA	16,33 aA
CV (a) (%)	10,40		15,58		11,78		12,39		25,48	
CV (b) (%)	8,80		17,77		10,04		11,09		19,34	

Letras minúsculas iguais na vertical e maiúsculas na horizontal não diferem entre si pelo teste Scott Knott a 5%

Tabela 3: Altura de planta (ALT), comprimento (CF) e largura de lâmina foliar (LF), diâmetro do colmo (DC) e número de perfilhos (NP) de genótipos de capim-elefante, aos 6 meses de idade no período de seca e águas no 2º ano de cultivo (2017-2018).

Genótipo	ALT (m)		CF (m)		LF (cm)		DC (mm)		NP (m linear)	
	Seca	Águas	Seca	Águas	Seca	Águas	Seca	Águas	Seca	Águas
CNPGL 93-41-1	1,47 bB	2,58 cA	0,87 aA	0,99 aA	4,07 aA	4,90 aA	15,56 aB	22,33 aA	19,61 cA	16,83 bA
CNPGL 91-25-1	1,55 bB	3,95 aA	0,79 aA	0,22 cB	3,82 aA	1,67 bB	14,22 aB	21,33 aA	20,56 bA	18,94 aA
Taiwan A25	1,84 aB	4,31 aA	0,75 aA	0,22 cB	1,59 bA	1,17 bA	9,67 aB	14,33 bA	26,67 aA	21,44 aB
Cuba 116	1,91 aB	3,50 bA	0,75 aA	0,54 bA	3,21 aA	2,50 bA	14,78 aA	17,00 bA	21,06 bA	21,33 aA
Mercker	1,52 bB	3,47 bA	0,83 aA	0,63 bA	4,09 aA	3,87 aA	15,67 aA	16,33 bA	15,56 dA	15,39 bA
Cameroon	1,88 aB	3,48 bA	0,87 aA	0,93 aA	3,88 aA	4,23 aA	15,22 aA	17,33 bA	21,44 bA	9,56 bB
Piracicaba 241	1,88 aB	3,79 aA	0,82 aA	0,40 cB	3,20 aA	3,30 aA	13,78 aA	17,00 bA	13,44 dA	16,17 bA
Vruckwona	2,01 aB	3,27 bA	0,78 aA	0,70 bA	3,54 aA	3,90 aA	14,33 aA	16,00 bA	18,50 cA	12,44 bB
Napier	1,52 bB	3,04 bA	0,81 aA	0,92 aA	3,02 aA	3,50 aA	12,89 aB	17,00 bA	21,39 bA	13,50 bB
Porto Rico	2,11 aB	3,36 bA	0,84 aA	0,67 bA	1,71 bA	2,67 bA	11,78 aB	17,67 bA	25,22 aA	25,28 aA
Guaçu	2,15 aB	3,27 bA	0,74 aA	0,64 bA	2,13 bA	3,00 aA	12,78 aA	15,67 bA	18,94 cA	13,44 bB
Cubano Pinda	1,96 aB	4,12 aA	0,85 aA	0,25 cB	2,13 bA	1,67 bA	12,56 aB	20,33 aA	18,56 cA	12,39 bB
BRS Canará	2,06 aB	4,24 aA	0,84 aA	0,29 cB	3,04 aA	1,90 bA	13,67 aA	16,00 bA	17,39 cA	13,56 bA
CV (a) (%)	18,12		21,96		25,01		15,07		27,06	
CV (b) (%)	11,35		24,38		24,62		12,76		13,69	

Letras minúsculas iguais na vertical e maiúsculas na horizontal não diferem entre si pelo teste Scott Knott a 5%

altura de capim-elefante (Mota et al., 2010).

Os genótipos que apresentaram, ao mesmo tempo, maiores ALT ($P < 0,05$) dentro da época das águas e da seca no 2º ano de cultivo foram Taiwan A-25, Piracicaba 241, Cubano Pinda e BRS Canará com alturas entre 3,79 a 4,24 m. Marafon et al. (2017) avaliando cortes semestrais em genótipos de capim-elefante (BRS Capiáçu, Venezuela e Madeira), sorgo biomassa (BRS 716) e cana-de-açúcar (RB 92579 e cana-energia) constataram altura de planta variando de 2,9 a 3,4 m entre as espécies/cultivares avaliados, com destaque para o capim-elefante que apresentou as maiores alturas. Vale ressaltar que o capim-elefante tem potencial de alcançar mais de 5,0 m de altura, o que torna esta característica de extrema importância para finalidade energética do capim elefante, por se correlacionar positivamente com a produtividade de matéria seca (Menezes et al., 2014).

A ALT teve correlação positiva com produtividade de matéria seca ($r = 0,49^*$) e porcentagem de colmo ($r = 0,81^{**}$). Então, em programas de melhoramento para produção de biomassa vegetal, é importante selecionar cultivares com maiores altura de planta, pois têm correlação positiva com produtividade de matéria seca e porcentagem de colmo.

4.1.2. Comprimento e largura de lâmina foliar

No 1º ano de cultivo, comparando as duas épocas, todos os genótipos apresentaram menor CF na seca ($P > 0,05$), com exceção dos genótipos Piracicaba 241 e BRS Canará (Tabela 2). Dentro da época seca, verificou-se diferença significativa entre os genótipos ($P < 0,05$) onde apenas Porto Rico e Taiwan A 25 tiveram menor CF, respectivamente, com 0,73 e 0,78 m. Não houve diferença ($P > 0,05$) entre os genótipos dentro do período das águas, tendo CF médio de 1,07 m.

No 2º ano de cultivo, houve diferença estatística entre as duas épocas, sendo que os genótipos CNPGL 91-25-1, Taiwan A 25, Piracicaba 241, Cubano Pinda e BRS Canará tiveram o menor CF nas águas ($P < 0,05$) (Tabela 3). Dentro da seca, não houve diferença entre os genótipos, tendo CF médio de 0,81 m.

A lâmina foliar é responsável pela fotossíntese e fixação de carbono livre na estrutura vegetal, mas esta pode alterar as características químicas da biomassa por haver maior deposição de minerais comparada a fração mais fibrosa oriunda do colmo (Paciulo et al., 1998), o que é desinteressante para queima direta devido a

formação de compostos químicos que em alta temperatura danificam as superfícies metálicas das caldeiras e maior deposição de cinzas (Oberberger et al., 2006).

Como estratégia para redução de resíduos pós queima e melhor qualidade de biomassa, o ciclo produtivo da cultura energética é muito importante pois se obtém ganhos como aumento da produtividade de matéria seca e percentual de fibras, e redução dos minerais. Ferreira et al. (2018), avaliando a produtividade do capim-elefante BRS Canará para produção de feno em intervalos de cortes de 42, 60, 76, 91 e 105 dias nas águas, verificaram aumento de produtividade de matéria seca e redução na matéria mineral, de acordo com o avanço na idade, o que consequentemente terá influência direta sobre o poder calorífico da biomassa.

Para LF no 1º ano de cultivo, ao comparar as duas épocas, todos os genótipos tiveram larguras nas águas ($P > 0,05$), com exceção dos genótipos CNPGL 93-41-1 e Piracicaba 241 que obtiveram respectivamente 4,67 e 3,99 cm (Tabela 2). Quando observa-se dentro de cada época, o clone CNPGL 93-41-1 e o genótipo Mercker obtiveram maior LF dentro da seca junto ao Piracicaba 241, quanto na época das águas, junto ao Cameroon.

No 2º ano de cultivo, comparando-se as épocas, apenas o genótipo CNPGL 91-25-1 apresentou maior LF ($P < 0,05$) na época seca que os demais (Tabela 3). Dentro da época seca, houve diferença significativa com maior LF para a maioria dos genótipos ($P < 0,05$), com exceção de Taiwan A 25, Porto Rico, Guaçu, Cubano Pinda com valores respectivos de 1,59; 1,71; 2,13; 2,13 cm. Dentro das águas a maior LF ($P < 0,05$) foi obtida pelos genótipos CNPGL 93-41-1, Mercker, Cameroon, Piracicaba 241, Vrucwona, Napier e Guaçu.

Em programas de melhoramento para produção de biomassa, genótipos com maior LF tem correlação negativa com a produção de matéria seca ($r=-0,81$), em contrapartida, incrementos nas variáveis como ALT, DC e NP, menor será a LF e assim maiores valores de PMS serão obtidos, segundo Menezes et al. (2014). Decréscimo na produtividade de MS do capim elefante devido a presença da lâmina foliar deve-se provavelmente a menor densidade desta fração, principalmente quando comparada com o colmo. Estruturas morfológica “mais leves” são indesejáveis na queima direta devido às correlações existentes entre seus componentes elementares (carbono, hidrogênio, oxigênio) e a qualidade da energia térmica (Garcia et al., 2018). Ademais, a relação colmo/folha tem influência direta sobre o poder calorífico da biomassa, o qual é geralmente maior nos colmos

(Mohammed et al, 2015). Por isso, genótipos com menor área foliar (comprimento e largura) podem apresentar biomassa com melhor qualidade de queima.

4.1.3. Diâmetro do colmo

Conforme Silva et al., (2018) e Oliveira et al. (2017) o DC é de grande importância na seleção de genótipos, pois está diretamente relacionado com a produtividade de matéria seca além qualidade da biomassa. Maior DC resulta em maior conteúdo de compostos lignocelulósicos na parede celular. Com isso, ocorre a redução nas frações voláteis da biomassa como a hemicelulose, polissacarídeos de menor relevância na composição do comburente comparada as demais frações como lignina e celulose, devido à baixa estabilidade térmica e a menor energia de ativação na combustão direta. Além disso, sua presença incrementa geração de cinzas durante a combustão (Chen et al., 2015b; Van de Velden et al., 2010).

Ao comparar as duas épocas no 1º ano, os genótipos não tiveram diferença ($P > 0,05$), exceto CNPGL 91-25-1 e Piracicaba 241 que apresentaram redução no DC na época das águas ($P < 0,05$) com valores de 15,08 e 13,30 mm, inversamente para Cuba 116 na época seca ($P < 0,05$) com 13,00 mm (Tabela 4). Dentro da época da seca, os genótipos CNPGL 93-41-1, Piracicaba 241, CNPGL 91-25-1 e Mercker, se destacaram com maiores DC ($P < 0,05$). Dentro da época das águas, somente Cubano Pinda apresentou o maior DC ($P < 0,05$) com 20,58 mm.

No 2º ano de cultivo, ao comparar as duas épocas, verifica-se que nas águas houve um maior DC ($P < 0,05$) para os genótipos CNPGL 93-41-1, CNPGL 91-25-1, Taiwan A 25, Napier, Porto Rico e Cubano Pinda (Tabela 5). Dentro da época das águas, os genótipos CNPGL 93-41-1, CNPGL 91-25-1 e Cubano Pinda tiveram os maiores DC. Não houve diferença ($P < 0,05$) entre os genótipos dentro da época seca e a média foi 13,61 mm.

4.1.4. Número de perfilhos

O perfilhamento é uma característica de alta herdabilidade e de interesse em programas de melhoramento, visto a possibilidade do cruzamento (Silva et al., 2014), pois pode contribuir para obtenção de genótipos com maior produtividade de matéria seca (Menezes et al., 2014). Ao comparar as duas épocas no 1º ano de cultivo, não houve diferença significativa entre os genótipos (Tabela 4). Os genótipos

Taiwan A 25 e Porto Rico tiveram maior NP no período de seca ($P < 0,05$), com 22,94 e 26,72 perfilhos m linear⁻¹, respectivamente.

