

VARIAÇÃO DE CARACTERES MORFOAGRONÔMICOS,
FISIOLÓGICOS E DA QUALIDADE DA BIOMASSA ENERGÉTICA
DE CAPIM-ELEFANTE (*Pennisetum purpureum* Schum.) EM
FUNÇÃO DA IDADE DA PLANTA.

TATIANE DA COSTA BARBÉ

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY
RIBEIRO

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
JUNHO - 2012.

VARIAÇÃO DE CARACTERES MORFOAGRONÔMICOS,
FISIOLÓGICOS E DA QUALIDADE DA BIOMASSA ENERGÉTICA
DE CAPIM-ELEFANTE (*Pennisetum purpureum* Schum.) EM
FUNÇÃO DA IDADE DA PLANTA.

TATIANE DA COSTA BARBÉ

Tese apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Doutora em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Rogério Figueiredo Daher

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

JUNHO – 2012

FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do **CCTA / UENF** 065/2012

Barbé, Tatiane da Costa

Varição de caracteres morfoagronômicos, fisiológicos e da qualidade da biomassa energética de capim-elefante (*Pennisetum purpureum Schum.*) em função da idade da planta / Tatiane da Costa Barbé. – 2012.

139 f. : il.

Orientador: Rogério Figueiredo Daher

Tese (Doutorado - Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Campos dos Goytacazes, RJ, 2012.

Bibliografia: f. 114 – 124.

1. Energia 2. Fotossíntese 3. Análise de regressão I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. II. Título.

CDD –
662.88

VARIAÇÃO DE CARACTERES MORFOAGRONÔMICOS,
FISIOLÓGICOS E DA QUALIDADE DA BIOMASSA ENERGÉTICA
DE CAPIM-ELEFANTE (*Pennisetum purpureum* Schum.) EM
FUNÇÃO DA IDADE DA PLANTA.

TATIANE DA COSTA BARBÉ

Tese apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Doutora em Produção Vegetal.

Aprovada em 28 de junho de 2012.

Comissão Examinadora:

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

Alena Torres Netto (D.Sc. em Produção Vegetal) - UENF

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

Prof. Jose Tarcisio Lima Thiebaut (D.Sc. em Produção Animal) - UENF

Prof. Rogerio Figueiredo Daher (D.Sc. em Produção Vegetal) - UENF
(Orientador)

Dedico esta vitória aos meus pais Maria Dulce e Nelson, aos meus “irmãos” Luciane e Leonardo, pelo companheirismo e incentivo, sempre dedicados com muito amor e carinho.

AGRADECIMENTOS

A Deus de imensa luz, perfeição e grandeza;

Aos meus pais, Nelson e Maria Dulce, que tanto amo e que sempre me apoiaram em todas as minhas decisões e aprendizado;

Aos meus “irmãos” Luciane e Leonardo pelo companheirismo, incentivo, paciência e apoio sempre;

À minha família (tias, tios, primas e primos) que abriram mão de minha presença em momentos de dor e alegrias;

A Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e a Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro pelo ensino gratuito e de qualidade;

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ), pela concessão da bolsa de estudos;

Ao professor Rogério Figueiredo Daher pela orientação, paciência, compreensão e conselhos;

Aos membros da banca examinadora pelos ensinamentos, sugestões, atenção e dedicação a este trabalho;

Aos amigos astrais que vibraram em energias positivas;

Ao amigo Renato (*in memoriam*) que em sua breve passagem nos lembrou e ensinou que a vida deve ser vivida intensamente e sem preocupações a cada dia;

Aos tantos e tantos amigos que fiz na UENF, que não os citarei aqui, pois posso ser injusta se esquecer de alguém;

Aos amigos especiais, Vanessa, Fabiane, Sílvia e Viviane. Ao casal Livia e Evandro, e à família Gonzaga, Livia e João Miguel, pelos bons momentos de descontração, carinhos e desabafos;

Ao amigo mais que especial Jorge Cabeleira;

Aos tantos, grandes e verdadeiros amigos ausentes pela distância, mas que sempre me apoiaram, incentivaram e fazem parte da minha vida;

Às meninas do Laboratório de Fisiologia, Roberta, Alena e Tatiana pela ajuda e incentivo com os trabalhos de campo;

Aos amigos da “salinha” 104 - D, ao Romildo e aos técnicos do Centro Estadual de Pesquisas em Agroenergia e Aproveitamento de Resíduos - Campos dos Goytacazes, pela ajuda, bons momentos de descontração e dedicação a este trabalho, sem eles não seria possível mais essa conquista.

OBRIGADA!

SUMÁRIO

| | |
|--|------|
| RESUMO | viii |
| ABSTRACT | xi |
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA | 4 |
| 2.1. Aspectos gerais do capim-elefante (<i>Pennisetum purpureum</i> Schum.) | 4 |
| 2.2. A biomassa energética do capim-elefante | 6 |
| 2.3. Características morfoagronômicas e da qualidade da biomassa de capim-elefante para produção de biomassa energética | 8 |
| 2.4. Análise de regressão na produção do capim-elefante | 10 |
| 2.5. Ecofisiologia do capim-elefante | 13 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 17 |
| CAPÍTULO 1 - POTENCIAL PRODUTIVO DO CAPIM-ELEFANTE (<i>Pennisetum purpureum</i> Schum) COMO FONTE ALTERNATIVA DE ENERGIA EM CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ..... | 25 |
| RESUMO | 26 |
| ABSTRACT | 28 |
| 1. INTRODUÇÃO | 30 |
| 2. MATERIAL E MÉTODOS | 32 |
| 2.1. Condições de cultivo e delineamento experimental | 32 |
| 2.2 Características avaliadas | 34 |
| 2.3. Análise estatística dos dados | 35 |

| | |
|---|-----|
| 2.3.1. Análise de variância por ciclo de produção | 35 |
| 2.3.2. Análise de variância conjunta | 36 |
| 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 37 |
| 3.1. Análise de variância por ciclo de produção | 38 |
| 3.2. Comparação de médias por ciclo de produção (Teste Tukey) | 45 |
| 3.3. Análise de variância conjunta | 53 |
| 4. RESUMO E CONCLUSÕES | 56 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 58 |
| CAPÍTULO 2 – PRODUÇÃO E VARIAÇÃO DA QUALIDADE DA BIOMASSA ENERGÉTICA DO CAPIM-ELEFANTE (<i>Pennisetum Purpureum</i> Schum.) EM FUNÇÃO DA IDADE DA PLANTA | |
| RESUMO | 61 |
| ABSTRACT | 62 |
| 1. INTRODUÇÃO | 64 |
| 2. MATERIAL E MÉTODOS | 66 |
| 2.1. Condições de cultivo e delineamento experimental | 68 |
| 2.2 Características avaliadas | 68 |
| 2.3. Análise estatística dos dados | 69 |
| 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 69 |
| 3.1. Produção de matéria seca (PMS) | 70 |
| 3.2. Percentagem de Fibra em Detergente Neutro e em Detergente ácido (FDN e FDA) | 70 |
| 4. RESUMO E CONCLUSÕES | 73 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 82 |
| CAPÍTULO 3 - CARACTERÍSTICAS FOTOSSINTÉTICAS DE GENÓTIPOS DE CAPIM-ELEFANTE (<i>Pennissetum purpureum</i> Schum.) PARA PRODUÇÃO DE BIOMASSA | |
| RESUMO | 86 |
| ABSTRACT | 87 |
| 1. INTRODUÇÃO | 89 |
| 2. MATERIAL E MÉTODOS | 91 |
| 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 94 |
| 4. RESUMO E CONCLUSÕES | 96 |
| 4. RESUMO E CONCLUSÕES | 106 |

| | |
|----------------------------------|-----|
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 108 |
| RESUMO E CONCLUSÃO GERAL | 111 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 114 |

RESUMO

BARBÉ, TATIANE DA COSTA. D.Sc. - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Junho de 2012. VARIÇÃO DE CARACTERES MORFOAGRONÔMICOS, FISIOLÓGICOS E DA QUALIDADE DA BIOMASSA ENERGÉTICA DE CAPIM-ELEFANTE (*Pennisetum Purpureum* Schum.) EM FUNÇÃO DA IDADE DA PLANTA. Orientador: Prof. Rogério Figueiredo Daher.

Nas últimas décadas, a demanda energética tem se tornado um problema mundial, e a busca por fontes alternativas de energia é cada vez maior e a energia gerada por meio da queima de biomassa vegetal tem sido uma opção bastante viável. O Brasil possui todas as características climáticas necessárias para aumentar sua produção comercial de biomassa energética, o que já ocorre com etanol, carvão vegetal e lenha. A avaliação e consequente seleção de genótipos de capim-elefante (*Pennisetum Purpureum* Schum.) com maior produção de biomassa e mais adaptados às condições climáticas da região, pode resultar em elevação na capacidade de produção de biomassa, diminuindo os efeitos da estacionalidade da produção. Com a finalidade de gerar informações relevantes que possam colaborar com a implantação e solidificação de estudos e pesquisas com capim-elefante para produção de biomassa e carvão em Campos dos Goytacazes - RJ, este trabalho teve os seguintes objetivos: Avaliar e identificar seis genótipos de capim-elefante com elevada capacidade de produção de biomassa energética, por meio de características morfoagronômicas e da qualidade da biomassa nas condições ambientais de Campos dos Goytacazes - RJ; avaliar o efeito de 5 ciclos de produção (8, 12, 16, 20 e 24 semanas) sobre o

rendimento e qualidade de biomassa; e avaliar o processo de trocas gasosas de genótipos de capim-elefante cultivados sob condições de campo em Campos dos Goytacazes - RJ. Neste trabalho foram avaliadas as seguintes características morfoagronômicas, da qualidade da biomassa e fisiológicas do capim-elefante como: Número médio de perfilhos por metro linear (NPM); altura média das plantas (ALT); diâmetro médio do colmo (DC); largura média da lâmina foliar (LL); produção de matéria seca da planta, em $t\cdot ha^{-1}$ (PMS); percentagem de matéria seca da planta integral (%MS); percentagem de nitrogênio total (%NT); percentagem de proteína bruta (%PB); percentagem de cinzas (%CIN); percentagem de fibra em detergente neutro (%FDN); percentagem de fibra em detergente ácido (%FDA); percentagem de hemicelulose (%HEMI); percentagem de celulose (%CEL); percentagem de lignina (%LIG); percentagem de carbono (%C); percentagem de nitrogênio (%N); relação carbono/nitrogênio (C:N) taxa de fotossíntese líquida (A); condutância estomática (g_s); transpiração (E); déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar ($DPV_{folha-ar}$) e percentagem de fotoinibição (%). No primeiro capítulo deste trabalho pode-se concluir que nos cinco ciclos de produção foram observadas diferenças significativas para a variável PMS. O 4º e 5º ciclos de produção (20 e 24 semanas de idade) foram os que apresentaram melhor desempenho para a produção de matéria seca (PMS), com médias de 20,50 e 23,77 $t\cdot ha^{-1}$ respectivamente. Os genótipos que mais se destacaram nos cinco ciclos de produção foram King Grass e Mole de Volta Grande. Os genótipos de capim-elefante Cubano de Pinda, Mercker 86 - México e P - 241 - Piracicaba apresentaram efeito linear significativo em função dos intervalos de cortes. Já os genótipos Pusa Napier nº 1, Mole de Volta Grande e King Grass, apresentaram efeito quadrático. Os genótipos Cubano de Pinda, Mercker 86-México e P - 241 - Piracicaba, apresentaram um acúmulo de matéria seca durante o ciclo de produção de 24 semanas (168 dias) de idade, o que não ocorreu com os genótipos Pusa Napier nº 1, Mole de Volta Grande e King Grass. Para a variável FDN todos os genótipos apresentaram efeito quadrático significativo em função dos intervalos de cortes, exceto o genótipo P-241-Piracicaba que apresentou ausência de regressão. Para este mesmo genótipo houve efeito linear significativo para a variável FDA, enquanto os genótipos Cubano de Pinda, Mercker 86 - México, Pusa Napier nº 1, Mole de Volta Grande e King Grass, apresentaram efeito quadrático significativo, e que o teor de FDN e FDA diminuem a partir da