Na época das águas, não se verificou diferença estatística entre os genótipos com média de 16,17 perfilhos m linear-1. Maior NP foi observado por Scheneider et al. (2018), avaliando 80 genótipos de capim elefante em diferentes épocas. Estes autores contataram que o NP variou entre 22 e 91 para os genótipos Cana D'África e BAG-92, respectivamente, na época seca, e de 26,1 a 72,6 perfilhos m linear⁻¹ para os genótipos Goiano e EMPASC 309 respectivamente, na época das águas.

No 2º ano de cultivo, ao comparar as duas épocas, os genótipos Taiwan A 25, Cameroon, Vruckwona, Napier, Guaçu e Cubano Pinda obtiveram maior NP ($P < 0,05$) na seca (Tabela 5). Dentro da época seca, os melhores genótipos foram Taiwan A 25 e Porto Rico com NP de 26,67 e 25,22; respectivamente. Dentro da época das águas, os genótipos que apresentaram maior NP ($P < 0,05$) foram CNPGL91-25-1, Taiwan A25, Cuba 116 e Porto Rico com valores variando de 25,88 a 18,94 perfilhos m linear⁻¹.

No entanto, não significa que genótipos que produzem um alto número de perfilhos resultará em alta produtividade de matéria seca para produção de energia via combustão direta. Esta variável tem maior utilidade para predizer o potencial de produção de matéria seca, sendo positivamente correlacionada com a variável (Daher et al., 2004). Conforme Rossi et al. (2014), existe dois pares canônicos com vertentes distintas no capim-elefante, ou seja, quando a planta perfilha mais, ela se torna mais baixa e com diâmetro menor. Isso acarreta em plantas com baixos teores de fibras e elevados teores de nitrogênio culminando para um baixo poder calorífico. Outra vertente observa-se que, quando a planta perfilha menos, seus colmos são mais robustos e as plantas são mais altas, com elevados teores de fibra, baixos teores de nitrogênio e conseqüentemente alto poder calorífico.

4.1.5. Produtividade de matéria seca

Comparando a produtividade de matéria seca (PMS) no 1º ano de cultivo entre as duas épocas (Tabela 4), observou-se menores PMS para os genótipos Cuba 116, Porto Rico e Cubano Pinda na época seca. Isto pode ser um problema e indicam que estes genótipos têm baixa estabilidade genotípica no decorrer das duas épocas. Ademais, podem interferir no planejamento das atividades de uma empresa

produtora de lenha ecológica que terá uma quebra na produção dentro do período seco.

Tabela 4: Produtividade de matéria seca anual (PMSA) e por época (PMS), porcentagens de colmo (PC) em genótipos de capim-elefante aos 6 meses de idade, no período de seca e águas do 1º ano de cultivo (2016-2017).

Genótipo	PMSA t ha ⁻¹ ano ⁻¹	PMS (t ha ⁻¹)		PC (%)	
		Seca	Águas	Seca	Águas
CNPGL 93-41-1	39,52 b	16,71 aA	22,81 bA	60,61 aA	68,48 aA
CNPGL 91-25-1	57,41 a	25,98 aA	31,43 aA	64,98 aA	69,06 aA
Taiwan A25	41,18 b	16,87 aA	24,30 bA	63,90 aA	66,30 aA
Cuba 116	47,30 b	15,57 aB	31,72 aA	70,56 aA	66,70 aA
Mercker	58,27 a	25,79 aA	32,48 aA	66,25 aA	65,00 aA
Cameroon	47,87 b	22,19 aA	25,68 bA	66,48 aA	62,63 aA
Piracicaba 241	40,20 b	16,91 aA	23,28 bA	72,62 aA	66,13 aA
Vruckwona	46,30 b	19,48 aA	26,82 bA	69,92 aA	65,50 aA
Napier	46,14 b	24,50 aA	21,64 bA	71,60 aA	70,80 aA
Porto Rico	58,76 a	22,50 aB	34,26 aA	70,17 aA	63,20 aA
Guaçu	43,88 b	17,89 aA	25,98 bA	75,07 aA	69,70 aA
Cubano Pinda	52,15 a	18,82 aB	33,32 aA	72,48 aA	70,26 aA
BRS Canará	59,58 a	24,79 aA	34,78 aA	75,39 aA	70,80 aA
CV (a) (%)	26,89	30,61		9,15	
CV (b) (%)	16,33	24,58		11,62	

Letras minúsculas iguais na vertical e maiúsculas na horizontal não diferem entre si pelo teste Scott Knott a 5%

Dentro da época seca, não houve diferença entre os genótipos e a PMS média foi de 20,38 t MS ha⁻¹. De outra forma, dentro da época das águas, os genótipos que obtiveram maior PMS ($P < 0,05$) foram CNPGL 91-25-1, Cuba 116, Mercker, Porto Rico, Cubano Pinda e BRS Canará. Percebe-se que apenas no corte das águas, estes genótipos apresentaram produtividade acima de 30 t MS ha⁻¹ corte⁻¹, ou seja, valores acima da produtividade obtida pelo eucalipto (20 t MS ha⁻¹ ano⁻¹).

Com relação a produtividade de matéria seca anual (PMSA) no 1º ano de cultivo (Tabela 4), notam-se genótipos muito promissores com produtividade acima 50 t MS ha⁻¹ano⁻¹. Os genótipos BRS Canará, Porto Rico, Mercker, CNPGL 91-25-1 e Cubano Pinda foram os que mais se destacaram com PMSA variando de 52,15 a 59,58 t MS ha⁻¹ ano⁻¹. Com relação ao genótipo BRS Canará, este foi lançado em 2012 pela Embrapa para ser utilizado na forma de capineira, com o corte e fornecimento na forma de forragem para os animais, porém percebe-se a dupla aptidão deste genótipo podendo também ser utilizado para produção de bioenergia.

A produtividade dos genótipos demonstra os motivos pelos quais o capim elefante destaca-se dentre cultura energéticas (Ra et al., 2012), e com total possibilidade de inserção na matriz energética brasileira consolidada pelo uso de cana de açúcar e eucalipto, principalmente pela quantia de biomassa produzida e o ciclo de produção (Fontoura et al., 2015). Marafon et al. (2014), avaliando cultivares

de capim-elefante na região Nordeste do Brasil, observaram que BRS Canará e Cubano de Pinda obtiveram PMSA variando de 66,3 até 84,3 t MS ha⁻¹ ano⁻¹ aos 6 meses de cultivo.

No 2º ano de cultivo (Tabela 5), não houve diferença ($P>0,05$) para épocas e genótipos dentro de cada época, sendo observado PMS médio de 14,94 t MS ha⁻¹ e PMSA médio de 29,94 t MS ha⁻¹ ano⁻¹, ou seja, ocorreu uma redução de 39,17% e 39,05% na PMS e PMSA, respectivamente. Ainda assim, verificou-se que todos os genótipos apresentaram produtividade de matéria seca superior à obtida pelo eucalipto (20 t MS ha⁻¹ ano⁻¹).

Tabela 5: Produtividade de matéria seca anual (PMSA) e por época (PMS), porcentagens de colmo (PC) em genótipos de capim-elefante para fins energéticos, aos 6 meses de idade, no período de seca e águas do 2º ano de cultivo (2017-2018).

Genótipo	PMSA t ha ⁻¹ ano ⁻¹	PMS (t ha ⁻¹)		PC (%)	
		Seca	Águas	Seca	Águas
CNPGL 93-41-1	28,28 a	13,08 aA	15,19 aA	56,97 aA	69,39 aA
CNPGL 91-25-1	29,04 a	14,39 aA	14,65 aA	63,89 aA	74,09 aA
Taiwan A25	22,90 a	12,26 aA	10,64 aA	73,52 aA	68,72 aA
Cuba 116	29,48 a	13,33 aA	16,15 aA	69,46 aA	77,10 aA
Mercker	37,18 a	16,86 aA	20,31 aA	58,29 aA	73,75 aA
Cameroon	31,85 a	18,38 aA	13,47 aA	70,53 aA	77,08 aA
Piracicaba 241	27,99 a	14,37 aA	13,62 aA	66,96 aA	64,01 aA
Vruckwona	32,38 a	16,00 aA	16,38 aA	69,60 aA	68,08 aA
Napier	26,79 a	14,63 aA	12,15 aA	60,96 aA	46,17 aA
Porto Rico	28,71 a	11,97 aA	16,73 aA	67,49 aA	54,39 aA
Guaçu	28,71 a	13,13 aA	15,58 aA	74,79 aA	63,48 aA
Cubano Pinda	28,75 a	12,27 aA	16,48 aA	73,45 aA	73,61 aA
BRS Canará	37,18 a	16,79 aA	19,69 aA	67,13 aA	67,56 aA
CV (a) (%)	26,89	30,21		13,72	
CV (b) (%)	16,33	28,50		15,16	

Letras minúsculas iguais na vertical e maiúsculas na horizontal não diferem entre si pelo teste Scott Knott a 5%

A redução na produtividade de matéria seca por época e anual obtida no 2º ano de cultivo foi devido redução fertilidade do solo e não reposição nutrientes via adubação pois após o último corte nota-se a redução nos teores de nutrientes P, K e MO (Tabela 1). Ocorrência semelhante foi verificada por Rueda et al. (2016), pois a PMS média de oito genótipos de capim-elefante foi 17,5 t MS ha⁻¹ ano⁻¹ (2012 e 2013), mas diminuiu 6,4 t MS ha⁻¹ (2013 e 2014), o que era esperado devido redução da fertilidade natural do solo.

O capim-elefante naturalmente é um gramínea de alto potencial produtivo, seja para alimentação animal ou para finalidade energética, todavia a cultura apresenta elevada extração de nutrientes do solo, tais como N, K, Ca e S, (Santos et al., 2012). Carvalho et al. (1997), avaliando a remoção de nutrientes em capineira de capim-elefante, observaram que a produtividade de 30 t MS ha⁻¹ ano⁻¹ extraem o

equivalente 480 kg N ha⁻¹ano⁻¹, 361 kg K₂O ha⁻¹ano⁻¹ e 117 kg P₂O₅ ha⁻¹ano⁻¹. Quesada (2005), avaliando genótipos de capim-elefante para produção de energia na forma de biomassa, verificou que os nutrientes mais extraídos do solo foram potássio (310 kg ha⁻¹), Cálcio (167 kg ha⁻¹), Nitrogênio (121 kg ha⁻¹), Magnésio (79 kg ha⁻¹), e Fósforo (41,4 kg ha⁻¹), os quais são essenciais para melhor aproveitar o potencial produtivo da cultura.

Deste modo, a exploração econômica do capim-elefante para produção de bioenergia via combustão direta especial atenção deve ser dada a reposição de nutrientes, de modo a manter ou até mesmo aumentar a produtividade de matéria seca obtida no 1º ano, nos anos seguintes que se deseja produzir.

4.1.6. Porcentagem de colmo

Para PC não houve diferença significativa ($P > 0,05$) entre as épocas e genótipos, independente dos anos de cultivo, e a média obtida foi de 68,21 % e 67,21 % para o 1º e 2º ano de cultivo, respectivamente (Tabelas 2 e 3). Oliveira et al. (2015), estudando caracteres agrônômicos e a biomassa de capim-elefante a partir de doses de nitrogênio, também não encontraram diferenças ($P > 0,05$) entre os genótipos e as doses estudadas, sendo que a PC variou de 60 a 70%.

O alto percentual de colmo no capim elefante resulta em maior relação colmo/folha, e esta reflete diretamente na qualidade de biomassa. Mohamed et al. (2015), ao realizarem a caracterização das diferentes partes do capim-elefante para a produção de biocombustíveis, constataram diferença entre a fração colmo e lâmina foliar, sendo respectivamente: cinzas 1,75 e 4,00 %; poder calorífico 18,11 e 16,21 MJ kg⁻¹; nitrogênio 0,99 e 1,01 %; enxofre 1,47 e 1,75 %. O colmo do capim-elefante estrutura-se em uma parte fibrosa, mais dura, que forma a casca e medula com feixes vasculares também ricos em fibras. Sua estrutura morfológica é semelhante ao bagaço de cana-de-açúcar (Quesada et al., 2004), que já é largamente utilizada como fonte de energia na forma de combustão na indústria sucroalcooleira.

4.2. Composição bromatológica

4.2.1. Teor de matéria seca

Para o teor de matéria seca (MS), observou-se diferença estatística ($P > 0,05$) entre as épocas e genótipos estudados. No 1º ano de cultivo, ao comparar as

épocas, a época seca proporcionou maior MS nos genótipos CNPGL 91-25-1, Mercker, Porto Rico, Guaçu, Cubano Pinda e BRS Canará (Tabela 6). Essa diferença era esperada, pois o maior teor de umidade contida no vegetal (época das águas) causa efeito de diluição reduzindo a % de MS, de outra forma na época seca como a menor teor de umidade no vegetal faz com que o percentual de MS aumente.

Tabela 6: Teores de matéria seca (MS), fibra em detergente ácido (FDA), fibra em detergente neutro (FDN) e hemicelulose (HEM) em genótipos de capim-elefante aos 6 meses de idade no período de seca e águas do 1º ano de cultivo (2016-2017).

Genótipo	MS (%)		FDA (%)		FDN (%)		HEM (%)	
	Seca	Águas	Seca	Águas	Seca	Águas	Seca	Águas
CNPGL 93-41-1	37,90bA	35,27bA	55,85aA	49,55aB	77,03aA	79,69aA	21,33aB	30,00aA
CNPGL 91-25-1	39,36bA	32,13bB	52,11aA	52,57aA	77,07aA	78,52aA	24,67aA	26,00aA
Taiwan A 25	40,16bA	40,53aA	50,59aA	51,93aA	75,06aA	76,75aA	24,67aA	25,00aA
Cuba 116	39,96bA	42,76aA	53,43aA	51,15aA	76,47aB	81,24aA	23,00aA	30,00aA
Mercker	45,23aA	37,36bB	51,97aA	49,80aA	75,89aA	75,88aA	24,00aA	26,00aA
Cameroon	37,22bA	36,27bA	52,46aA	51,42aA	75,27aA	78,05aA	22,67aA	26,33aA
Piracicaba 241	37,11bA	34,93bA	52,65aA	51,35aA	73,45aA	75,90aA	20,67aA	24,67aA
Vruckwona	35,58bA	36,67bA	49,45aA	54,10aA	72,32aA	76,53aA	23,00aA	22,33aA
Napier	36,08bA	34,66bA	52,54aA	52,43aA	79,64aA	76,21aA	27,00aA	24,00aA
Porto Rico	45,21aA	36,27bB	50,16aA	52,89aA	74,85aA	77,21aA	24,67aA	24,33aA
Guaçu	41,01bA	33,07bB	53,97aA	51,26aA	79,45aA	75,27aA	25,67aA	24,33aA
Cubano Pinda	40,50bA	33,27bB	53,58aA	52,02aA	76,35aA	79,21aA	22,67aA	27,33aA
BRS Canará	43,69aA	36,80bB	49,64aA	53,55aA	77,18aA	76,57aA	27,67aA	23,00aA
CV (a) (%)	6,11		5,20		4,42		18,45	
CV (b) (%)	7,61		6,77		3,55		17,23	

Letras minúsculas iguais na vertical e maiúsculas na horizontal não diferem entre si pelo teste Scott Knott a 5%

Rossi (2010), ao avaliar as características morfoagronômicas e de qualidade de biomassa de 52 genótipos de capim-elefante no final da época das chuvas aos 10 meses de idade verificou teores de MS médio de 37,16 %, com amplitude de 29,42 % a 68,24 % entre os genótipos. Isso indica a importância do estudo desta variável na seleção de genótipos de capim-elefante para produção de bioenergia que pode ser influenciada não somente pela variação fenotípica, mas também genotípica. O baixo teor de matéria seca presente na biomassa pode interferir nas propriedades bromatológicas e químicas da biomassa, principalmente poder calorífico inferior (PCI) que está intimamente ligado, pois este decresce com a redução da MS (Calegari et al., 2005).

No 1º ano de cultivo para época de seca, os genótipos Mercker, Porto Rico e BRS Canará tiveram maior MS ($P > 0,05$) com 45,23; 45,21 e 43,69 %, respectivamente. De outra forma, na época das águas, os genótipos Taiwan A 25 e Cuba 116 obtiveram maior MS ($P > 0,05$) com teores de 40,53 % e 42,76 %, respectivamente. Quando a biomassa apresenta um alto teor de umidade o mesmo faz com que o processo de combustão seja mais baixo, isto comparado quando utilizado material mais seco. Assim, quanto maior umidade presente na biomassa, mais energia é necessária para iniciar o processo de queima, ou seja, mais energia é requerida para vaporizar a água e menos energia então é fornecida para a reação endotérmica (a queima).

No 2º ano de cultivo (Tabela 7), ao comparar as duas épocas, semelhante ao 1º cultivo, todos os genótipos tiveram maior MS na época seca, com exceção de Cuba 116 que não apresentou diferença. De outra forma, dentro da época seca, os genótipos que se destacaram foram Taiwan A25, Piracicaba 241, Guaçu, Porto Rico e Cubano Pinda com valores 54,34 a 47,51 %. Ademais, dentro da época das águas, também não houve diferença entre os genótipos, obtendo média de 39,24 %.

Tabela 7: Teores de matéria seca (MS), fibra em detergente ácido (FDA), fibra em detergente neutro (FDN) e hemicelulose (HEM) em genótipos de capim-elefante para fins energéticos, aos 6 meses de idade no período de seca e águas do 2º ano de cultivo (2017-2018).

Genótipo	MS (%)		FDA (%)		FDN (%)		HEM (%)	
	Seca	Águas	Seca	Águas	Seca	Águas	Seca	Águas
CNPGL 93-41-1	41,30bA	29,43aB	46,68aA	41,39aB	75,00aA	75,55aA	28,33aA	34,00aA
CNPGL 91-25-1	44,44bA	26,66aB	44,40aA	40,86aA	71,38aA	71,93aA	27,00aA	31,33aA
Taiwan A25	54,34aA	37,10aB	47,11aA	38,65aB	74,27aA	74,56aA	27,00aB	36,00aA
Cuba 116	40,51bA	35,64aA	45,76aA	40,50aB	74,35aA	75,97aA	28,67aA	35,67aA
Mercker	45,76bA	33,31aB	46,55aA	39,42aB	71,50aA	74,35aA	25,00aB	35,00aA
Cameroon	43,42bA	31,34aB	44,49aA	39,93aB	73,22aA	75,87aA	29,00aA	35,67aA
Piracicaba 241	49,21aA	28,71aB	45,26aA	40,37aB	71,33aA	75,58aA	26,00aB	35,33aA
Vruckwona	42,84bA	33,37aB	44,12aA	40,67aA	70,01aB	75,71aA	25,67aB	35,00aA
Napier	46,35bA	31,33aB	42,40aA	40,09aA	74,83aA	72,11aA	32,67aA	32,00aA
Porto Rico	50,42aA	31,83aB	44,03aA	40,07aA	69,01aB	75,12aA	25,00aB	35,00aA
Guaçu	51,50aA	33,68aB	44,87aA	39,91aB	74,02aA	76,36aA	29,00aB	36,33aA
Cubano Pinda	47,51aA	29,63aB	47,79aA	39,19aB	73,83aA	76,61aA	26,00aB	37,67aA
BRS Canará	44,42bA	36,13aB	46,28aA	38,33aB	74,13aA	72,93aA	27,67aA	34,67aA
CV (a) (%)	8,45		4,97		4,46		13,54	
CV (b) (%)	9,71		6,04		4,33		13,73	

Letras minúsculas iguais na vertical e maiúsculas na horizontal não diferem entre si pelo teste Scott Knott a 5%.

A presença de umidade dificulta a queima, pois o poder calorífico é reduzido, aumentando o consumo do combustível. Brand (2008) afirma ainda que a presença de um alto valor de umidade gera poluição ambiental devido ao aumento do volume de produtos de combustão e de material particulado, sem contar que o processo de corrosão é acelerado na parte final do gerador de vapor e acúmulo de sujeira nas superfícies de aquecimento.

Com o avanço na maturidade do capim-elefante ocorreu decréscimo no conteúdo celular e aumento dos constituintes da parede celular o qual reflete diretamente no teor de MS e fibra, característica inerente ao genótipo, ocorrendo normalmente e de maneira desejável para produção de biomassa energética.

Tratando-se de processo de conversão da biomassa em combustível, especificamente na gaseificação, Hoffman (2010) observou que um alto teor de umidade não gera dificuldades técnicas na gaseificação, porém uma menor eficiência do processo, pois a energia necessária para evaporar a água e manter a temperatura de operação é obtido via alimentação de mais combustível e oxidante.

Uma maneira de elevar os teores de matéria seca da biomassa de capim-elefante é realizar a pré-secagem a pleno sol sob lonas ou em terreno cimentado, semelhante ao que foi executado por Ferreira et al. (2018) para produção de feno picado de capim-elefante.

4.2.2. Teor de fibra em detergente ácido

O teor de FDA é um importante componente a ser avaliado, e está diretamente ligado ao poder calorífico da biomassa. Os constituintes da parede celular variam de acordo com as diferentes cultivares e sua proporção depende do genótipo, além disso, na literatura é relatado aumento do teor de MS e das frações fibrosas decorrente avanço da idade do capim-elefante (Rocha et al., 2017b; Ferreira et al., 2018), sendo aceitável valores de FDA acima de 40 % (Mckendry et al., 2002).

Comparando as duas épocas (seca e águas), no 1º ano de cultivo (Tabela 7), não houve diferença entre os genótipos ($P > 0,05$), exceto para CNPGL 93-41-1 que obteve maior teor FDA na época da seca (55,85 %). Dentro das épocas, não houve diferenças entre os genótipos, apresentando teor médio de 52,02 %.

No 2º ano de cultivo (Tabela 8), houve redução teor médio de FDA em relação ao 1º ano (42,66 %). Ao comparar as duas épocas, todos os genótipos obtiveram

maior teor de FDA na época da seca, o que é desejável para biomassa destinada a combustão, com exceção dos genótipos Napier, Vrucwona e Porto Rico ($P > 0,05$).

Os teores obtidos foram próximos dos encontrados por Quesada et al. (2004), que assim como neste estudo, não verificaram diferença significativa ($P > 0,05$) entre os genótipos. Estes autores encontraram média de 44,07 % de FDA nas folhas e 53,44 % de FDA no colmo de genótipos de capim-elefante aos seis meses de idade e afirmam que a partir desta idade as plantas de capim-elefante nunca apresentarão teores de FDA inferiores a 50 %.

4.2.3. Teor de fibra em detergente neutro

O aumento no teor de FDN representa as frações de maior interesse na pirólise, os quais se atribuem pelo espessamento da parede celular, além da maior participação de colmos devido ao longo intervalo de corte (180 dias). A FDN apresenta relevância na produção de energia pelo efeito direto no poder calorífico (Marafon et al., 2014), resultando em menor geração de cinzas (Morais, 2008).