16^a semana de idade. O genótipo Mole de Volta Grande apresentou os menores valores para taxa de fotossíntese líquida (A). Já para condutância estomática (g_s) e déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar ($DPV_{\text{folha-ar}}$) foi observado que os genótipos Cubano de Pinda, Mercker 86 - México e Mole de Volta Grande apresentaram os menores valores quando comparados aos demais genótipos. Para a variável transpiração (E), os genótipos foram agrupados em Cubano de Pinda e Mercker 86 - México com os menores valores seguidos do genótipo Mole de Volta Grande, Pusa Napier nº 1, King Grass e P-241-Piracicaba. Às 7 horas, os valores de F_v/F_m não apresentaram diferenças entre os genótipos e se mantiveram nos valores indicados como boa eficiência do fotossistema II (0,75 – 0,85). Às 12 horas os valores de F_v/F_m também não apresentaram diferença entre os genótipos, que reduziram da faixa considerada ideal para boa atividade do PSII (0,65 - 0,7). Essa queda não foi suficiente para causar fotoinibição em nenhum dos genótipos. Todos os genótipos avaliados apresentaram boas características fotossintéticas, sem diferenças entre os genótipos. O genótipo Mole de Volta Grande foi o que apresentou menores valores para as características fisiológicas avaliadas.

ABSTRACT

BARBÉ, TATIANE DA COSTA. D.Sc. - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. June, 2012. VARIATION OF MORPHOLOGICAL PHYSIOLOGICAL CHARACTER AND QUALITY OF BIOMASS ENERGY OF ELEPHANT GRASS (*Pennisetum purpureum* Schum.) DEPENDING ON THE AGE OF THE PLANT. Advisor: Rogério Figueiredo Daher.

Through the last decades, the energetic demand had been transformed into a world issue, and the search for alternatives of energy resources been even bigger and the energy generated by the burning of plant biomass has been a quite viable option. Brazil has all the climate characteristics necessary to increase the economical production of energetic biomass, which is what has been happening with the ethanol, charcoal and firewood. The evaluation and the consequently selection of genotypes of Napier grass (*Pennisetum Purpureum* Schum.) with a higher biomass production and more adaptable to the climate conditions of the region, it can result into the increase of the capacity to produce biomass, diminishing the stationary effects of production. With the purpose of obtaining more relevant data that can contribute to the implantation e solidification of studies and researches with Napier grass regarding the biomass production and charcoal in Campos dos Goytacazes – RJ, this work had the following objectives: Evaluate and identify six genotypes of Napier grass with elevated capacity of producing energetic biomass through morfoagronomic characteristics and the quality of the biomass in the normal environmental conditions of Campos dos Goytacazes – RJ;

evaluate the effects of the 5 cycles of production (8, 12, 16, 20 and 24 weeks) about the output and the quality of the biomass; evaluate the process of gas exchange of genotypes of Napier grass grown under field conditions in Campos dos Goytacazes – RJ. In this work it was evaluated the following morfoagronomic characteristics, the Napier grass's biomass and physiologic qualities like: Average number of tillers per meter (NPM), plant average height (ALT), stem diameter (DC) average width of the leaf lamina (LL), dry matter production plant in t.ha⁻¹ (PMS); percentage of dry matter of the whole plant (% DM) percentage of total nitrogen (% TN); percentage of crude protein (CP%), ash percentage (% CIN); percentage of neutral detergent fiber (NDF%); percentage of acid detergent fiber (ADF%) percentage of hemicellulose (HEMI%); percentage of cellulose (CEL%); lignin percentage (% LIG); proportion of carbon (% C); nitrogen percentage (% N), the carbon / nitrogen (C: N) ratio of net photosynthesis (A), stomatal conductance (gs), transpiration (E); vapor pressure deficit between leaf and air (air-DPVfolha) and percentage of photoinhibition (%). In the first chapter of this work can be concluded that in the five production cycles were observed significant differences for the variable PMS. The 4th and 5th production cycles (20 and 24 weeks of age) presented the best performance for the production of dry matter (PMS), with averages of 20.50 and 23.77 t ha⁻¹ respectively. The genotypes that stood out in the five production cycles were King Grass and Mole de Volta Grande. The genotypes of Cuban Napier grass Pinda, Mercker 86 - Mexico and P - 241 - Piracicaba showed significant linear effect in terms of cutting intervals. Already genotypes Pusa Napier n° 1, Mole Volta Grande and King Grass, a quadratic effect. Genotypes Cuban Pinda, Mercker 86-Mexico and P - 241 - Piracicaba, showed a dry matter accumulation during the production cycle of 24 weeks (168 days) of age, which did not occur with the genotypes Pusa Napier n° 1, Mole de Volta Grande and King Grass. For variable NDF all genotypes showed significant quadratic effect in terms of cutting intervals, except genotype P-241-Piracicaba that showed no regression. For this same genotype were linearly significant to the variable FDA, while genotypes Cuban Pinda, Mercker 86 - Mexico, Pusa Napier n° 1, Mole Volta Grande and King Grass, a significant quadratic effect, and that the NDF and FDA decrease from 16 weeks of age. The Mole Volta Grande genotype had the lowest values for net photosynthesis rate (A). As for stomatal conductance (gs) and vapor pressure deficit between leaf and air (air-DPVfolha) it was

observed that genotypes Cuban Pinda, Mercker 86 - Mole in Mexico and the Big Bend had the lowest when compared to other genotypes. For variable transpiration (E), genotypes were grouped into Cuban Pinda and Mercker 86 - Mexico followed with the lowest values of genotype Mole de Volta Grande, Pusa Napier n° 1, King Grass and P-241-Piracicaba. At 7 pm, the values of F_v / F_m did not differ between genotypes and remained in the values indicated as good efficiency of photosystem II (0.75 - 0.85). The 12 hours the values of F_v / F_m also did not differ between genotypes, which reduced the range considered ideal for good activity of PSII (0.65 - 0.7). This drop was not enough to cause photoinhibition in any of the genotypes. All genotypes showed good photosynthetic characteristics, no differences between genotypes. The Mole de Volta Grande genotype showed the lowest values for the physiological characteristics.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um país precursor na produção de agroenergia. O bem-sucedido programa de álcool combustível extraído da cana-de-açúcar e criado há cerca de 30 anos, estimulou o país a lançar-se em um ousado programa de substituição gradativa de fontes fósseis como o petróleo e o gás natural, por fontes renováveis e mais limpas. De modo geral, não só o Brasil, mas o Mundo está demandando uma mudança nos padrões de consumo, na adoção de medidas para desacelerar o consumo de recursos naturais, na diminuição dos impactos ambientais devido ao crescimento e desenvolvimento rural e urbano, na redução de emissão dos gases de efeito estufa, visando suavizar os efeitos das mudanças climáticas. Para que essas mudanças ocorram, uma das medidas propostas é a utilização da energia de biomassa (EMBRAPA, 2008).

Do ponto de vista energético, biomassa é todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica (de origem animal ou vegetal) que pode ser utilizada na produção de energia. Assim como a energia hidráulica e outras fontes renováveis, a biomassa é uma forma indireta de energia solar, que é convertida em energia química, através da fotossíntese. O termo tem sido muito utilizado nos últimos anos, em função das preocupações relacionadas às fontes de energia (ANAEEEL, 2002).

A produção de material energético oriundo da biomassa vegetal é especialmente importante em países tropicais como o Brasil, onde há regime de chuvas abundante, temperaturas elevadas, disponibilidade de energia luminosa, somado a isso o fato de que a queima de biomassa, recicla o CO₂ retirado da

atmosfera pela fotossíntese, ao contrário da queima de combustível fóssil (Quesada, 2005).

Recentemente, a queima da biomassa do capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) foi proposta como alternativa para a produção de energia. O interesse energético por esta espécie despertou grandes consumidores e empresários de energia. O que tem chamado a atenção para o capim-elefante são aspectos como alta produtividade e ciclo curto quando comparado a outras culturas tradicionais como, por exemplo, o eucalipto (Osava, 2007).

Tanto na Europa, como no Brasil, algumas siderúrgicas e termoelétricas já utilizam o capim-elefante como fonte alternativa de energia, substituindo o carvão mineral pelo carvão vegetal (Mazzarella, 2008).

A atividade agroindustrial da região Norte Fluminense pode ser caracterizada, basicamente, pela monocultura da cana-de-açúcar e pela monoindústria ceramista. Atualmente a cidade possui 6 usinas e um pouco mais de 100 cerâmicas, que fabricam aproximadamente 5 milhões de tijolos por dia (Alexandre et al., 2007). Em nível regional, no município de Campos dos Goytacazes no Estado do Rio de Janeiro, é da indústria ceramista o grande potencial para se utilizar o capim-elefante como fonte alternativa de energia, já que tal iniciativa pode representar para o setor uma economia equivalente a 80% em combustível (gás natural e lenha), além de reduzir o impacto ambiental e aumentar a oferta de empregos e riqueza na região (Lopes, 2008).

Com o domínio da tecnologia da queima do bagaço da cana-de-açúcar, as usinas de açúcar e álcool alcançaram a autossuficiência em energia. Entretanto, os ceramistas ainda são grandes consumidores de lenha, geralmente obtidas de forma danosa à natureza, trazendo prejuízos sob o aspecto ambiental (Lopes, 2008).

Com o passar dos anos a indústria canavieira na região foi enfraquecendo, o que tem contribuído para aumentar a concentração de mão de obra ociosa e não qualificada, principalmente nas regiões periféricas da cidade. Sendo assim, a necessidade de ações no sentido da diversificação agrícola, visando à fixação do homem no campo e à minimização dos graves problemas socioeconômicos da região se faz necessária (Alexandre et al., 2007).