No 1º ano de cultivo, não houve diferença entre os genótipos dentro de cada época ($P > 0,05$), e comparando as épocas, apenas Cuba 116 apresentou maior teor de FDN ($P > 0,05$) na época das águas (81,24 %) (Tabela 6). No 2º ano de cultivo, na comparando as épocas, os genótipos Vrucwona e Porto Rico obtiveram maior FDN ($P > 0,05$) nas águas, com 75,71 e 75,12 %, respectivamente (Tabela 7).

Para produção de biomassa destinada ao uso energético, quanto maior o teor de FDN, melhor será a qualidade da biomassa. Freitas et al. (2018) e Vidal et al. (2018) constataram aumento da FDN de acordo que a idade do capim-elefante pois durante os ciclos de 12, 16 e 24 semanas, o teor de FDN obtido foram, respectivamente, 70,03; 78,65 e 79,41 %, condizentes com idade de 180 dias utilizado no presente experimento.

4.2.4. Teor de hemicelulose

No 1º ano de cultivo, comparando as duas épocas (seca e águas), a maioria dos genótipos apresentou o mesmo teor de HEM ($P > 0,05$), com exceção do genótipo CNPGL 93-41-1 que obteve menor teor de HEM no período seco (21,33 %). Ao avaliar o comportamento dos genótipos dentro das épocas, não houve diferença no teor de HEM e a média foi 24,81 % (Tabela 6).

Rocha et al. (2017b), estudando o capim elefante para combustão direta, não observaram diferenças ($P > 0,05$) no teor de HEM entre 62 genótipos dos grupos Napier e Cameroon, os quais obtiveram teor médio de 27,0 %, teor muito próximo ao encontrado no presente trabalho.

No 2º ano de cultivo (Tabela 7), comparando as duas épocas (seca e águas), os genótipos Taiwan A 25, Mercker, Piracicaba 241, Vruckwona, Porto Rico, Guaçu, Cubano Pinda obtiveram menor teor de HEM ($P > 0,05$) no período da seca.

Rueda et al. (2016), analisando o teor de HEM da fração colmo de 8 genótipos de capim elefante aos 180 dias de idade, constataram variação de 33,8 a 38,4 %. Os autores compreenderam que a variação no teor de hemicelulose e de outros compostos químicos que compõem a biomassa são dependentes das condições do ambiente no qual foram produzidos, como a época de seca e águas deste estudo, além da temperatura, condição do solo e ciclo da cultura.

Para combustão direta, a HEM tem menor relevância quando comparada com as demais frações fibrosas da biomassa de capim-elefante, devido a baixa estabilidade térmica e a menor energia de ativação (Chen et al., 2015b). Essa fração tem importância junto a celulose na produção do álcool de 2ª Geração (Santos et al., 2018), além co-produtos produzidos via biorefinaria (Fontoura et al., 2015).

O capim-elefante sofre alterações em sua produtividade, composição morfológica e química à medida que sua idade é aumentada. De modo geral, com o aumento do intervalo entre o cortes o teor de HEM da biomassa decresce, enquanto os de fibra, lignina e celulose, bem como a produtividade aumentam. Portanto, intervalos maiores entre cortes devem ser adotados para uso na produção de energia e intervalos menores para uso na alimentação animal (Flores et al., 2012).

4.2.5. Teor de matérias voláteis e carbono fixo

O teor de MV expressa a facilidade de se queimar o material e o CFIX a celeridade de queima de um material. Logo, pelo conhecimento desses dois índices percentuais, pode-se estimar o grau de combustão de uma biomassa e o tempo de queima da mesma, maximizando assim o desenho do projeto de obtenção de energia a partir de biomassas vegetais.

O teor de MV é a parte da biomassa que evapora como um gás (incluindo umidade) por aquecimento, ou seja, é quantificado medindo-se a fração de biomassa que volatiliza durante o aquecimento de uma amostra padronizada e

previamente seca. Sendo assim, interfere na ignição, pois quanto maior o teor MV maior será a reatividade e conseqüentemente a ignição. Enfim, determina a facilidade com que uma biomassa queima.

Comparando as duas épocas (seca e águas), no 1º ano de cultivo (Tabela 8), os genótipos que apresentaram maiores MV ($P > 0,05$) foram CNPGL 93-41-1, CNPGL 91-25-1, Mercker, Piracicaba, Napier, Guaçu e BRS Canará. Dentro das épocas (seca e águas), não houve diferenças ($P > 0,05$) entre os genótipos e a média obtida foi de 93,04 %.

Tabela 8: Teores de materiais voláteis (MV) e carbono fixo (CFIX) de genótipos de capim-elefante, aos 6 meses de idade no período de seca e águas do 1º ano de cultivo (2016-2017).

Genótipo	MV (%)		CFIX (%)	
	Seca	Águas	Seca	Águas
CNPGL 93-41-1	94,06 aA	92,07 aB	0,13 aA	0,11 aA
CNPGL 91-25-1	94,00 aA	91,20 aB	0,12 aA	0,12 aA
Taiwan A25	92,98 aA	92,17 aA	0,16 aA	0,07 aA
Cuba 116	93,31 aA	92,23 aA	0,17 aA	0,10 aA
Mercker	94,33 aA	92,29 aB	0,14 aA	0,10 aA
Cameroon	93,25 aA	92,08 aA	0,12 aA	0,10 aA
Piracicaba 241	93,82 aA	94,41 aB	0,10 aA	0,08 aA
Vruckwona	93,11 aA	92,33 aA	0,20 aA	0,09 aA
Napier	94,44 aA	92,53 aB	0,07 aA	0,11 aA
Porto Rico	94,04 aA	93,21 aA	0,08 aA	0,09 aA
Guaçu	94,34 aA	91,77 aB	0,08 aA	0,09 aA
Cubano Pinda	93,29 aA	92,69 aA	0,13 aA	0,07 aA
BRS Canará	94,64 aA	92,40 aB	0,09 aA	0,07 aA
Média		93,04		0,11
CV (a) (%)		1,01		58,24
CV (b) (%)		0,85		58,92

Letras minúsculas iguais na vertical e maiúsculas na horizontal não diferem entre si pelo teste Scott Knott a 5%

Comparando as duas épocas (seca e águas), no 2º ano de cultivo (Tabela 9), todos os genótipos apresentaram maior teor de MV ($P > 0,05$) na época da seca. Isoladamente, dentro de cada época, não houve diferença entre os genótipos ($P > 0,05$) e a média de MV foi 90,79 %. Mohammed et al. (2015) encontraram para as frações de colmo, folha e planta inteira de capim-elefante, os valores de MV de 81,51; 79,06 e 85,17 %, respectivamente. Tavares e Santos (2013), avaliando as biomassas de capim-elefante e capim-vertiver para a produção de briquetes, encontraram média de MV de 89,90 e 90,59%, respectivamente. Segundo os mesmos autores, quando a biomassa apresenta maior teor de MV e menor teor de cinzas, possuirá maior poder calorífico.

De maneria geral, o capim-elefante demonstra potencial energético pela presença de altos teores de MV (média de 91,91 %) que representa maior facilidade de queimar da biomassa, sendo beneficiado pela idade de cultivo para produção de

Tabela 9: Teores de materiais voláteis (MV) e carbono fixo (CFIX) de genótipos de capim-elefante, aos 6 meses de idade no período de seca e águas do 2º ano de cultivo (2017-2018).

Genótipo	MV (%)		CFIX (%)	
	Seca	Águas	Seca	Águas
CNPGL 93-41-1	94,70 aA	87,06 aB	0,08 aA	0,18 bA
CNPGL 91-25-1	92,53 aA	86,20 aB	0,16 aA	0,17 bA
Taiwan A25	93,50 aA	89,33 aB	0,10 aA	0,14 bA
Cuba 116	93,40 aA	87,22 aB	0,15 aA	0,10 bA
Mercker	94,35 aA	89,71 aB	0,15 aA	0,16 bA
Cameroon	92,90 aA	84,80 aB	0,12 aA	0,22 bA
Piracicaba	93,56 aA	88,94 aB	0,14 aB	0,33 aA
Vruckwona	93,62 aA	88,47 aB	0,14 aA	0,13 bA
Napier	94,52 aA	88,26 aB	0,12 aA	0,18 bA
Porto Rico	93,73 aA	88,99 aB	0,10 aA	0,15 bA
Guaçu	92,90 aA	88,29 aB	0,09 aB	0,19 bA
Cubano Pinda	92,19 aA	88,07 aB	0,13 aA	0,17 bA
BRS Canará	94,00 aA	89,23 aB	0,20 aA	0,28 bA
CV (a) (%)		2,00		38,20
CV (b) (%)		2,21		37,31

Letras minúsculas iguais na vertical e maiúsculas na horizontal não diferem entre si pelo teste Scott Knott a 5%

energia. Salles (2014), estudando as propriedades energéticas do capim elefante, verificaram teores de MV de 64,8 e 68,3% nas idades de corte de 60 e 120 dias, respectivamente. Estes valores de MV foram inferiores aos obtidos no referido trabalho, em função do capim-elefante ser cortado mais novo (60 e 120 dias), o que para queima não é interessante devido o maior teor de umidade e cinzas na composição da biomassa.

Para teor de CFIX, não houve diferença significativa ($P > 0,05$) dos genótipos entre as épocas ou dentro das épocas no 1º ano de cultivo, e a média obtida foi 0,11 % (Tabela 8). No 2º ano de cultivo, comparando as duas épocas, a maioria dos genótipos não apresentaram diferenças ($P > 0,05$), exceto Piracicaba e Guaçu que obtiveram maiores teores de CFIX na época das águas (Tabela 9). De outra forma, dentro da época das águas, o genótipo Piracicaba 241 obteve maior teor de CFIX ($P > 0,05$) dentre os genótipos com valor de 0,33 %. Vieira (2012), avaliando biomassa proveniente de diferentes resíduos agrícolas, encontraram teores de CFIX de 2,39; 0,47 e 1,11 % para casca de arroz, bagaço de cana e sabugo de milho, respectivamente. Tavares e Santos (2013) verificaram média de teores de CFIX no capim-elefante e capim vetiver os valores respectivos de de 0,70 e 0,71 %. Mohamed et al. (2015) obtiveram o teor de CFIX de 16,74; 16,94 e 8,49 % para as frações colmo, e planta inteira folha do capim-elefante, respectivamente.

O teor de CFIX estabelece a quantidade de calor gerado na pirólise, sendo que quanto maior este percentual mais lentamente o combustível irá queimar (Sturion et

al., 1988). O teor de CFIX obtido nos genótipos de capim-elefante deste trabalho indica que a biomassa tende a queimar mais rapidamente, e os fatores que acentuam esta reação são a baixa densidade do capim-elefante *in natura* e teor de comburente (oxigênio) na atmosfera de trabalho. Altos teores de oxigênio na sua estrutura morfológica e/ou baixa densidade, são indesejáveis na produção de energia térmica devido às correlações existentes seus componentes elementares (carbono, hidrogênio, oxigênio) e o poder calorífico (Protásio et al., 2015).

Uma forma de sanar este problema e conseguir melhor aproveitamento da biomassa é a técnica de briquetagem e a peletização do capim-elefante que tem sido muito usada industrialmente, porque promove o aumento da densidade energética ou seja, maior quantidade de energia liberada por unidade de volume durante a combustão da biomassa (Magalhães et al., 2016). De modo semelhante, com adensamento da biomassa de capim-elefante converterá um combustível com maior poder calorífico, menor teor de MV, maior teor de CFIX, uniformidade em forma e tamanho, menor relação oxigênio:carbono e alto teor de MS. Garcia et al. (2018), ao compararem propriedades bioenergéticas de pellets de capim-elefante, encontraram teores de CFIX e MV de 14,61 e 74,88 %, respectivamente.