Dentre as opções de cultivo, o capim-elefante é uma alternativa bastante viável por possuir grande potencial de produção de biomassa, apresentando

utilização sob a forma de lenha e carvão, suprindo deficiências energéticas marcantes na região Norte Fluminense (Lopes, 2008).

No entanto, para que se alcance tal finalidade, há absoluta necessidade de realizar trabalhos de avaliação de genótipos de capim-elefante voltados exclusivamente para produção de biomassa energética, buscando um melhor entendimento dos princípios estatísticos envolvidos em procedimentos biométricos, uma vez que as variedades disponíveis apresentam potencial comprovado apenas para a utilização na pecuária de leite e de corte. De modo que se encontra completamente desconhecido seu potencial exclusivo para produção de biomassa destinada à produção de energia. Em consequência, a avaliação e o conhecimento morfológico e fisiológico de genótipos promissores podem provocar uma elevação na produção de biomassa e um acréscimo deste produto à indústria ceramista e aos consumidores da região Norte Fluminense de modo geral.

Com esta perspectiva, projetos começaram a ser desenvolvidos na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), pelo Laboratório de Engenharia Agrícola (LEAG), com o objetivo de obter materiais com alta produtividade e qualidade superiores na produção de biomassa e consequentemente gerar maior desenvolvimento econômico da região Norte Fluminense.

Desse modo, com o intuito de gerar informações relevantes que possam colaborar com a implantação e solidificação de estudos e pesquisas com capim-elefante para produção de biomassa e carvão da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, este trabalho apresentou os seguintes objetivos: i) Avaliar e identificar genótipos de capim-elefante com elevada capacidade de produção, por meio de características morfoagronômicas e da qualidade da biomassa nas condições ambientais de Campos dos Goytacazes – RJ; ii) Avaliar o efeito de 5 ciclos de produção (8, 12, 16, 20 e 24 semanas) sobre o rendimento e qualidade de biomassa; e iii) Avaliar o processo de trocas gasosas, de genótipos de capim-elefante cultivados sob condições de campo em Campos dos Goytacazes - RJ.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Aspectos gerais do capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.)

Conhecido como capim-napier, capim-cameroon e capim-cana, o capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) é uma forrageira tropical amplamente difundida por todo o Brasil, e foi empregada, durante muitos anos por pecuaristas de todo o país visando à intensificação na produção de carne e leite. Porém, nos últimos anos, tal forrageira, vem despertando o interesse de grandes empresários do setor energético, devido à sua alta produtividade de biomassa quando comparada a outras fontes de energia (Urquiaga, 2004).

O capim-elefante é originário da África tropical, mais precisamente a oeste de Guiné, Quênia, Moçambique, incluindo Angola e Zimbábue. Foi identificado no ano de 1905 pelo Coronel Napier e sua introdução nas Américas foi inicialmente feita pelos Estados Unidos, em 1913, e a partir daí distribuído pela América Central, América do Sul, e introduzido no Brasil por volta de 1920, por meio de mudas provenientes de Cuba (Bennet, 1976).

Segundo Xavier et al. (1995), o capim-elefante pertence à família Poaceae, à subfamília Panicoideae, à tribo Paniceae, ao gênero *Pennisetum* e à espécie *Pennisetum purpureum*, Schum com aproximadamente 140 espécies distribuídas na faixa tropical. É um alotetraploide e apresenta número básico de cromossomos $2n=4x=28$, com comportamento diploide (Hanna, 1999).

Pereira (1994) propôs a divisão da variabilidade da espécie em cinco grupos distintos, que foram definidos em relação aos seguintes tipos básicos:

1) Grupo Cameroon - apresenta exemplares com touceiras densas, porte ereto, colmos grossos, predominância de perfilhos basais, folhas largas e florescimento tardio;

2) Grupo Napier - apresenta variedades com touceiras abertas, colmos grossos, folhas largas e época de florescimento intermediária;

3) Grupo Mercker - apresenta cultivares de menor porte, colmos finos, folhas finas (menores) e mais numerosas, e época de florescimento precoce;

4) Grupo Anão - suas principais características são o porte baixo (até 1,5 m de altura) e a sua elevada relação folha/caule; e

5) Grupo Híbridos interespecíficos – que em sua maioria apresentam florescimento precoce e esterilidade das sementes.

O capim-elefante desenvolve-se desde o nível do mar até locais com 2200 m de altitude e se adapta melhor em regiões quentes, com temperaturas que variam entre 18 a 30°C, e precipitação de 800 a 4000 mm.ano⁻¹ (Rodrigues *et al.* 1975).

É uma planta perene, de porte ereto, crescimento cespitoso, com altura média variando de 3,5 a 4,0 m e com touceiras de 20 a 200 perfilhos; suas raízes são grossas e rizomatosas; os colmos são cilíndricos e cheios; as folhas medem até 125 cm de comprimento por 4 cm de largura e apresentam coloração verde clara ou escura e em alguns casos até roxas; sua inflorescência é primária terminal do tipo panícula; e abundante lançamento de perfilhos aéreos e basais. É uma espécie protogínica, e alógama (Carvalho, 1985).

A propagação do capim-elefante é realizada basicamente de modo vegetativo com a retirada dos colmos e rizomas, garantindo, uma população mais uniforme de plantas, e preservando sua característica genética (Pereira, 1994).

Com relação à época de plantio, não há uma regra geral que determine a melhor época, porém, sugere-se que a implantação da cultura seja feita na estação chuvosa, ou com uso de irrigação. É recomendado preparar o solo três meses antes do plantio para receber as mudas que devem ser distribuídas com sobreposição de ponta e pé (Vilela *et al.*, 2002).

Ainda não se sabe ao certo quantas colheitas do capim-elefante destinado à produção de biomassa energética são realizadas, embora em climas temperados a norma seja uma colheita por ano, enquanto no Brasil, até agora, têm sido adotadas duas colheitas por ano (Mazzarella, 2008).

Cultivado em ambientes bem divergentes o capim-elefante está entre as espécies de alta eficiência fotossintética, característica típica de gramíneas tropicais de metabolismo C_4 , que crescem rapidamente, e otimizam eficientemente o uso da água, dos nutrientes do solo e da energia solar incidente, destacando-se como uma espécie de maior potencial de produção de biomassa vegetal com boa qualidade (Lemus et al., 2002).

Mazzarella (2008) relatou que ainda não se sabe ao certo qual é o limite de produtividade do capim-elefante para biomassa energética, porém alguns estudos mostraram que a produção de matéria seca (MS) pode variar entre 30 a 60 toneladas.ha⁻¹.

2.2. A biomassa energética do capim-elefante

A ameaça real de mudanças climáticas globais e da carência de energia protagonizada pelo fim da era dos combustíveis fósseis devido ao esgotamento das reservas de petróleo, carvão mineral e gás natural, abre-se a oportunidade para a exploração da energia renovável, especialmente, a produzida a partir da biomassa (EMBRAPA, 2008).

A energia da biomassa, segundo Vasconcelos (2002) nada mais é que a energia solar, convertida em energia química e armazenada através do metabolismo das plantas pela fotossíntese. Como vantagem da utilização da biomassa em substituição aos combustíveis fósseis pode-se citar a menor poluição atmosférica global e localizada; a estabilidade do ciclo de carbono; a redução do efeito estufa, além de ser considerada como fonte sustentável, renovável e limpa (Pascote, 2007).

A renovação na biomassa se dá através do chamado ciclo do carbono. A decomposição ou a queima da matéria orgânica ou de seus derivados provoca a liberação de CO_2 na atmosfera. As plantas, através da fotossíntese, transformam o CO_2 e água nos hidratos de carbono, que compõem sua massa viva, liberando oxigênio. Desta forma a utilização da biomassa, desde que não seja de maneira predatória, não altera a composição média da atmosfera ao longo do tempo (Carioca & Arora, 1984).

De acordo com Quesada (2005), nas próximas décadas, a biomassa deverá ser base da energia renovável e insumo para muitas indústrias, tornando-

se um objeto de estudo inegável em inúmeras instituições nacionais e internacionais de pesquisa da sociedade moderna.

Há cerca de 30 anos, a queima da biomassa do capim-elefante foi proposta como fonte alternativa para a produção de energia renovável em países como Inglaterra, Alemanha e Áustria, e desde então está presente no contexto mundial como uma forma energética de grande importância. Tanto na Europa, como no Brasil, algumas indústrias ceramistas, siderúrgicas e termoelétricas já utilizam o capim-elefante como fonte alternativa de energia (Mazzarella, 2008).

No Brasil, a queima da biomassa do capim-elefante foi proposta como alternativa para a produção de energia há aproximadamente 10 anos. O interesse energético por esta espécie despertou grandes consumidores e empresários do setor de energia principalmente por sua alta produtividade, rápido crescimento e por apresentar um alto potencial para uso não apenas como fonte de energia, mas também para a obtenção de carvão vegetal quando comparado a outras culturas tradicionais como, por exemplo, o eucalipto que produz uma média de 19 toneladas de matéria seca (MS) $\text{ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ (Osava, 2007).

Segundo Moraes et al. (2009), a produção média anual de biomassa de capim-elefante pode chegar a aproximadamente 60 toneladas de MS $\text{ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$. Estes mesmos autores em outro estudo relatam que para que esses resultados sejam alcançados, é importante que sejam utilizados genótipos eficientes e condições próximas das ideais para a cultura, que também pode apresentar outras características quantitativas importantes como: um alto percentual de fibra e lignina e alta relação C:N (Quesada, 2005).

Especialistas acreditam que a partir de 2020, a energia proveniente da biomassa do capim-elefante, movimentará grande volume de recursos das transações agrícolas internacionais. Este fato está relacionado, principalmente à queima da biomassa, que recicla no máximo o CO_2 que foi retirado da atmosfera pela fotossíntese, indicando que, em longo prazo, esta será a alternativa energética para contornar a dependência do petróleo que vive o planeta. Somando-se a isso, tem-se o fato de que, aderindo ao Protocolo de Kyoto, países que obtiverem energia através de mecanismos de desenvolvimento limpo (MDL), obterão créditos através da “venda” do carbono não emitido (Quesada, 2005). Além disso, deve-se destacar que o capim-elefante, por apresentar um sistema radicular bem desenvolvido, poderia contribuir de forma eficiente para aumentar o

conteúdo de matéria orgânica do solo, ou o sequestro de carbono no solo (Urquiaga et al., 2004).

2.3. Características morfoagronômicas e da qualidade da biomassa do capim-elefante para produção de biomassa energética

O manejo do capim-elefante utilizado para produção de energia deve ser distinto ao da utilização na nutrição animal. De acordo com Quesada (2004), não mais interessa uma planta rica em proteína, e sim uma planta rica em fibras, que apresente uma alta relação C:N, aliada ainda à alta produção e de biomassa e com intervalos de cortes maiores, para que os teores de fibra e seus componentes sejam os maiores possíveis.

A caracterização morfoagronômica e composição química são parâmetros importantes a serem analisados para saber a viabilidade de se produzir energia a partir de capim-elefante, e podem influenciar diretamente nas tomadas de decisões quanto à utilização para a combustão direta dessa gramínea.

Características como produção de matéria seca, número de perfilhos, altura da planta, diâmetro de colmo e largura da lâmina foliar fornecem informações importantes sobre a qualidade do material.

O número de perfilhos de uma cultivar de capim-elefante tende a aumentar com intervalos de corte mais prolongados. Isso ocorre porque com o avançar da idade ocorre a maturidade fisiológica das plantas, verificando-se aumento na espessura das paredes das células vegetais, e conseqüentemente um aumento no diâmetro do colmo, que proporciona às plantas a estabilidade estrutural (Veiga, 1997). De acordo com Ferraris (1979), a emissão de perfilhos basais está diretamente associada ao nível de biomassa e sob intervalos de cortes. A maior produtividade coincide com os maiores números de perfilhos por área e da altura da planta. Menores espaçamentos tendem a promover o aumento dos perfilhos sem, no entanto, aumentar seu número por planta (Bhatti et al., 1985).

Para se obter uma melhor resposta na avaliação da qualidade do capim-elefante, a estratégia é a utilização de análises bromatológicas. Essas análises fornecem informações sobre a composição química e qualidade da biomassa.

A qualidade do capim-elefante para produção de biomassa energética depende principalmente do aumento nos teores de matéria seca, teores de fibra (hemicelulose, celulose e lignina), relação carbono/nitrogênio e redução do teor de proteínas. Porém, esses constituintes podem ser variáveis, dentro de uma mesma espécie, de acordo com a fertilidade do solo, número de cortes, parte da planta, idade da planta, entre outros.

Van Soest (1994) relata que à medida que a idade da planta avança, estas sofrem mudanças em sua composição química, à medida que ocorre maturação fisiológica, principalmente em respostas a alterações climáticas sazonais. Santana et al. (1994), constataram que em países tropicais a maior produção de matéria seca coincide com a época chuvosa, principalmente durante o verão, onde os índices pluviométricos são maiores.

O intervalo de corte é fator importante para a variação da composição química da forragem. Andrade e Gomide (1971) verificaram redução de mais de 50% no teor de proteína bruta, com elevação pouco significativa no teor de carboidratos solúveis no capim-elefante cortado em intervalos de 56 e 84 dias.

Nos componentes da fração fibrosa, enquanto a variação do teor de celulose obedece à curva do intervalo de corte, a lignina parece que nem sempre segue esta mesma tendência, indicando que há outros fatores responsáveis pelo acúmulo de lignina nos tecidos vegetais, como temperatura e luminosidade (Van Soest, 1964).

Quesada (2005), em experimentos conduzidos em solos de baixa fertilidade obteve altas produtividades de biomassa de capim-elefante com teores de fibras próximos de 55% e 50% em colmos e folhas, respectivamente.

Queiroz Filho et al. (2000), estudando a qualidade do capim-elefante em diferentes idades de corte, encontraram valores percentuais de 48% para fibra (FDA), aos 100 dias de cultivo. Já Campos et al. (2002) encontraram valores percentuais de 41% para fibra (FDN), aos 105 dias, e de 37% e 5%, respectivamente para celulose e lignina. De acordo com Quesada (2005), estes resultados demonstram que a qualidade da biomassa é dependente do manejo a ser adotado na cultura, principalmente o intervalo entre cortes e também a disponibilidade de nutrientes.

2.4. Análise de regressão na produção de capim-elefante

Os modelos de análise de regressão são largamente utilizados em todas as áreas do conhecimento, e foi empregado pela primeira vez por Francis Galton no século XIX. Galton estava interessado em hereditariedade e queria entender por que uma população permanecia mais ou menos estável no transcorrer de algumas gerações (Hair et al., 2006).

A análise de regressão é uma técnica de modelagem que se ocupa do estudo da dependência de uma variável, a variável dependente, em relação a uma ou mais variáveis, as variáveis explicativas (ou independentes), com o objetivo de estimar e/ou prever a média ou o valor médio da dependente em termos dos valores conhecidos ou fixos (em amostragem repetida) das explicativas (Gujarati, 1996).

De acordo com Pearl (2000), a variável dependente é aquela medida ou registrada, ou seja, é a variável que o investigador pretende avaliar, e depende da variável independente. Já a variável independente é a que integra um conjunto de fatores e condições experimentais que são manipuladas e modificadas pelo investigador.

Segundo Montgomery et al. (2001), esse tipo de análise possui essencialmente quatro passos: 1) seleção das variáveis regressoras ou predictoras; 2) diagnóstico para verificar se o modelo ajustado é adequado; 3) aplicação de medidas remediadoras quando as condições do modelo não são satisfeitas; e 4) validação do mesmo.

Há vários métodos para se construir uma equação de regressão, sendo o Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) o mais utilizado. Este método, atribuído ao matemático alemão Carl Friedrich Gauss, tem algumas propriedades estatísticas que fizeram dele um dos mais poderosos e populares métodos para construir uma equação de regressão.

Este método (MMQ) baseia-se na obtenção de uma equação estimada de tal forma que as distâncias entre os pontos do diagrama e os pontos da curva (obtidos da equação), sejam os menores possíveis entre os valores observados da variável dependente Y e os valores estimados dessa variável, e escolhe a equação que fornece a melhor aproximação.

A reta de regressão obtida por este método passa pela média da amostra dos valores das variáveis, dependente e independente (X e Y), mostrando se elas realmente mantêm alguma relação, assim como se são positivamente ou negativamente correlacionadas e igualando a soma de seus desvios a zero. A soma dos quadrados das distâncias entre os pontos do diagrama e os respectivos pontos na curva da equação estimada é minimizada, obtendo-se, desta forma, uma relação funcional entre X e Y, para o modelo escolhido, com um mínimo de erro possível (Searle, 1971).

Quando a análise de regressão é utilizada para definir a relação funcional entre as variáveis, defronta-se com o problema para determinar a forma matemática que será ajustada. A priori essa determinação pode ser feita utilizando-se o conhecimento que se tem sobre os dados disponíveis. Frequentemente ajusta-se mais de um modelo e, com base nos resultados e testes estatísticos, escolhe-se aquele que melhor se ajusta e melhor representa o objeto de estudo (Regazzi, 1999).

Em modelos de regressão linear que incluem o termo constante, o coeficiente de determinação (R^2) representa a proporção da variação explicada pelo modelo, ou seja, é definido como o grau de ajuste da reta estimada ao conjunto de dados. Neste caso, o quadrado do coeficiente de correlação entre os valores observados e preditos é exatamente o R^2 . No caso do modelo de regressão não-linear a adequacidade do ajustamento pode ser medida pelo quadrado do coeficiente de correlação entre os valores observados e preditos (Montgomery et al., 2001).

A análise de regressão é uma técnica muito utilizada em modelos de delineamento aplicado às plantas forrageiras, em diversas linhas de pesquisas para avaliar pontos importantes como: crescimento, produção de MS, períodos de corte, entre outros.

Andrade & Gomide (1971), estudando o comportamento vegetativo do capim-elefante em quatro idades entre 28 a 112 dias, por meio de análises de regressão, demonstraram que o desenvolvimento da planta promovia incremento nos teores de massa seca, parede celular, celulose e lignina.

Machado et al. (1996), estudando o efeito do espaçamento de plantio na produção e qualidade de forragem capim-elefante cv. Três Rios verificaram um efeito quadrático para os espaçamentos entre linhas (0,25m), representado pela

equação $Y = 56899,92 - 106999,17 X + 645770,01 X^2$ ($r^2 = 0,98$) com uma produção de 34 t.ha^{-1} de massa seca.

Na avaliação do efeito da altura e intervalo de corte do capim-elefante anão, Acunha & Coelho (1997), averiguaram, que para a produção de matéria seca houve efeito quadrático significativo, expresso pela equação $Y = 13,8717 + 0,1105 X - 0,0004 X^2$, onde Y representa a porcentagem média de matéria seca e X, o intervalo de corte em dias ($r^2 = 0,53$) e que para porcentagem de proteína bruta a análise de regressão para os intervalos de corte, revelou efeito quadrático significativo sendo expresso pela seguinte equação: $Y = 16,1218 - 0,1471 X + 0,0005 X^2$, em que Y representa a porcentagem média de proteínas, e X o intervalo de cortes ($r^2 = 61\%$). Concluindo, por meio da análise de regressão que a altura de corte não tem efeito sobre a quantidade e qualidade da forragem produzida, porém o intervalo de corte resulta na melhor combinação entre produção de matéria seca e qualidade de forragem que é de 56 dias.

Utilizando a análise de regressão, em modelo linear simples ou polinomial até terceiro grau, com o objetivo de avaliar, em diversas idades da planta, a variabilidade para algumas características relacionadas com a qualidade forrageira das folhas, em cultivares de capim-elefante e híbridos de *P. purpureum* x *P. glaucum*, Pereira et al. (2000), verificaram uma elevada variação dos caracteres demonstrando a existência de uma significativa diferença para os indicadores de qualidade nutritiva entre cultivares; e que o híbrido interespecífico Mercker 23A apresentou elevado potencial para ser utilizado em programas de melhoramento, visando ao aumento da qualidade nutritiva.

Para avaliar a produção total de matéria seca, a relação folha/colmo, a porcentagem de folhas e de colmos e o valor nutritivo do capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) cultivar Roxo, submetido a quatro idades de corte, Filho et al. (2000), por meio de análises de regressão verificaram que a produção total de matéria seca aumentou com os intervalos de cortes (comportamento quadrático), atingindo produção de $30,9 \text{ t/ha}$ aos 100 dias.

Souza et al. (2003), avaliaram os efeitos de diferentes níveis de casca de café sobre a composição bromatológica e a digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) da silagem de capim-elefante e com base no coeficiente de determinação e na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste "t" de Student, a 1% de probabilidade, concluíram que a casca de café

mostrou-se eficiente em aumentar o teor de MS da silagem de capim-elefante contribuindo para a produção de silagens com maior disponibilidade de nitrogênio e menores teores de FDN quando comparado à silagem de capim sem casca.

Avaliando o efeito da variação na idade de corte do capim-elefante variedade Roxa sobre as suas características agrônômicas, como produtividade, altura, relação colmo: folha e diâmetro do colmo, Bhering et al. (2008), verificaram que na época seca, o aumento da idade de corte teve efeito quadrático ($P < 0,05$) em todas as variáveis analisadas, com exceção da altura da planta, que foi aumentado linearmente. Nas águas, o avanço na idade de corte afetou de forma linear as variáveis avaliadas, promovendo aumento da produção de matéria seca e altura das plantas e reduzindo a porcentagem de folhas e a relação folha/colmo.