Ademais, os tratamentos térmicos (torrefação e a carbonização) aprimoram ainda mais qualidade e comercialização da biomassa uma vez que além do aumento da densidade energética, diminui o teor de umidade, contribuindo na qualidade de queima (Chen et al., 2015a; Manouchehrinejad et al., 2018).

4.3. Composição mineral

No 1º ano de cultivo, não houve diferenças significativa ($P > 0,05$) dos genótipos entre as épocas ou dentro das épocas, sendo que a média do teor de matéria mineral (MM) de 3,99 % (Tabela 10). No 2º ano de cultivo, os resultados foram semelhantes, com exceção do genótipo Cameroon que apresentou maior MM ($P > 0,05$) nas águas (4,47%). Dentro de época não houve diferenças ($P > 0,05$) entre o genótipos, semelhante aos resultados obtidos por Oliveira et al. (2015) e Marafon et al. (2016) que também não verificaram diferenças entre os genótipos, obtendo média de MM de 4,19 % e 4,79 %, respectivamente.

Além do teor de umidade quando não em nível adequado na biomassa, a mesma inevitavelmente carrega energia térmica junto a vapor de água, durante o processo de combustão, quanto maior a geração de substâncias inorgânicas após a

Tabela 10: Teor de matéria mineral (MM) de genótipos de capim-elefante, aos 6 meses de idade no período de seca e águas, do 1º (2016-2017) e 2º ano de cultivo (2017-2018).

Genótipo	MM (%)			
	1º Ano		2º Ano	
	Seca	Águas	Seca	Águas
CNPGL 93-41-1	3,32 aA	3,99 aA	4,24 aA	4,61 aA
CNPGL 91-25-1	4,04 aA	3,96 aA	4,25 aA	3,97 aA
Taiwan A25	4,17 aA	3,69 aA	4,04 aA	3,63 aA
Cuba 116	4,34 aA	3,83 aA	3,55 aA	3,98 aA
Mercker	4,18 aA	4,07 aA	4,20 aA	3,62 aA
Cameroon	3,98 aA	4,17 aA	3,60 aB	4,47 aA
Piracicaba 241	4,16 aA	4,08 aA	3,97 aA	3,70 aA
Vruckwona	4,10 aA	3,83 aA	3,63 aA	4,21 aA
Napier	4,09 aA	4,31 aA	3,67 aA	3,96 aA
Porto Rico	3,97 aA	3,95 aA	3,19 aA	3,83 aA
Guaçu	4,06 aA	3,83 aA	3,74 aA	4,52 aA
Cubano Pinda	4,30 aA	3,60 aA	4,35 aA	4,64 aA
BRS Canará	3,88 aA	3,91 aA	3,76 aA	4,00 aA
CV (a) (%)		8,58		11,60
CV (b) (%)		12,63		11,86

Letras minúsculas iguais na vertical e maiúsculas na horizontal não diferem entre si pelo teste Scott Knott a 5%

queima significa que os comburentes responsáveis pelo poder calorífico ótimo estão em menor percentual na composição da biomassa. MM maiores que 5,00 % são indesejáveis na queima da biomassa, haja vista que o poder calorífico dos combustíveis é inversamente proporcional ao teor de cinzas e diretamente proporcional ao de carbono constituinte da lignina (Llorente e Garcia; 2008).

O desafio na utilização de biomassa de gramíneas são os resíduos gerados durante a combustão, além da presença de metais alcalinos em maior proporção, característica indesejável, devido a redução da vida útil dos equipamentos por corrosão e entupimento de tubulações (Oberberger et al., 2006). Além disso, nas indústrias siderúrgicas, a quantidade de resíduos gerados pós queima da biomassa com maior teor de minerais, pode provocar o acúmulo de impurezas no centro das peças do metal solidificado, causando variações nas características do ferro-gusa, aço ou ferro-liga (Assis et al., 2012; Neves et al., 2011).

Na comparação entre as épocas no 1º ano de cultivo (Tabela 11), os genótipos CNPGL 91-25-1, Mercker, Guaçu e Cubano Pinda apresentaram menor concentração de fósforo (P) na seca. Dentro da época seca, não houve diferença ($P > 0,05$) entre os genótipos. Dentro da época das águas, a maioria dos genótipos teve menor concentração de P ($P > 0,05$), exceto CNPGL 91-25-1 e Cubano Pinda que obtiveram teores de 27,29 e 28,30 g kg⁻¹, respectivamente. No 2º ano de cultivo (Tabela 12), não houve diferença estatística ($P > 0,05$) dos genótipos com relação a concentração de P entre as épocas. Quando comparado dentro das épocas, apenas

Tabela 11: Composição mineral de genótipos de capim-elefante aos 6 meses de idade no período de seca e águas do 1º ano de cultivo (2016-2017).

Genótipo	P (g kg ⁻¹)		K (g kg ⁻¹)		Ca (g kg ⁻¹)		Mg (g kg ⁻¹)		S (g kg ⁻¹)		N (g kg ⁻¹)	
	Seca	Águas	Seca	Águas	Seca	Águas	Seca	Águas	Seca	Águas	Seca	Águas
CNPGL 93-41-1	0,63 aA	1,02 bA	12,49 bA	17,38 aA	2,13 aB	3,05 aA	1,15 aA	1,24 aA	0,49 aA	0,41 aA	4,71 aA	4,89 aA
CNPGL 91-25-1	0,39 aB	1,51 aA	17,21 bA	18,32 aA	2,09 aA	2,05 bA	1,25 aA	1,45 aA	0,41 aA	0,52 aA	5,94 aA	6,46 aA
Taiwan A25	0,71 aA	0,87 bA	27,29 aA	17,28 aB	1,90 aA	2,10 bA	1,22 aA	1,07 aA	0,54 aA	0,35 aB	7,84 aA	4,71 aB
Cuba 116	0,49 aA	0,60 bA	18,25 bA	15,82 aA	1,93 aA	1,48 bA	1,08 bA	1,15 aA	0,36 aA	0,34 aA	5,06 aA	4,90 aA
Mercker	0,41 aB	1,03 bA	16,85 bA	16,34 aA	2,08 aA	2,03 bA	1,30 aA	1,30 aA	0,40 aA	0,41 aA	5,06 aA	5,76 aA
Cameroon	0,59 aA	0,64 bA	28,30 aA	16,70 aB	1,81 aA	2,00 bA	1,37 aA	1,30 aA	0,48 aA	0,44 aA	7,16 aA	5,06 aA
Piracicaba 241	0,42 aA	0,76 bA	16,91 bA	17,77 aA	1,97 aA	2,27 bA	0,90 bB	1,34 aA	0,44 aA	0,45 aA	5,41 aA	4,54 aA
Vruckwona	0,50 aA	0,80 bA	19,87 bA	16,86 aA	1,44 aA	1,64 bA	0,91 bA	1,25 bA	0,64 aA	0,38 aB	4,54 aA	4,89 aA
Napier	0,47 aA	0,84 bA	16,65 bA	16,50 aA	1,30 aA	1,91 bA	1,27 aA	1,54 aA	0,48 aA	0,44 aA	4,54 aA	5,59 aA
Porto Rico	0,54 aA	0,75 bA	15,55 bA	16,41 aA	2,17 aA	1,64 bA	1,07 bA	0,81 bA	0,48 aA	0,33 aA	5,59 aA	5,06 aA
Guaçu	0,39 aB	0,92 bA	11,61 bB	19,09 aA	1,57 aA	1,69 bA	1,20 aA	1,28 aA	0,43 aA	0,42 aA	4,71 aB	8,03 aA
Cubano Pinda	0,63 aB	1,28 aA	17,31 bA	18,90 aA	1,77 aA	1,68 bA	1,16 aA	0,68 bB	0,46 aA	0,37 aA	6,11 aA	5,94 aA
BRS Canará	0,50 aA	0,75 bA	16,11 bA	14,92 aA	2,00 aA	2,07 bA	1,01 bB	1,36 aA	0,42 aA	0,40 aA	5,94 aA	5,94 aA
CV (a) (%)	39,48		27,45		22,85		23,40		20,87		27,04	
CV (b) (%)	39,69		24,47		21,05		13,86		25,06		29,02	

Letras minúsculas iguais na vertical e maiúsculas na horizontal não diferem entre si pelo teste Scott Knott a 5%

Tabela 12: Composição mineral de genótipos de capim-elefante aos 6 meses de idade no período de seca e águas do 2º ano de cultivo (2017-2018).

Genótipo	P (g kg ⁻¹)		K (g kg ⁻¹)		Ca (g kg ⁻¹)		Mg (g kg ⁻¹)		S (g kg ⁻¹)		N (g kg ⁻¹)	
	Seca	Águas	Seca	Águas	Seca	Águas	Seca	Águas	Seca	Águas	Seca	Águas
CNPGL 93-41-1	0,45 aA	0,99 aA	15,78 aA	18,29 aA	1,74 aA	2,11 aA	1,02 aA	1,12 aA	0,51 aA	0,45 aA	3,49 aA	4,36 aA
CNPGL 91-25-1	0,50 aA	1,02 aA	18,57 aA	19,36 aA	2,61 aA	2,28 aA	1,45 aA	1,05 aA	0,49 aA	0,49 aA	4,36 aA	3,30 aA
Taiwan A25	0,62 aA	0,70 aA	15,26 aA	18,16 aA	2,18 aA	2,05 aA	1,12 aA	1,05 aA	0,48 aA	0,52 aA	3,84 aA	3,66 aA
Cuba 116	0,51 aA	0,79 aA	17,69 aA	16,10 aA	1,56 aB	2,72 aA	0,82 aA	1,04 aA	0,38 aA	0,62 aA	4,89 aA	3,67 aA
Mercker	0,62 aA	0,49 aA	16,78 aA	17,58 aA	2,11 aA	2,24 aA	1,10 aA	1,07 aA	0,35 aA	0,54 aA	4,36 aA	3,84 aA
Cameroon	0,66 aA	0,61 aA	17,17 aA	18,03 aA	2,13 aA	2,22 aA	1,31 aA	1,33 aA	0,31 aB	0,39 aA	4,89 aA	4,71 aA
Piracicaba 241	0,61 aA	0,71 aA	15,91 aA	17,49 aA	2,10 aA	2,46 aA	1,24 aA	1,16 aA	0,38 aA	0,46 aA	4,54 aA	3,84 aA
Vruckwona	0,45 aB	1,07 aA	17,10 aA	18,52 aA	1,71 aA	1,81 aA	1,21 aA	1,25 aA	0,37 aA	0,63 aA	4,89 aA	4,19 aA
Napier	0,52 aA	0,51 aA	14,96 aA	16,49 aA	1,77 aA	2,25 aA	1,37 aA	1,35 aA	0,44 aA	0,50 aA	4,36 aA	4,54 aA
Porto Rico	0,79 aA	0,97 aA	16,72 aA	18,65 aA	2,04 aA	2,12 aA	1,08 aA	1,36 aA	0,36 aA	0,39 aA	4,89 aA	3,84 aA
Guaçu	0,59 aA	0,70 aA	16,68 aA	17,36 aA	1,59 aB	2,55 aA	1,20 aA	1,08 aA	0,43 aB	0,87 aA	4,19 aA	3,49 aA
Cubano Pinda	0,62 aA	0,56 aA	16,97 aA	19,36 aA	2,25 aA	1,93 aA	1,21 aA	1,24 aA	0,47 aA	0,39 aA	3,84 aA	4,71 aA
BRS Canará	0,50 aA	0,48 aA	17,10 aA	15,06 aA	2,63 aB	3,48 aA	1,31 aA	1,20 aA	0,43 aA	0,35 aA	4,88 aA	4,54 aA
CV (a) (%)	47,62		11,07		30,70		16,80		44,36		20,87	
CV (b) (%)	53,32		12,86		22,41		25,04		35,80		21,68	

Letras minúsculas iguais na vertical e maiúsculas na horizontal não diferem entre si pelo teste Scott Knott a 5%

o genótipo Vrukwona apresentou menor concentração ($P > 0,05$) na época da seca com o valor de $0,45 \text{ g kg}^{-1}$. Monti et al. (2008) observaram concentrações de P para as culturas energéticas *Arunda*, *Cynara* e *Miscanthus* de 0,32; 1,36 e $0,15 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente, os quais estão próximos às concentrações obtidas no presente trabalho. Quando o capim-elefante é cultivado para energia, é importante que as concentrações de P nos tecidos da planta sejam mínimos para garantir a melhor qualidade do carvão para uso na siderurgia (Boddey et al., 2004).