Magalhães et al. (2009) avaliaram os efeitos de três doses de nitrogênio e cinco idades de corte sobre os teores de proteína bruta e fibra em detergente neutro do capim-elefante, e observaram que a análise de regressão indicou linearidade aos efeitos dos níveis de nitrogênio sobre os teores de proteína bruta da planta ($Y = 7,8667 + 0,0038x$ e $r^2 = 0,96$) do capim-elefante. Os teores de proteína bruta decresceram significativamente ($P < 0,05$) com a idade de corte. O efeito da idade das plantas sobre os teores de PB foi linear e negativo ($Y = 16,185 - 0,1467x$ e $r^2 = 0,86$). O maior teor foi registrado aos 28 dias (13,77%) e o menor aos 84 dias (4,75%). Esses resultados estão próximos aos relatados por Acunha e Coelho (1997).

Pinheiro (2008), estudando a sazonalidade da produção em clones intra e interespecíficos de capim-elefante verificou que os clones CNPGL 92-37-5 e CNPGL 91-11-2 se destacaram pelos seus altos valores, tanto de máximo (águas) quanto de mínimo (seca), além dos CNPGL 93-41-1 e CNPGL 96-27-3, sendo este último o mais estável (ausência de regressão).

2.5. Ecofisiologia do capim-elefante

Na cultura do capim-elefante, para Gomide (1973), o princípio básico da produção de biomassa é a transformação da energia solar em compostos orgânicos, via fotossíntese, para ser convertida em massa verde, inicialmente nas folhas. Paz & Matos (1985) descreveram que, nem toda a matéria seca produzida

pela planta está nas folhas, mas distribuída entre raízes, parte aérea e órgãos de armazenamento.

No capim-elefante o carbono é fixado por meio da formação de maior quantidade de malato e menor de aspartato. Esses dados foram confirmados por meio de avaliações bioquímicas que mostraram que a espécie produz predominantemente malato (Gutierrez et al, 1976).

O malato é transportado ao conjunto de células que circunda a bainha do feixe vascular, onde a enzima descarboxiladora predominante é a NADP-málica, que catalisa a formação de CO_2 , NADPH_2 e piruvato. A produção de NADPH_2 elimina a necessidade de sistemas de fotorredução, permitindo que este opere no ciclo de Calvin (Passos, 1999).

A fotossíntese é o processo metabólico mais estudado na cultura do capim-elefante (Passos, 1999). Entretanto, segundo Silva et al. (2001), as informações varietais sobre a fotossíntese e características relacionadas são escassas para o capim-elefante, o que torna imprescindível a sua análise, tendo como referência a variabilidade dos materiais genéticos de bancos de germoplasma.

O potencial produtivo do capim-elefante é determinado pela luz, que age no controle do desenvolvimento das plantas, interferindo em seu crescimento por meio do processo fotossintético e na sua diferenciação durante a morfogênese (Jaques, 1990). Souza et al. (1999), relatam que em geral, a baixa intensidade de luz resulta na diminuição na taxa de fotossíntese, na biomassa e na produção, podendo ainda afetar o transporte de fotoassimilados e a relação fonte/dreno em algumas espécies, incluindo o capim-elefante.

A radiação solar é o fator desencadeador da fotossíntese, pois constitui a fonte de energia a ser convertida em biomassa. Porém, os passos bioquímicos dependem também da temperatura, que influencia, por exemplo, na atividade das enzimas e no transporte de compostos fotoassimilados (Corsi, 1976). É evidente e bem reconhecido o efeito da temperatura sobre o crescimento e sobre o desenvolvimento de diversas culturas. E de modo geral este fator parece ser o mais importante (Lemaire & Agnusdei, 2000).

Passos (1999) verificou que, em plantas de capim-elefante, à medida que a intensidade luminosa é reduzida, as curvas de respostas fotossintéticas à temperatura tornam-se menores. Este dado revela que as intensidades luminosas

necessárias para saturar a fotossíntese sob temperaturas baixas são menores que aquelas requeridas sob altas temperaturas e reduções na intensidade luminosa terão pouco efeito na taxa fotossintética, a não ser que a intensidade luminosa em si se torne muito reduzida e, portanto, limitante. De acordo com Kerbauy (2008), a fotossíntese em plantas C_4 apresenta bastante eficiência em ambientes quentes e intensamente iluminados, devido à adaptação do mecanismo concentrador de CO_2 presente nestas plantas.

A necessidade de água varia entre as espécies, e de acordo com as condições climáticas e edáficas de uma determinada região. Segundo Pedreira et al (1998), a radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do vento são fatores que afetam a perda de água pela planta.

A produção de carboidratos solúveis pela fotossíntese e a translocação desses carboidratos na planta sob estresse hídrico estão na dependência, da abertura e fechamento dos estômatos e da atividade dos drenos metabólicos (Nascimento Júnior, 1986). E na maior parte das áreas tropicais, o déficit hídrico é o fator mais importante na determinação do crescimento e da produtividade das forrageiras (Suárez et al., 1986).

O estresse hídrico causa severa inibição no processo fotossintético pelos efeitos estomáticos e não-estomáticos. O efeito estomático é um evento primário, contribui notavelmente para reduzir as perdas de água durante limitada disponibilidade e, ou, alta demanda evaporativa, o que leva à menor disponibilidade de CO_2 nos espaços intercelulares, reduzindo a sua assimilação nos cloroplastos (Faria et al., 1996). Já o efeito não estomático está relacionado às alterações nos processos fotoquímicos como a redução no transporte de elétrons, afetando a formação de ATP e NADPH, e nos processos bioquímicos com a redução na eficiência carboxilativa ou na quantidade e atividade da rubisco e de outras enzimas do metabolismo fotossintético (Taiz & Zeiger, 2010).

Plantas submetidas ao estresse hídrico severo frequentemente apresentam marcante efeito fotoinibitório, caracterizado por decréscimo significativo do rendimento quântico. Nesse caso, o déficit hídrico, em combinação com altos níveis de irradiância, pode causar significativa redução na eficiência da fotossíntese (Ort, 1988).

A água não pode ser considerada exatamente como uma fonte para o crescimento da planta, mas como um meio de dissipar o excesso de energia solar

recebido pelas folhas para evitar o excesso de temperatura e dessecação do tecido da planta (Smith, 1975). De maneira geral, todos os aspectos ligados ao crescimento da planta são afetados pelo estresse hídrico (Kramer, 1983).

A disponibilidade de CO_2 para a fotossíntese depende de sua difusão da atmosfera para o interior dos espaços aéreos do mesófilo foliar. Na presença de quantidades adequadas de luz, altas concentrações de CO_2 atmosférico favorecem elevadas taxas fotossintéticas; todavia, baixas concentrações de CO_2 , promovem quedas substanciais na fotossíntese (Kerbaudy, 2008).

Esse comportamento pode ser explicado pelo fechamento dos estômatos, que diminui a disponibilidade de CO_2 ou a baixa capacidade de redução de CO_2 pela rubisco (Loomis & Amthor, 1999).

À medida que a fotossíntese se desenvolve, o CO_2 consumido da atmosfera intrafoliar é repostado pelo CO_2 atmosférico por difusão. No entanto, quando as plantas começam a perder mais água do que podem absorver, tendem a diminuir o grau de abertura dos estômatos, para reduzir a perda de água e manter seu equilíbrio hídrico (Kerbaudy, 2008).

O capim-elefante apresenta taxas de fotossíntese líquida bastante elevadas em altas irradiâncias, em contraste com outras plantas da família Poaceae, com grande capacidade de conversão da energia solar em energia química. É altamente eficiente na fixação de CO_2 (gás carbônico) atmosférico durante o processo de fotossíntese para a produção de biomassa vegetal (Gutierrez et al., 1976).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acunha, J. B. V., Coelho, R. W. 1997. Efeito da altura e intervalo de corte do capim-elefante anão. I. Produção e qualidade da forragem. Pesquisa Agropecuária Brasileira. 32(1): 117-22.

Agência Nacional de Energia Elétrica - Atlas de energia elétrica do Brasil. Brasília: ANEEL, 2002.

Alexandre, J.; Alves, M.G.; Ramos, I.S.; Xavier, G.C. Panorama do Pólo Cerâmico e do Município de Campos dos Goytacazes – RJ. Campos dos Goytacazes, 2007. CD-ROM.

Andrade, I.F., Gomide, J.A. 1971. Curva de crescimento e valor nutritivo de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) Taiwan A-146. Revista Ceres, (18):431-47.

Bhatti, M.B.; Mohammad, D.; Sartaj, Sultani, M.I. (1985) Effect of different interand intra-row spacings on forage yield and quality in elephant grass. Pakistan Journal of Agriculture Research, Karachi, v.6, p.107-112.

Bennet, H. W. (1976) Pasto Johnson, pasto alfombra y otras gramíneas para el sur humedo de los Estados Unidos. In: Hugues, H.D.; Heath, M.E.; Metcalfe, D.S., eds. Forrajes. México, C.E.C.S.A., Cap. 29. p.321-34.

- Campos, F. B.; Lanna, D. P. D.; Bose, M. L. V.; Boin, C.; Sarmento, P. Degrabilidade do capim-elefante em diferentes estágios de maturidade avaliada pelo método in vitro/gás, *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v. 59, n. 2, p 217-225, 2002.
- Carioca, J. O. B. & Arora, H. L. (1984) - Biomassa: Fundamentos e Aplicações Tecnológicas. UFC, Fortaleza.
- Carvalho, A.C. *Pennisetum purpureum*, Schumacher; revisão. Coronel Pacheco: EMBRAPA-CNPGL, MG. 86p. 1985. (Embrapa-CNPGL. Boletim,10).
- Corsi, M. Espécies forrageiras para pastagens. In: Simpósio sobre o manejo de pastagens, 3. Piracicaba, 1976. Piracicaba, SP: ESALQ, USP, 1976. p. 5-36.
- Embrapa Agroenergia. Focando em soluções: da biomassa à energia. Plano Diretor Da Embrapa Agroenergia Brasília, DF. 2008.
- Faria, T.; Garcia-Plazaola, J. I.; Abadia, A.; Cerasoli, S.; Pereira, J. S.; Chaves, M. M. Diurnal changes in photoprotective mechanisms in leaves of cork oak (*Quercus suber*) during summer. *Tree Physiology*, v. 16, p. 115-123, 1996.
- Filho, J. L.; Silva, D. S. da.; Nascimento, I. S. de. Produção de matéria seca e qualidade do capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) cultivar Roxo em diferentes idades de cortes. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v.29, n.1, p 69-74, 2000.
- Ferraris, R. (1979) Agronomic studies on elephant grass as agro-industrial crop. In: Australian Division of Chemical Technology Research Review 1978-1979. Melbourne: CSIRO. P. 10-22.
- Gomide, J.A. 1973. Fisiologia e manejo de plantas forrageiras. *Revista Sociedade Brasileira de Zootecnia*, 2(1): 17-26.
- Gujarati, D. N., *Econometria Básica*. São Paulo: Pearson, quarta edição, 2006.

- Gutierrez, M., Edwards, G.E., Brown, W.V. 1976. PEPcarboxilase containing species in the *Brachiaria* group of the family *Panicoidae*. Biochem. Systems Ecology.
- Hair, Jr. J. F; Black, W. C; Babin, B. J. Multivariate Data Analysis. Pearson Prentice Hall, New Jersey, 6th edition, 2006, 899p.
- Hanna, W. W. Melhoramento do capim-elefante. In: Passos, L. P. et al. (Ed.). A.V., eds. Biologia e Manejo do Capim-Elefante. Juiz de Fora: Embrapa -CNPGL. p. 19-27, 1999.
- Jacques, A.V.A. Fisiologia do crescimento do capim-elefante. In: Anais Simpósio de capim elefante, Juiz de Fora, Coronel Pacheco, MG, EMBRAPA-CNPGL, p.23-34, 1990.
- Kerbauy, G. B. Fisiologia Vegetal. Editora Guanabara, Rio de Janeiro, 2008.
- Kramer, P.J. 1983. *Water relations of plants*. New York: Academic Press. 489p.
- Lemaire, G., Agnusdel, M. 2000. Leaf tissue turn-over and efficiency of herbage utilization. In: Lemaire, G., Hodgson, J., Moraes, A., et al. (Eds.). Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology. CAB International. p.265-288.
- Lemus, R.; Brummer, E. C.; Moore, K. J.; Molstod, . E.; Burras, C.L.; Barker, M. F. Biomass yield and quality of 20 switchgrass populations in southern Iowa, USA: Biomass and Bionergy, v.23, p.433-442, 2002.
- Loomis, R.S.; Amthor, J.S. YieldvPotential, Plant Assimilatory Capacity, and Metabolic Efficiencies. Crop Science, v.39, p.1584–1596, 1999.
- Lopes, M. V. F. (2008) Estudo da viabilidade agrônômica de produção da gramínea capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) no Município de Campos dos Goytacazes/RJ para fins energéticos. Monografia (Graduação

em Engenharia de Produção) - Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Cândido Mendes - 26p.

Magalhães, J. A.; Rodrigues, B. H. N.; Carneiro, M. S. S.; Andrade, A. C. Influencia da adubação nitrogenada e idade de corte sobre os teores de proteína bruta e fibra em detergente neutro de três cultivares de capim-elefante. REDVET. Revista eletrônica de Veterinária. ISSN: 1695-7504 Vol. 10, n. 4. 2009

Machado, A. N.; Siewerdt, L.; Silveira Júnior, P.; Siewerdt, F. Efeito do espaçamento de plantio na produção e qualidade de forragem capim-elefante cv. Três Rios. Revista Brasileira de Agrociência, v.2, nº 1, 57-62, 1996.

Mazarrella, V. (2008) Capim-elefante: A energia renovável moderna. Documento publicado em www.capim-elefante.org.br. Acesso em 09/11/2011.

Montgomery, D. C., Peck, E. A. & Vining, G. G. (2001), Introduction to Linear Regression Analysis, Wiley Series in Probability and Statistics: Texts, References, and Pocketbooks Section, third edn, Wiley-Interscience, New York.

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

Nascimento Júnior, D. do. Leguminosas - Espécies Disponíveis, Fixação de Nitrogênio e Problemas Fisiológicos para o Manejo de Consorciação. In: Anais do 8º Simpósio sobre o Manejo de Pastagem. FEALQ. p. 390-411, 1986.

- Ort, D.R., Baker, N.R. Consideration of photosynthetic efficiency at low light as a major determinant of crop photosynthetic performance. *Plant Physiology and Biochemistry*, 26:555-65, 1988.
- Osava, M. (2007) Capim elefante, novo campeão em biomassa no Brasil. Agrosoft Brasil. Disponível em: www.agrosoft.org.br/?q=node/26484. Acessado em: 27/04/2008
- Pascote, R. Viabilidade da introdução do biodiesel na matriz energética brasileira. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção) – Programa de Engenharia de Produção, Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara d'Oeste, 2007.
- Paz, L.G., Matos, M.M.V.L. 1985. A fotossíntese e a produtividade das forrageiras. In: Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 1985, v.8, n.10, p.103-20.
- Passos, L.P. 1999. Fisiologia do capim-elefante: uma revisão analítica. In: Passos, L.P., Carvalho, L.A., Martins, C.E. et al. (Eds.) *Biologia e manejo do capim-elefante*. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite. p.29-62.
- Pedreira, C.G.S.; Nussio, L.G.; Silva, S,C, da. Condições Edafo-climáticas para Produção de *Cynodon* spp. In: Anais do 15º Simpósio sobre Manejo da Pastagem. FEALQ. p. 85-113, 1998.
- Pereira, A. V. 1994. Germoplasma e diversidade genética do capim-elefante. In: Simpósio sobre Capim-Elefante, 2., Juiz de Fora. Anais Coronel Pacheco: EMBRAPA-CNPGL, 1994. p. 1-11.
- Pereira, A. V.; Machado, M. A.; Azevedo, A. L. S.; Nascimento, C. S.; Campos, A. L.; Ledo, F. J. S. (2008) Diversidade genética entre acessos de capim-elefante obtida com marcadores moleculares. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.37, n.7, p.1216-1221.

- Pearl, J. Causality: Models, Reasoning, and Inference. Cambridge University Press: Cambridge, 2000.
- Pereira, A.V.; Ferreira, R. P.; Passos, L. P. et al. Variação da qualidade de folhas em cultivares de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*) e híbridos de capim-elefante x milheto (*P. purpureum* x *P. glaucum*), em função da idade da planta. Ciência e Agrotecnologia, v.24, n.2, p.490-499, 2000.
- Pinheiro, L. S. (2008) Regressão polinomial conjunta na avaliação da sazonalidade da produção forrageira em clones intra interespecíficos de capim-elefante. Campos dos Goytacazes, RJ. Dissertação (Mestrado) 53p
- Queiroz Filho, J.L.; Silva, D.S.; Nascimento, I.S. Produção de matéria seca e qualidade do capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) cultivar roxo em diferentes idades de corte. Rev. Bras. Zootec., v.29, p.69-74, 2000.
- Quesada, D. M.; Boddey, R. M.; Reis, V.M.; Urquiaga, S. (2004) Parâmetros qualitativos de genótipos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) estudados para a produção de energia através da biomassa. Circular Técnica 8, Seropédica, RJ.
- Quesada, D. B. (2005) Parâmetros quantitativos e qualitativos de diferentes genótipos de capim-elefante com potencial para uso energético. Tese (Doutorado em Agronomia) - Seropédica – RJ, Universidade Federal Rural do rio de Janeiro - UFRRJ, 76p.
- Regazzi, A. J. Teste para verificar a identidade de modelos de regressão e a igualdade de parâmetros no caso de dados de delineamentos experimentais. Rev. Ceres, Viçosa, v.46, n.266, p.383-409, 1999.
- Rodrigues, L. R. de A.; Pedreira, J. V. S.; Mattos, H. B. de. Adaptação ecológica de algumas plantas forrageiras. Zootecnia, Nova Odesa, V.13, n. 4, p. 201-218, 1975.

- Searle, S. R. (1971) Linear models. New York: John Wiley & Sons, 513p.
- Silva, M. M. P.; Vasquez, H. M.; Bressan-Smith, R. E.; Silva, J. F. C.; Erbesdobler, E. D. Diferenças Varietais nas Características Fotossintéticas de *Pennisetum purpureum* Schum. Revista Sociedade Brasileira de Zootecnia, 30(6S): 1975-1983, 2001.
- Souza, A. L.; Bernardino, F. S.; Garcia, R.; Pereira, O. G.; Rocha, F. C.; Pires, A. J. V. Valor nutritivo de silagem de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) com diferentes níveis de casca de café. Revista Brasileira de Zootecnia, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 828-833, 2003.
- Souza, J.R.P; Meh,I H.O; Rodrigues, J. D; Pedras, J. F. 1999. Sombreamento e o desenvolvimento e produção de rabanete. Scientia Agricola 56: 1-9.
- Suárez, J.J., Herrera, J., Herrera, R.S. 1986. Riego. In: Sistachs, M. (Ed.) Los Pastos en Cuba - Producción. 2.ed. Havana: Edica, v.1, p.417-468.
- Smith, D. Forage Management in the North. Dubuque, Iowa, Kendall Hunt Pubs, 1975
- Taiz, L.; Zeiger, E. Fisiologia Vegetal. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.
- Van Soest, P.J. 1964. Symposium on nutrition and forage and pasture new chemical procedures for evaluating forages. J. Anim. Sci., 23(3):838-845.
- Vasconcellos, G. F. Biomassa: eterna energia do futuro. São Paulo. Ed.: SENAC, 2002. 142 pg.
- Veiga, J.B. (1997) Utilização do capim-elefante sob pastejo In: Capim-elefante produção e utilização (Eds. Carvalho, M. M., Alvim, M. J., Xavier, D. F., Carvalho, L. de A.) 2 ed, ver. Brasília: EMBRAPA-SPI/ Juiz de Fora: Embrapa-CNPGL.

Vilela, H., Vilela, D., Barbosa, F.A., Benedetti, E. 2002. Irrigação do Capim Elefante. Anais da XXXIX Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. Julho de 2002. URPE-Recife/PE, CD, 2002.

Urquiaga, S.; Alves, B.; Boddey, R. M. (2004) Capim Elefante: Uma nova fonte alternativa de energia. Ambiente Brasil. Disponível em www.ambientebrasil.com.br. Acesso em 25/04/2008.

Xavier, D.F.; Botrel, M. de A.; Daher, R.F.; Gomes, F.T.; Pereira, A.V. Caracterização morfológica e agrônômica de algumas cultivares de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum.). Coronel Pacheco: EMBRAPA-CNPGL, 1995. 24p. (EMBRAPA-CNPGL. Documentos, 60).

CAPÍTULO 1 – POTENCIAL PRODUTIVO DO CAPIM-ELEFANTE (*Pennisetum purpureum* Schum) COMO FONTE ALTERNATIVA DE ENERGIA EM CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ.

RESUMO

BARBÉ, TATIANE DA COSTA. D.S. - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Junho de 2012. POTENCIAL PRODUTIVO DO CAPIM-ELEFANTE (*Pennisetum purpureum* Schum.) COMO FONTE ALTERNATIVA DE ENERGIA EM CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ. Orientador: Prof. Rogério Figueiredo Daher.

O capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) é uma gramínea tropical de origem africana capaz de se adaptar às condições edafoclimáticas de quase todo país. Por possuir constituição morfológica muito parecida com a de cana-de-açúcar, que já é utilizada com sucesso na produção de energia, o capim-elefante vem despertando a cada dia o interesse empresarial no setor energético, por sua alta produtividade e rápido crescimento. Devido a este potencial de desenvolvimento, e a necessidade de se entender melhor esse processo de produção, objetivou-se com esse trabalho identificar genótipos de capim-elefante com elevada capacidade de produção de biomassa energética, por meio de características morfoagronômicas e da qualidade da biomassa nas condições ambientais de Campos dos Goytacazes – RJ. Para este estudo foram avaliadas as seguintes características: Número de perfilhos por metro linear (NPM); altura média das plantas (ALT); diâmetro médio do colmo (DC); largura da lâmina foliar

(LL); produção de matéria seca da planta, em $t\cdot ha^{-1}$ (PMS); percentagem de matéria seca da planta integral (%MS); percentagem de nitrogênio total (%NT); percentagem de proteína bruta (%PB); percentagem de cinzas (%CIN); percentagem de fibra em detergente neutro (%FDN); percentagem de fibra em detergente ácido (%FDA); percentagem de hemicelulose (%HEMI); percentagem de celulose (%CEL); percentagem de lignina (%LIG); percentagem de carbono (%C); percentagem de nitrogênio (%N); e relação carbono/nitrogênio (C:N). Nos cinco ciclos de produção foram observadas diferenças significativas para a variável PMS. O 4º e 5º ciclos de produção (20 e 24 semanas de idade) foram os que apresentaram melhor desempenho para a produção de biomassa energética de capim-elefante (PMS), com médias de 20,50 e 23,77 $t\cdot ha^{-1}$. Os genótipos que mais se destacaram durante o período de avaliação nos cinco ciclos de produção foram os genótipos King Grass, Mole de Volta Grande e Mercker 86 – México. E os genótipos, Mole de Volta Grande e King Grass, podem ser indicados para programas de melhoramento genético do capim-elefante pra produção de biomassa energética.

ABSTRACT

BARBÉ, TATIANE DA COSTA. D.S. - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. June, 2012. PRODUCTIVE POTENTIAL OF ELEPHANT GRASS (*Pennisetum purpureum* Schum.) AS ALTERNATIVE SOURCE OF ENERGY IN CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ. Advisor: Rogério Figueiredo Daher.

The Napier grass (*Pennisetum purpureum* Schum.) is a tropical grass of African origin capable to adapt to almost any soil and climatic conditions of the country. By owning morphological constitution very similar to the sugar cane, which is already successfully used in the production of energy, elephant grass has aroused every day the business interest in the energy sector for its high productivity and rapid growth. Because of this potential development and the need to understand better the production process, the aim of this work was to identify genotypes with high Napier grass production capacity of biomass energy through morfoagronomic characteristics and quality of biomass in environmental conditions of Campos Goytacazes – RJ. For this study we evaluated the following characteristics: number of tillers per meter (NPM), plant average height (ALT), stem diameter (DC), width of leaf lamina (LL), dry matter production of the plant, t.ha in-1 (SMP); percentage of dry matter of the whole plant (% DM) percentage of total nitrogen (% TN); percentage of crude protein (CP%), ash percentage (% CIN); percentage neutral detergent fiber (NDF%); percentage of acid detergent fiber (ADF%) percentage of hemicellulose (HEMI%); percentage of cellulose (CEL%); lignin percentage (% LIG); proportion of carbon (% C); percentage of nitrogen (% N) and carbon / nitrogen (C: N). In the five production cycles were observed

significant differences for the variable PMS. The 4th and 5th production cycles (20 and 24 weeks of age) presented the best performance for the production of biomass energy elephant grass (PMS), with averages of 20.50 and 23.77 t ha⁻¹. The genotypes that stood out during the evaluation period in the five production cycles were genotypes King Grass, Mole Volta de Grande and Mercker 86 - Mexico. E genotypes, Mole de Volta Grande and King Grass can be given to Napier grass breeding programs for the production of biomass energy.

1. INTRODUÇÃO

Muitos países dependem de fontes de energia oriundas principalmente de combustíveis fósseis, como petróleo e seus derivados para atender as suas necessidades energéticas (IPT, 1992). Entretanto, nas últimas décadas o uso excessivo destes recursos aliado a outros fatores vem causando naturalmente grandes impactos na humanidade e principalmente ao meio ambiente. Fato este que vem levando muitos países a buscarem alternativas tanto em nível social, tecnológico, econômico e ambiental ao uso desses combustíveis.

A produção de material energético oriundo da biomassa vegetal é especialmente importante em países tropicais como o Brasil, onde há regime de chuvas abundante, temperaturas elevadas e pela disponibilidade de energia luminosa, e somado a isso o fato de que a queima de biomassa, recicla o CO₂ retirado da atmosfera pela fotossíntese, ao contrário da queima de combustível fóssil (Quesada, 2005).

No Brasil, grande parte da biomassa vegetal energética é produzida comercialmente como lenha, que é transformada em carvão vegetal e é usada na siderurgia e em outros setores, como a cana-de-açúcar que é usada na produção de álcool combustível, energia produzida por meio da queima do bagaço.

Há poucos anos a queima da biomassa do capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) foi proposta como uma alternativa para a produção de energia. O interesse energético por esta espécie despertou grandes consumidores e empresários de energia por sua alta produtividade, rápido crescimento vegetal e principalmente por apresentar um alto potencial como fonte

de energia, quando comparado a outras culturas tradicionais como, por exemplo, o eucalipto (Osava, 2007).

Neste sentido, esta etapa do trabalho, teve como objetivo avaliar e identificar genótipos de capim-elefante com elevada capacidade de produção de biomassa energética, por meio de características morfoagronômicas e da qualidade da biomassa nas condições ambientais de Campos dos Goytacazes – RJ.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Condições de cultivo e delineamento experimental

O experimento foi implantado em 26 de abril de 2010, no Centro Estadual de Pesquisas em Agroenergia e Aproveitamento de Resíduos, no Município de Campos dos Goytacazes, Norte do Estado do Rio de Janeiro. Foram selecionados e avaliados seis genótipos de capim-elefante mais produtivos e de melhor qualidade da biomassa de acordo com os resultados obtidos por Rossi (2010) e que estão representados na Tabela 01.

O plantio foi realizado em fileiras simples, por meio de pedaços de colmos na disposição “pé com ponta” que foram distribuídos em sulcos de 10 cm de profundidade.

A adubação de plantio foi realizada com 20 Kg.ha⁻¹ de superfosfato simples de acordo com a análise de solo, realizada no Centro de Análises da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) - Campus Dr. Leonel. A irrigação por aspersão foi oferecida apenas durante a emergência das plantas duas vezes ao dia durante trinta dias. Após 60 dias de plantio, complementou-se a adubação com 3 Kg.ha⁻¹ de sulfato de amônio e 1 Kg.ha⁻¹ de cloreto de potássio.

O delineamento estatístico experimental utilizado foi o de blocos casualizados com três repetições no modelo de parcelas subdivididas compostos de 2 fatores: Parcelas = Genótipos e Subparcela = Número de cortes ou ciclo de produção. Cada parcela foi composta por uma linha de 15 metros espaçada de

um metro e cada subparcela composta por três metros cada, onde foram considerados apenas dois metros centrais da linha para avaliação, desprezando-se meio metro nas extremidades de cada linha.

Após a fase de estabelecimento da cultura no campo, foi realizado o primeiro corte de uniformização em 05/08/2010, seguida de uma adubação em cobertura com 3 Kg.ha⁻¹ de sulfato de amônio e 1 Kg.ha⁻¹ de cloreto de potássio. O replantio de mudas e adubação em cobertura para recomposição das parcelas foi realizado em 31/10/2010, após esse processo e o restabelecimento da cultura no campo foi realizado um segundo corte de uniformização em 10 de dezembro de 2010. A partir dessa data, os cortes foram realizados em parcelas escolhidas aleatoriamente, com 8, 12, 16, 20 e 24 semanas de idade respectivamente (Tabela 2), quando foi dado início as avaliações.

Tabela 01. Identificação, origem e produção de matéria seca (PMS) dos genótipos de capim-elefante avaliados em Campos dos Goytacazes, RJ.

| Genótipo | Origem | PMS (t.ha ⁻¹) |
|----------------------|--------------|---------------------------|
| Mercker 86 - México | Colômbia | 56.57 |
| P - 241 - Piracicaba | ESALQ | 42.96 |
| Cubano de Pinda | UFRRJ | 37.34 |
| King Grass | Cuba | 24.78 |
| Mole de Volta Grande | Volta Grande | 24.11 |
| Pusa Napier nº 1 | UFRRJ | 22.96 |

Tabela 02. Datas de corte para avaliação da produção e da qualidade da biomassa em Campos dos Goytacazes, RJ.

| Ciclos de produção | Idade (semanas) | Data do corte |
|--------------------|-----------------|---------------|
| 1º Corte | 8 semanas | 02/02/2011 |
| 2º Corte | 12 semanas | 02/03/2011 |
| 3º Corte | 16 semanas | 05/04/2011 |
| 4º Corte | 20 semanas | 26/04/2011 |
| 5º Corte | 24 semanas | 23/05/2011 |

2.2. Características avaliadas

As características avaliadas foram divididas em morfoagronômicas e da qualidade da biomassa e foram realizadas para cada época de corte.

Foram avaliadas, momentos antes do corte, as seguintes características: Número de perfilhos por metro linear (NPM), obtido pela contagem do número de perfilhos com altura superior a 70 cm contidos na área útil da parcela; altura média das plantas (ALT), expresso em m, medido com régua graduada; diâmetro médio do colmo (DC), expresso em mm, medido a 10 cm do nível do solo através do uso de paquímetro digital; largura média da lâmina foliar (LL), expresso em cm, medido com régua graduada no centro da lâmina foliar.

Após o corte as plantas foram divididas em amostras retiradas aleatoriamente de plantas integrais provenientes do campo. Antes de serem analisadas e avaliadas em laboratório, essas amostras foram secas a uma temperatura de 60°C sob circulação de ar por 48 horas. Após a secagem, as amostras foram moídas (1 mm) em moinho tipo Wiley e acondicionadas em frascos de vidro.

A primeira etapa da avaliação foi realizada no Laboratório de Zootecnia e Nutrição Animal da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (LZNA/UENF), onde foram realizadas as seguintes determinações: Produção de matéria seca da planta, em $t \cdot ha^{-1}$ (PMS), estimada pelo produto da produção de matéria verde da planta integral, pela percentagem de matéria seca da planta integral, sendo o valor obtido convertido para $t \cdot ha^{-1}$; percentagem de matéria seca da planta integral (%MS) - realizada de acordo com a metodologia descrita por Silva e Queiroz (2002); percentagem de nitrogênio total (%NT) e percentagem de proteína bruta (%PB), realizados conforme proposto por Van Soest descrito por Silva e Queiroz (2002).