Para a concentração de potássio (K), comparando-se as duas épocas no 1º ano de cultivo (Tabela 11), os genótipos Taiwan A25 e Cameroon obtiveram menor ($P < 0,05$) concentração de K na época da seca, e Guaçu na época das águas. Dentro da época seca, a maioria dos genótipos teve redução na concentração de K ($P > 0,05$), exceto Taiwan A25 e Cameroon que apresentaram maiores concentrações, sendo, 27,29 e $28,30 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente. No 2º ano de cultivo, não houve diferença ($P > 0,05$) entre ou dentro das épocas, sendo a concentração média de K de 17 g kg^{-1} (Tabela 12).

Dentre os minerais avaliados, o K foi aquele com maior concentração na biomassa do capim-elefante, o que era esperado devido a elevada taxa de extração deste nutriente para as funções vitais da planta. Todavia, o K (metal alcalino) apresenta baixo ponto de fusão o que resulta em depósito na forma de pó ou de modo condensado sobre as superfícies trocadoras de calor (revestidas por protetor a base de óxido de ferro), causando intensa corrosão, que podem ser potencializada na presença de sulfatos e cloretos. Ademais, o K forma silicatos alcalinos, tendo ponto de fusão mais baixo, e contribuem para o aumento no depósito potencial de escórias (Obernberger et al., 2006).

Para concentração de cálcio (Ca), comparando as duas épocas no 1º ano de cultivo, apenas o genótipo CNPGL 93-41-1 apresentou menor concentração ($P < 0,05$) na época seca com valor de $2,13 \text{ g kg}^{-1}$ (Tabela 11). Dentro da época seca não houve diferença entre os genótipos ($P > 0,05$). Porém, dentro das águas, a maioria dos genótipos teve menor concentração de Ca, exceto CNPGL 93-41-1 que obteve teor de $3,05 \text{ g kg}^{-1}$ ($P > 0,05$).

As concentrações dos elementos químicos devem ser estudadas individualmente, mas também em sua relação mútua devido a ocorrência de cinzas. Por exemplo, o Ca, juntamente com P e magnésio (Mg) constituem compostos formadores de incrustações como carbonato de cálcio (CaCO_3), silicato de magnésio

(MgSiO_3) e hidroxiapatita ($[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2]_3 \text{Ca}(\text{OH})_2$), os quais reduzem a troca térmica das caldeiras, resultando em perda de eficiência e, conseqüentemente, menor quantidade de vapor gerado, necessitando sempre de paradas para limpeza de tubulações (Rein, 2012).

No 2º ano de cultivo, ao comparar as épocas (Tabela 12), houve diferença significativa ($P > 0,05$) e os genótipos Cuba 116, Guaçu, BRS Canará que obtiveram menores concentrações de Ca na época de seca ($P > 0,05$), sendo 1,56; 1,59 e 2,63 g kg^{-1} , respectivamente. Dentro de cada época (seca ou águas), não houve diferença ($P > 0,05$) entre os genótipos. A concentração média de Ca obtida pelo capim-elefante (1,91 e 2,18 g kg^{-1}) assemelha-se aos obtidos em cana de açúcar (2,8 g kg^{-1}), sorgo sacarino (2,6 g kg^{-1}) e sorgo biomassa (3,4 g kg^{-1}) (Monti et al., 2008).

Em relação a concentração de magnésio (Mg), no 1º ano de cultivo, ao comparar as duas épocas (Tabela 11) não houve diferença para a maioria dos genótipos, exceto para Piracicaba 241 e BRS Canará que obtiveram menor concentração de Mg na época da seca ($P > 0,05$), e Cubano Pinda na época das águas. Dentro da época seca, os genótipos que tiveram menor concentração de Mg ($P > 0,05$) foram Piracicaba 241, BRS Canará, Cuba 116, Vrukwona e Porto Rico com concentração variando de 0,9 a 1,08 g kg^{-1} . De outra forma, dentro da época das águas, os genótipos com menores concentrações de Mg ($P > 0,05$) foram Vrukwona, Porto Rico e Cubano Pinda ($P > 0,05$) com 1,25; 0,81; 0,68 g kg^{-1} , respectivamente.

No 2º ano de cultivo (Tabela 12), a concentração de Mg foi semelhante ao 1º ano com 1,18 g kg^{-1} . Não houve diferença ($P > 0,05$) entre os genótipos ao comparar as épocas e dentro destas.

O teor de Mg foi menor do que foi obtida por Mohamed et al. (2015), que em estudos de torrefação do capim-elefante, encontraram respectivamente 2,34; 2,17 e 1,89 g kg^{-1} para folhas, colmos e planta inteira, respectivamente. Provavelmente se utilizou uma biomassa mais nova do que deste experimento. Em outras cultura energéticas foram observadas concentrações de Mg para os colmos de *Miscanthus* de 1,73 g kg^{-1} e para *Panicum virgatum* com 1,09 g kg^{-1} (Monti et al., 2008).

Obernberger et al. (2006), ao analisar gramíneas com finalidade bioenergética em diferentes idades de corte, observaram redução na concentração de minerais no tecido vegetal à medida que avança a idade. Com isso, a biomassa apresenta

melhor qualidade para combustão direta, devido ao baixo teor de óxidos de metais alcalinos e alcalino-terrosos, e conseqüentemente baixa escorificação potencial.

Para concentração de enxofre (S), ao comparar as duas épocas no 1º ano de cultivo (Tabela 11), apenas os genótipos Taiwan A25 e Vruckwona obtiveram menor S na seca ($P > 0,05$). Não houve diferença entre os genótipos ($P > 0,05$) dentro das épocas (seca e águas) e média obtida foi $0,43 \text{ g kg}^{-1}$. No 2º ano de cultivo (Tabela 12), ao comparar as duas épocas, os genótipos Cameroon e Guaçu apresentaram menor teor de S na época seca ($P > 0,05$). Dentro das épocas (águas e seca) não houve diferença entre os genótipos ($P > 0,05$), sendo a média de $0,46 \text{ g kg}^{-1}$.

A presença S e assim como o N podem resultar em poluição ambiental, como a formação de óxidos de nitrogênio (NO_x) e enxofre (SO_x) tóxicos, formação de chuva ácida e corrosão após a combustão (Kumar et al., 2010). Conforme Boddey et al. (2004), é importante que as concentrações de S nos planta inteira do capim-elefante sejam baixas para garantir a melhor qualidade do carvão para seu uso na siderurgia.

Em relação a concentração de nitrogênio (N) no 1º ano de cultivo (Tabela 11), o genótipo Taiwan A25 obteve menor concentração de N na época das águas ($P > 0,05$), ao passo que o Guaçu foi na época seca. Não houve diferença estatística ($P > 0,05$) dentro das épocas, e a concentração média foi $5,55 \text{ g kg}^{-1}$. No 2º ano de cultivo (Tabela 12), houve redução na concentração de N para $4,23 \text{ g kg}^{-1}$, o que é muito desejável para produção de carvão vegetal. Não houve diferença ($P > 0,05$) entre as épocas e dentro da época para o 2º ano de cultivo.

O N apresenta correlação negativa com o poder calorífico superior. Sendo assim, quando o capim-elefante é cultivado para produção de carvão vegetal, é importante que as concentrações de N nos tecidos da planta sejam baixas para garantir a melhor qualidade do carvão para uso na siderurgia (Boddey et al., 2004).

Ademais, são mínimas as chance de emissão de gases nocivos por parte da biomassa de capim-elefante, pois as concentrações de S e N obtidas são menores do que os valores críticos para emissão de gases pela combustão direta de 2,00 % e 1,00 %, respectivamente (Demirbas, 2005).

Os genótipos apresentaram para os anos em que foram cultivados a proporção de elementos metálicos e não metálicos na respectiva ordem $\text{K} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{P} > \text{S}$, sendo o resultado similar aos encontrados por Monti et al. (2008) e Mohammed et al. (2015), a qual segue tendência típica das biomassas perenes.

5. CONCLUSÃO

Os genótipos que apresentam maiores produtividade de matéria seca, altura de planta e diâmetro de colmo são CNPGL 91-25-1, Cubano Pinda, BRS Canará, Porto Rico e Mercker.

Maiores teores de matéria seca, fibra em detergente ácido e matérias voláteis ocorrem no período seco do ano e nos seguintes genótipos Mercker, Piracicaba 241, Guaçu, Cubano Pinda e BRS Canará.

Menores concentrações de fósforo (águas), potássio (seca) e magnésio (seca e águas) são encontradas nos genótipos Cuba 116, Piracicaba 241, Vruckwona, Porto Rico, BRS Canará e Cubano Pinda.

Analisando os aspectos agronômicos, composição bromatológica e mineral, os genótipos de capim-elefante recomendados para produção de energia na forma de combustão são BRS Canará e Cubano Pinda.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCÂNTARA, P. B.; BUFARAH, G. **Plantas forrageiras: gramíneas e leguminosas**. São Paulo: Nobel, 1999. 165 p.

ANDRADE, R. G.; BOLFE, E. L.; VICTORIA, D. C.; NOGUEIRA, S. F. Avaliação das condições de pastagens no cerrado brasileiro por meio de geotecnologias. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v.7, n.1, p.34-41, Março, 2017.

ASSIS, M. R.; PROTÁSIO, T. P.; ASSIS, C. O.; TRUGILHO, P. F.; SANTANA, W. M. S. Qualidade e rendimentos do carvão vegetal de um clone híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 32, n. 71, p. 291-302, 2012.

BANZATO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. 2.ed. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 247 p.

BISPO, J. São Desidério é sede da primeira termelétrica do Brasil movida à biomassa. **Jornal de São Desidério**, São Desidério-Bahia. 3p. 2010.

BODDEY, R. M.; ALVEZ, B. Jr.; URQUIAGA, S. S. **Redução das emissões do gás carbônico através da produção de bioenergia utilizando capim elefante**. EMBRAPA Agrobiologia: Seropédica, 2004. 2p.

BONFIM-SILVA, E. M.; CASTRO, H. A. W.; REZENDE, P. F.; FAVARE, H. G.; DOURADO, L. G. A.; SOUSA, H. H. F.; SILVA, T. J. A. Wood ash as a corrective and fertilizer in the cultivation of Mombaça and Massai grass in oxisol. **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 21, n. 5, p.1-10, 2018.

BRAND, M. A. **Energia de biomassa florestal**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 131p

- CALEGARI, L. FOELKEL, C. E. B.; HASELEIN, C. R.; ANDRADE, J. L. S.; SILVEIRA P.; SANTINI, E. J. Características de algumas biomassas usadas na geração de energia no Sul do Brasil. **Biomassa & Energia**, v. 2, n.1, p. 37-46, 2005.
- CARVALHO, M. M., ALVIM, M. J., XAVIER, D. F. (ed). **Capim-elefante: produção e utilização**. Juiz de Fora: EMBRAPA-Gado de Leite, 1997, 259 p.
- CASSARO, S. **Seleção de híbridos de capim-elefante para fins energéticos utilizando modelos mistos**. 2018. 54p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas), Campos dos Goytacazes, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2018.
- CAVALCANTE, M.; LIRA, M. DE A. Variabilidade genética em *Pennisetum purpureum* Schumacher. **Revista Caatinga**, v. 23, p.153-163, 2010.
- CHAKRABORTY, S.; AGGARWAL, V.; MUKHERJEE, D.; ANDRAS, K. Biomass to biofuel: a review on production technology. **Asian Journal of Chemical Engineering**, v. 7, p. 254-262, 2012.
- CHEN, W. H.; PENG, J.; BI, X. T. A state of the art review of biomass torrefaction, densification and applications. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**. 44, 847- 866. 2015a.
- CHEN, X.; ÖNAL, H. Renewable energy policies and competition for biomass: Implications for land use, food prices, and processing industry. **Energy Policy**, v. 92, p. 270-278, 2016.
- CHEN, Z.; HU, M.; ZHU, X.; GUO, D.; LIU, S.; HU, Z.; XIAO, B.; WANG, J.; LAGHARI, M. Characteristics and kinetic study on pyrolysis of five lignocellulosic biomass via thermogravimetric analysis. **Bioresource Technology**, v. 192, p. 441–50, 2015b.
- CORDEIRO, G. C.; TOLEDO FILHO, R. D.; FAIRBAIRN, E. M. R. Influência da substituição parcial de cimento por cinza ultrafina da casca de arroz com elevado teor de carbono nas propriedades do concreto. **Ambiente Construído**, v. 9, n. 4, p. 99-107, 2009
- CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GÓMEZ, E. O. **Biomassa para energia**. Campinas: Editora Unicamp, v.1, n.1, p. 47 - 55, 2008.
- COUTO, L.; MULLER, M. D.; TSUKAMOTO, A. A.; BARCELLOS, D. C.; FONSECA, E. M. B.; CORRÊA, M. R. Programa de pesquisa para avaliação de densidades de plantio e rotação de plantações de rápido crescimento para produção de biomassa. **Biomassa & Energia**, v. 1, n. 1, p.107-112, 2004.
- DAHER, R. F.; PEREIRA, A. V.; PEREIRA, M. G.; LÉDO, F. J. S.; AMARAL JUNIOR, A. T.; ROCABADO, J. M. A.; FERREIRA, C. F.; TARDIN, F. D. Análise de trilha de caracteres forrageiros do capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.). **Ciência Rural**. Santa Maria, v.34, p.1531-1535, 2004.
- DEMIRBAS, A. Potential applications of renewable energy sources, biomass combustion problems in boiler power systems and combustion related environmental issues. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 31, p. 171-192, 2005.

DIAS J M C. S.; SANTOS, D. T.; BRAGA, M.; ONOYAMA, M. M.; MIRANDA, C. H. B.; BARBOSA, P. F. D.; ROCHA, J. D. **Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais**. Brasília: Embrapa Agroenergia. 132p. 2012. (Documentos 13)

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Balço energético nacional (ano base 2015)**. Empresa de Pesquisa Energética: Rio de Janeiro, 2016. 292p.

FERREIRA, E. A.; ABREU, J. G.; MARTINEZ, J. C.; BRAZ, T. G. S.; FERREIRA, D. P. Cutting ages of elephant grass for chopped hay production. **Pesquisa. Agropecuária Tropical**, v. 48, n. 3, p. 245-253, 2018.

FLORES, R.; RILNER, A. F.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; COLLIER, L. S.; BODDEY, R. M. Yield and quality of elephant grass biomass produced in the cerrados region for bioenergy. **Engenharia Agrícola**, v.32, n.5, p.831-839, 2012.

FLORES, R. A.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; COLLIER, L. S.; ZANETTI, J. B.; PRADO, R. M. Nitrogênio e idade de corte na qualidade da biomassa de capim-elefante para fins agroenergéticos cultivado em Latossolo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 1, p. 127-136. 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.

FREDDO, A.; FOELKEL, C.E.B; FRIZZO, S.M.B.; SILVA, M.C.M. Elementos Minerais em madeiras de eucaliptos e acácia negra e sua influência na indústria de celulose kraft branqueada. **Ciência Florestal**, v.9, n.1, p.201, 1999.

FREITAS, R. S.; BARBÉ, T. C.; DAHER, R. F.; VIDAL, A. K. F.; STIDA, W. F.; SILVA, V. B.; MENEZES, B. R. S.; PEREIRA, A. V. Chemical composition and energy yield of elephantgrass biomass as function of five different production ages. **Journal of Agricultural Science**; v. 10, n. 1, p. 15-22, 2018.

GARCIA, D. P.; CARASCHI, J. C.; VENTORIM, G.; VIERA, F. H. A.; PROTÁSIO, T. P. Comparative energy properties of torrefied pellets in relation to pine and elephant grass pellets. **Bioresources**, v. 13, n. 2, p.2898-2906. 2018.

GREENPEACE. **Revolução energética: a caminho do desenvolvimento limpo: Cenário Brasileiro**. 2013. 330p.

HILSDORF, J. W.; BARROS, N. D.; TASSINARI, C. A.; COSTA. Química tecnológica. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004. 340 p.

HOFFMAN, B. S. **O ciclo combinado com gaseificação integrada e a captura de CO₂: uma solução para mitigar as emissões de CO₂ em termelétricas a carvão em larga escala no curto prazo?** 2010. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético – PPGPE), UFRJ, Rio de Janeiro: 2010.

IHA, B. K. V.; SANTOS, L. R.; SANTOS, L. A.; SBAMPATOB, M. E.; ROCCO, J. A. F. F. Equações lineares e não lineares para prever o comportamento de propriedades físico-químicas de combustível de aviação misturado com bioquerosene drop-in alternativo. **Química Nova**, v. 42, 1-9, 2019.

KASSMAN, H.; BROSTRÖM, M.; BERG, M.; ÅMAND, L. E. Measures to reduce chlorine in deposits: Application in a large-scale circulating fluidized bed boiler firing biomass. **Fuel**, v. 90, p. 1325-1334, 2011.

KHAN, A.A.; DE JONG, W.; JANSSENS, P.J.; SPLIETHOFF, H. Biomass combustion in fluidized bed boilers: Potential problems and remedies. **Fuel Processing Technology**, v. 90, p. 21-50. 2009.

KUMAR, R.; PANDEY, K. K.; CHANDRASHEKAR, N.; MOHAN, S. Effect of tree-age on calorific value and other fuel properties of Eucalyptus hybrid. **Journal of Forestry Research**, Tokyo, v. 21, n. 4, p. 514-516, 2010.

LIMA, E. C.; SANTOS, I. A.; MOIZINHO, L. C. S. Energia eólica no brasil: oportunidades e limitações para o desenvolvimento sustentável. **Estudo & Debate**, v. 25, n. 1, p. 216-236, 2018.

LLORENTE, M. J. F.; GARCIA, J. E. C. Suitability of thermo-chemical corrections for determining gross calorific value in biomass. **Thermochemical Acta**, n. 468, p.101-107, 2008.

MCKENDRY, P. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. **Bioresource Technology**, Volume 83, Número 1, maio 2002, p. 37-46, 2002.

MADAKADZE, C.; MASAMVU, T. M.; RADIOTIS, T.; LI, J.; SMITH, D. L. Evaluation of pulp and paper making characteristics of elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum) and switchgrass (*Panicum virgatum* L.). **African Journal Environment Science and Technology**. n. 4, p. 465-470, 2010.

MAGALHÃES, M. A.; DONATO, D. B.; CANAL, W. D.; CARNEIRO, A. C. O.; PEREIRA, B. L. C.; VITAL, B. R. Caracterização de pellets produzidos a partir de capim-elefante para uso energético. **Brazilian Journal of Wood Science**, v. 7, n.3, p.155-162, 2016.

MANOUCHEHRINEJAD, M.; YUE, Y.; MORAIS, R. A. L.; SOUZA, L. M. O. Densification of Thermally Treated Energy Cane and Napier Grass. **BioEnergy Research**, v11, 3, 538–550. 2018.

MARAFON, A. C.; SANTIAGO, A. D.; AMARAL, A. F. C.; BIERHALS, A. N.; PAIVA, H. L.; GUIMARAES, V. S. **Poder calorífico do capim-elefante para a geração de energia térmica**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2016. 30 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 115).

MARAFON, A. C.; SANTIAGO, A. D.; CAMARA, T. M.; RANGEL, J. H. A.; AMARAL, A. F. C.; LÊDO, F. J. S.; BIERHALS, A. N.; PAIVA, H. L. **Potencial produtivo e qualidade da biomassa de capim-elefante para fins energéticos**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2014. 6p. (Circular Técnica)

MARAFON, A. C.; SANTIAGO, A. D.; MACHADO, J. C.; GUIMARÃES, V. S.; PAIVA, H. L. **Produção de biomassa em gramíneas tropicais com potencial energético**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2017. 19 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 132)

MARTINI, P. R. R. **Conversão pirolítica de bagaço residual da indústria de suco de laranja e caracterização química dos produtos**. 2009. 136 p. Dissertação de

Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Química (Dissertação de Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2009.

MENEZES, B. R. S.; DAHER, R. F.; GRAVINA, G. de. AMARAL JÚNIOR, A. T.; OLIVEIRA, A. V.; SCHNEIDER, L. A.; SILVA, V. B. Correlações e análise de trilha em capim-elefante para fins energéticos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 3, p.465-470, 2014.

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, 3403-3417. 2015.

MONTI, A.; VIRGILIO, N. D.; VENTURI, G. Mineral composition and ash content of six major energy crops. **Biomass and Bioenergy**, v. 32; p. 216-223, 2008.

MORAIS, R. F. **Potencial produtivo e eficiência da fixação biológica de nitrogênio de cinco genótipos de capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.), para uso como fonte alternativa de energia.** 2008. 75 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro: Seropédica-RJ. 2008.

MORAIS, R. F.; QUESADA, D. M.; REIS, V. M.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Contribution of biological nitrogen fixation to elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum.). **Plant and Soil**, v.349, p.1-12, 2011.

MOTA, V. J. G.; REIS, S. T.; SALES, E. C. J.; ROCHA JÚNIOR, V. R.; OLIVEIRA, F. G.; WALKER, S. F.; MARTINS, C. E.; CÓSER, A. C. Lâminas de irrigação e doses de azoto em pastagem de capim-elefante no período seco do ano no norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 6, p. 1191-1199. 2010.

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, p.578-597, 2010.

NAKAI, D. K.; MAY, A.; SILVA, M. A.; PARRELLA, R. A. C. **Uso do sorgo biomassa em caldeiras de combustão: cuidados, precauções e fatores relacionados à qualidade da matéria-prima.** Embrapa: Sete Lagoas, 13p. 2016. (Documentos 205).

NAKASHIMA, G. T.; ADHMANN, I. C. S.; HANSTED, L. S.; BELINI, G. B.; WALDMAN, W. R.; YAMAJI, F. M. Materiais lignocelulósicos: caracterização e produção de briquetes. **Revista Virtual de Química**, v. 9, n. 1, p. 159-162, 2017.

NEVES, T. A.; PROTÁSIO, T. P.; COUTO, A. M.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, V. O.; VIEIRA, C. M. M. Avaliação de clones de Eucalyptus em diferentes locais visando à produção de carvão vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 68, p. 319-330, 2011.

NOGUEIRA, M. F. M.; RENDEIRO, G. Caracterização energética da biomassa vegetal. BARRETO, E. J. F. **Combustão e gaseificação da biomassa sólida: soluções energéticas para a Amazônia.** Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2008. p. 52-63.

OBERNBERGER I, BRUNNER T, BARNTHALER G. Chemical properties of solid biofuels – significance and impact. **Biomass & Bioenergy**; v. 30, p. 973–82. 2006.

OLIVEIRA, L. F.; DAHER, R. F.; MENEZES, B. R. S.; VIVAS, M.ROCHA, A. S.; PONCIANO, N. J.; JUNIOR, A. T. A.; ARAUO, M. S. B.; PEREIRA, T. N. S.; SILVA, V.B. Genetic diversity of elephant grass (*Cenchrus purpureus* [Schumach.] Morrone) for energetic production based on quantitative and multi-category traits. *Chilean Journal of Agricultural Research* 77(1) 2017.

OLIVEIRA, E. S.; DAHER, R. F.; PONCIANO, N. J.; GRAVINA, G. A.; SANT'ANA, J. A. A.; GOTTARDO, R.D.; MENEZES, B R. S.; SOUZA, P. M.; SOUZA, C. L. M.; SOLVA, V. B.; ROCHA, A. S.; NOVO, A. A.C. Variation of morpho-agronomic and biomass quality traits in elephant grass for energy purposes according to nitrogen levels. **American Journal of Plant Sciences**, v. 6, 1685-1696. 2015.

PACIULO, D. S. C.; GOMIDE, J. A.; RIBEIRO, K. G. Adubação nitrogenada do capim-elefante cv. Mott. 1. Rendimento forrageiro e características morfofisiológicas ao atingir 80 e 120 cm de altura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.27, n.6, p.1069-1075, 1998.

PAYNE, J. H. **Operações unitárias na produção de açúcar de cana de açúcar**. São Paulo: Nobel. 1989. 211 p.

PEREIRA, A. V. Germoplasma e diversidade genética do capim-elefante. In: SIMPÓSIO SOBRE CAPIM-ELEFANTE, 2. Juiz de Fora. **Anais...** Coronel Pacheco: EMBRAPA-CNPGL, 1994. p. 1-11.

PEREIRA, A. V.; LÉDO, F. J. S.; MACHADO, J. C. BRS Kurumi and BRS Capiaçú - New elephant grass cultivars for grazing and cut-and-carry system. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, p. 59-62, 2017.

PEREIRA, A. V.; VALLE, C. B.; FERREIRA, R. P.; MILES, J. W. Melhoramento de forrageiras tropicais. In: NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C.; MELO, I. S.; VALADARES-INGRES, M. C. **Recursos genéticos e melhoramento de plantas**. Rondonópolis: Fundação Mato Grosso, p.549-602. 2001.

PERES, S.; RENEDO, C. J.; ORTIZ, A. MAÑANA, M. Energy potential of waste from 10 forest species in the North of Spain (Cantabria). **Bioresource Technology**, v. 99, p. 6339–6345, 2008.

PROTÁSIO, T. P., TRUGILHO, P. F., SIQUEIRA, H. F., MELO, I. C. N. A., ANDRADE, C. R., AND GUIMARÃES JR., J. B. Caracterização energética de pellets in natura e torreficados produzidos com madeira residual de Pinus. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 84, 435-442. 2015.

QUESADA, D. M.; BODDEY, R. M.; REIS, V.M.; URQUIAGA, S. **Parâmetros qualitativos de genótipos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum) estudados para a produção de energia através da biomassa**. Embrapa: Seropédia, 2004. (Circular Técnica 8).

QUESADA, D.M. **Parâmetros quantitativos e qualitativos de diferentes genótipos de capim-elefante como potencial para uso energético**. 2005. 76p. Tese (doutorado), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-RJ. 2005.

QUIRINO, W. F.; VALE, A. T.; ANDRADE, A. P. A.; ABREU, V. L. S.; AZEVEDO A. C. S. Poder calorífico da madeira e de materiais e de materiais ligno-celulósicos. **Revista da Madeira**, v. 89, p.100-106. 2005.

RA, K.; SHIOTSU, F.; ABE, J.; MORITA, S. Biomass yield and nitrogen use efficiency of cellulosic energy crops for ethanol production. **Biomass & Bioenergy**, v. 37, p.330–334, 2012.

REIN, P. **Cane Sugar Engineering**. 2ed. Bartens: Berlin, 2012. 736p.

REIS, M. C., SABRINHO, S. F., RAMALHO, M. A. P., FERREIRA, D. F., LEDO, F. J. S., PEREIRA, A. V. Allohexaploid pearl millet x elephantgrass population potential for a recurrente selection program. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n. 2, p.195-199. 2008.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais - CFSEMG, 1999.

ROCHA J. R. A. S. C. **Pré-melhoramento de capim-elefante para produção de bioenergia**. 2015. 60 p. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. 2015.

ROCHA J. R. A. S. C.; MACHADO J. C, CARNEIRO P. C. S.; CARNEIRO J. C, RESENDE, M. D. V.; LEDÓ, F. J. S.; CARNEIRO, J. E. S. Bioenergetic potential and genetic diversity of elephantgrass via morpho-agronomic and biomass quality traits. **Industrial Crops Production**, v. 95, p.485-492, 2017a.

ROCHA J. R. A. S. C.; MACHADO J. C, CARNEIRO P. C. S.; CARNEIRO J. C, RESENDE, M. D. V.; PEREIRA, A. V.; CARNEIRO, J. E. S. Elephant grass ecotypes for bioenergy production via direct combustion of biomass. **Industrial Crops and Products**, v. 95, p. 27-32, 2017b.

ROSSI, D. A. **Avaliação morfoagronômica e da qualidade da biomassa de acessos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) para fins energéticos no Norte Fluminense**. 2010. 66p. (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, 2010.

ROSSI, D.A.; MENEZES, B. D. S.; DAHER, R. F.; GRAVINA, G. A.; LIMA, R. S. N.; LÉDO, F. J. S.; GOTTARDO, R. D.; COMPOSTRINI, E.; SOUZA, C. L. M. Canonical correlations in elephant grass for energy purposes. **African Journal Biotechnology**. 13: 3666-3671. 2014.

RUEDA, J. A.; ORTEGA-JIMENEZ, E.; HENÁNDEZ-GARAY, A.; ENRÍQUE-QUIROZ, J. F.; GUERRERO-RODRÍGUEZ, J. D.; QUERO-CARRILO, A. R. Growth, yield, fiber content and lodging resistance in eight varieties of Q4 *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone intended as energy crop. **Biomass and Bioenergy**, p. 1-7. 2016.

SALLES, F. A. **Biomassa de capim-elefante e de leucina para produção de energia**. 2014. 62p. (Mestrado em Bioenergia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2014.

SANTOS, C. C.; SOUZA, W.; SANT'ANNA, C.; BRIENZO, M.; Elephant grass leaves have lower recalcitrance to acid pretreatment than stems, with higher potential for ethanol production. **Industrial Crops & Products**, v.111, p. 193-200, 2018.

SCHENEIDER, L. S. A.; DAHER, R. F.; MENEZES, B. R. S.; FREITAS, R. S.; SOUSA, L. B. Selection of elephantgrass genotypes for forage production. **Journal of Agricultural Science**; v. 10, n.12; p. 42-52, 2018.

SEGUCHI, H. J. M.; VICENTE, N. G., MAZZARELLA, V. N. G.; FERREIRA, P. H.; KATAYAMA, M. T. Custo de produção do capim elefante e eucalipto compactado em bripells e briquetes, utilizando secagem solar e induzida. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.6, n.2, p. 228-244, 2017.

SILVA, V. B.; DAHER, R. F.; MENEZES, B. S.; GRAVINA, G. A.; ARAÚJO, M. S. B.; JUNIOR, A. R. C.; CRUZ, D. P.; ALMEIDA, B. O.; TARDIN, D. Selection among and within full-sib families of elephant grass for energy purposes. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**. 18: 89-96, 2018

SILVA, V. Q. R. **Dialelo parcial em capim-elefante: capacidade combinatória em caracteres morfoagronômicos e bromatológicos em Campos dos Goytacazes, RJ**. 2011. 111p. Tese de Doutorado, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes-RJ, 2011.

SILVA, V. Q. R.; DAHER, R. F.; GRAVINA, G. A.; LÉDO, F. J.; TARDIN, F. D.; SOUZA, M. C. Capacidade combinatória de capim elefante com base em caracteres morfoagronômicos. **Boletim de Indústria Animal**, v. 71, n. 1, p.63-70, 2014.

SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de Alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2004. 235p.

SOUZA, M. C. O.; CORAZZA, R. I. Do Protocolo Kyoto ao Acordo de Paris: uma análise das mudanças no regime climático global a partir do estudo da evolução de perfis de emissões de gases de efeito estufa. **Desenvolvimento Meio Ambiente**, v. 42, p. 52-80, 2017.

STURION, J.A; PEREIRA, J. C. D; CHEMIM, M.S; Qualidade da madeira de *Eucalyptus viminalis* para fins energéticos em função do espaçamento e idade de corte. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 16, p.55-59, 1988.

TAVARES, S. R. L.; SANTOS, T. E. Uso de diferentes fontes de biomassa vegetal para produção de biocombustíveis sólidos. **HOLOS**, v. 5, p.1-9, 2013.

TCACENCO, F.A., BOTREL, M.A. Identificação e avaliação de acessos e cultivares de capim-elefante. In: CARVALHO, M.M., ALVIM, M.J., XAVIER, D.F. **Capim-elefante: produção e utilização**. Juiz de Fora: EMBRAPA-Gado de Leite, 1997, p.1-30.

VASSILEV S, BAXTER D, ANDERSEN L, VASSILEVA C. An overview of the composition and application of biomass ash. Part 1. Phase-mineral and chemical composition and classification. **Fuel**, v. 105, p.40–76, 2013.

VASSILEV, S. V.; BAXTER, D.; VASSILEVA, C. G. An overview of the behaviour of biomass during combustion: Part II. Ash fusion and ash formation mechanisms of biomass types. **Fuel**, v. 117, p. 152–183, 2014.

VASSILEV, S. V.; VASSILEVA, C. G.; VASSILEV, V. S. Advantages and disadvantages of composition and properties of biomass in comparison with coal: An overview. **Fuel**, v. 158, p. 330–350, 2015.

VIDAL, A. K. F.; DAHER, R. F.; FREITAS, R. S.; STIDA, W. F. STIDA, MENEZES, B. R. da S.; PEREIRA, A. V.; da SILVA, V. B.; TARDIN, F. D.; OLIVEIRA, L. J. Estimative of genetic diversity in germ-plasm of elephant grass using the Gower algorithm. **Genetic Molecular Research**. 17(4). 2018.

VIEIRA, A. C. **Caracterização de biomassas provenientes de resíduos agrícolas**. 2012. 72p. (Mestrado em Energia na Agricultura) – Universidade Oeste do Paraná, 2012.

VILLA NOVA, N. A.; TONATO, f.; PEDREIRA, C. G. S.; MEDEIROS, H. R. Alternate method to compute the base temperature of forage grasses. **Ciência Rural**, v. 37, p.545–549, 2007.

ZANETTI, J. B.; MORAIS, R. F.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S.; SOARES, L. H. B. **Balanco energético na produção de capim-elefante em condições experimentais**. Embrapa Agrobiologia: Seropédica, 2010. 24 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 71).

ZHU, X.; LONG, S. P.; ORT, D. R. What is the maximum efficiency with which photosynthesis can convert solar energy into biomass? **Current Opinion in Biotechnology**, v.19, n.2, p.153-159, 2008.