A segunda etapa de avaliação foi realizada no Laboratório de Análise de Alimentos da Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora - MG, pelo método da refletância no infravermelho proximal (NIRS) em um espectrômetro Perstorp analytical, Silver Spring, MD, modelo 5000, acoplado a um microcomputador equipado com software ISI versão 4.1 (Infrasoft International, University, Park, PA). A leitura foi realizada utilizando-se os comprimentos de onda de 1100 a 2500 nanômetros. Por esta metodologia foram analisadas as seguintes características: Percentagem de cinzas (%CIN); Percentagem de fibra em detergente neutro

(%FDN); Percentagem de fibra em detergente ácido (%FDA); Percentagem de hemicelulose (%HEMI); Percentagem de celulose (%CEL); Percentagem de lignina (%LIG).

A terceira e última etapa das análises laboratoriais, foi realizada em autoanalisador CHNS/O Perkin Elmer (14.800) no Núcleo de Desenvolvimento de Insumos Biológicos para a Agricultura da UENF (NUDIBA/UENF), onde foram obtidas as seguintes características: Percentagem de carbono (%C); percentagem de nitrogênio (%N); e a relação carbono/nitrogênio (C:N).

2.3. Análise estatística dos dados

As análises estatísticas dos dados foram realizadas com o auxílio do Aplicativo computacional em Genética e Estatística - Programa Genes (Cruz, 2006) da Universidade Federal de Viçosa.

2.3.1. Análise de variância por ciclo de produção

Inicialmente foi realizada, uma análise de variância (Tabela 3) com base na média das parcelas para cada uma das características avaliadas descritas anteriormente em cada um dos cortes realizados (8, 12, 16, 20 e 24 semanas), considerando-se como fixos todos os efeitos, exceto bloco e erro experimental. E para tal finalidade foi utilizado o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ij} = \mu + G_i + B_j + \varepsilon_{ij}$$

em que:

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

μ = média geral;

G_i = efeito fixo do i-ésimo genótipo;

B_j = efeito do j-ésimo bloco;

e ε_{ij} = erro experimental.

Tabela 03 - Esquema da análise de variância individual, com os respectivos quadrados médios.

| FV | GL | QM | F |
|-----------|-----------------|-----|---------|
| Blocos | (r - 1) | QMB | |
| Genótipos | (g - 1) | QMG | QMG/QMR |
| Resíduo | (r - 1) (g - 1) | QMR | |

2.3.2. Análise de variância conjunta

A análise de variância conjunta (Tabela 4) para as variáveis em estudo foi realizada conforme o modelo estatístico de parcelas subdivididas citado por Steel et al. (1997), conforme descrito a seguir:

$$Y_{ijk} = \mu + B_k + G_i + \varepsilon_{ik} + C_j + \varepsilon_{jk} + GC_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

em que:

μ = média geral;

B_k = efeito do k-ésimo bloco;

G_i = efeito do i-ésimo genótipo – efeito fixo;

ε_{ik} = erro aleatório associado à interação bloco com genótipo;

C_j = efeito do j-ésimo corte – efeito fixo;

ε_{jk} = erro aleatório associado à interação bloco com corte;

GC_{ij} = efeito da interação do i-ésimo genótipo com o j-ésimo corte – efeito fixo;

ε_{ijk} = erro aleatório associado à interação genótipo x corte x bloco.

Tabela 4. Esquema da análise de variância conjunta para as variáveis, com os respectivos quadrados médios.

| FV | GL | QM | F |
|----------|---------------|-----------|----------------|
| Bloco | b-1 | QMB | |
| Genótipo | g-1 | QMG | QMG/QMRes (a) |
| Erro A | (bg)-1 | QMRes(a) | |
| Corte | c-1 | QMC | QMC/QMRes (b) |
| Erro B | (bc)-1 | QMRes (b) | |
| G x C | (g-1) (c-1) | QMGC | QMGC/QMRes (c) |
| Erro C | B (g-1) (c-1) | QMRes(c) | |

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Quadro 1 encontram-se os dados meteorológicos referentes a precipitação pluviométrica mensal, temperatura e umidade relativa do ar registradas no período de dezembro de 2010 a maio de 2011 em Campos dos Goytacazes – RJ.

De acordo com Rodrigues et al. (1975), o capim-elefante desenvolve-se bem em locais onde a precipitação varia de 800 a 4000 mm.ano⁻¹. Analisando os dados do quadro, observa-se que durante o período de avaliação, foi registrado um total de 526,93 mm de precipitação.

Quadro 1. Precipitação pluviométrica mensal, temperatura e umidade relativa do ar registrada no período de dezembro de 2010 a maio de 2011 em Campos dos Goytacazes – RJ.

| Mês/Ano | Precipitação (mm) | Temperatura (C°) | | | Umidade relativa do ar (%) |
|-----------|-------------------|------------------|--------|--------|----------------------------|
| | | Média | Máxima | Mínima | |
| Dez./2010 | 120.28 | 27.01 | 27.83 | 26.19 | 78.78 |
| Jan./2011 | 118.50 | 27.33 | 28.16 | 26.49 | 77.92 |
| Fev./2011 | 20.51 | 26.15 | 27.19 | 25.11 | 73.49 |
| Mar./2011 | 212.68 | 25.83 | 26.45 | 25.22 | 83.81 |
| Abr./2011 | 32.16 | 25.52 | 26.13 | 24.90 | 81.12 |
| Mai./2011 | 22.80 | 22.24 | 22.73 | 21.76 | 78.29 |

Fonte: Unidade de Pesquisa e Extensão Agroambiental (UPEA) do Instituto Federal Fluminense.

Pode-se observar que a precipitação foi menor que o indicado de acordo com o que é indicado para um bom desenvolvimento da cultura. Durante o

experimento, os períodos críticos de estiagem foram registrados nos meses de fevereiro, abril e março, com total mensal de 20,51 mm, 32,16 mm e 22,80 mm, respectivamente.

Como pode observar com os dados obtidos, tais informações são de grande importância, pois podem explicar o desempenho de genótipos e algumas variáveis, que serão observadas no decorrer deste trabalho.

3.1. Análise de Variância por ciclo de produção

Os resultados das análises de variância ($P < 0,01$ e $P < 0,05$) dos ciclos de produção de cinco características morfoagronômicas e das 12 características da qualidade da biomassa, envolvendo os 6 genótipos, e ainda os quadrados médios, média geral e coeficientes de variação dos tratamentos encontram-se nas Tabelas 5, 6, 7, 8 e 9, respectivamente.

Para o primeiro ciclo de produção realizado com oito semanas de idade (Tabela 5), ocorreram diferenças significativas, para a fonte de variação Tratamento (Genótipos) para a maioria das características avaliadas, exceto para: altura média de plantas (ALT), percentagem de matéria seca (%MS), percentagem de cinza (%CIN), percentagem de lignina (%LIG) e percentagem de carbono (%C), confirmando a existência de variabilidade genética entre os tratamentos avaliados neste ciclo de produção.

Os valores dos coeficientes de variação (CV) para as variáveis estudadas foram relativamente baixos e aceitáveis, exceto para a característica %CIN que apresentou um cv muito alto com 72,21%. Segundo Fonseca e Martins (1996), os coeficientes de variação indicam a precisão do experimento e, quando encontrados em ensaios agrícolas de campo, podem ser considerados baixos quando inferiores a 10%, médios, quando de 10% a 20%, altos, quando de 20% a 30%, e muito altos, quando superior a 30%. Porém, de acordo com Pimentel-Gomes (2000) esses valores da faixa de classificação são muito generalistas e não levam em consideração as particularidades da cultura, bem como da característica avaliada. Portanto, esses valores podem ser aceitáveis, devido às características em estudo serem governadas por muitos genes e então bastante influenciadas pelo ambiente.

Tabela 5. Resumo da análise de 17 características avaliadas em 6 genótipos de capim-elefante com 8 semanas de idade em Campos dos Goytacazes, RJ. 2010.

| 1/QM | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-----|-------------------|------------|----------------------|-----------|----------|----------------------|----------|----------|----------------------|--|--|
| F.V | G.L | ¹ /PMS | NPM | ALT | DC | LL | %MS | %NT | %PB | %CIN | | |
| BLOCOS | 2 | 0,0022 | 11,4984 | 0,0068 | 0,4908 | 0,0826 | 3,2835 | 0,0257 | 0,9541 | 0,0029 | | |
| GENÓTIPOS | 5 | 1,7092** | 419,0377** | 0,0181 ^{ns} | 26,0306** | 0,9012** | 2,9850 ^{ns} | 0,1089** | 4,2353** | 0,0043 ^{ns} | | |
| RESÍDUO | 10 | 0,2082 | 17,2621 | 0,0069 | 0,7034 | 0,0871 | 1,4912 | 0,0058 | 0,2172 | 0,0032 | | |
| MÉDIA | | 6,60 | 41,24 | 1,38 | 15,46 | 3,67 | 20,83 | 1,00 | 6,28 | 0,0780 | | |
| CV(%) | | 6,90 | 10,07 | 6,02 | 8,44 | 8,04 | 5,86 | 7,63 | 7,41 | 72,21 | | |

¹/PMS= Produção de matéria seca da planta, em t.ha⁻¹; NP = Número de perfílios por metro linear; ALT = Altura da planta em metros; DC = diâmetro de colmo em milímetros; LL= Largura da lâmina foliar em centímetros; %MS = Percentagem de matéria seca; %NT = Percentagem de nitrogênio total; e %PB = Percentagem de proteína bruta; %CIN= Percentagem de cinza. **: Significativo em nível de 1% de probabilidade pelo teste F; * : Significativo em nível de 5% de probabilidade pelo teste F; ^{ns}. Não significativo. CV(%) = Coeficiente de variação.

| 1/QM | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-----|--------------------|---------|---------|---------|----------------------|----------------------|----------|-----------|--|--|--|
| F.V | G.L | ¹ /%FDN | %FDA | %HEMI | %CEL | %LIG | %C | %N | C:N | | | |
| BLOCOS | 2 | 3,9322 | 1,4092 | 1,3304 | 3,0762 | 0,2875 | 0,3811 | 0,0603 | 3,1097 | | | |
| GENÓTIPOS | 5 | 3,7574* | 4,7390* | 1,6245* | 2,6789* | 0,7614 ^{ns} | 1,1531 ^{ns} | 0,5581** | 14,9237** | | | |
| RESÍDUO | 10 | 0,9117 | 1,0848 | 0,369 | 0,6401 | 0,301 | 1,2269 | 0,0356 | 1,1233 | | | |
| MÉDIA | | 69,97 | 37,83 | 32,14 | 34,04 | 2,93 | 42,62 | 2,70 | 16,10 | | | |
| CV(%) | | 1,48 | 2,52 | 1,89 | 2,35 | 18,66 | 2,59 | 6,97 | 6,58 | | | |

¹/%FDN = Percentagem de fibra em detergente neutro; %FDA = Percentagem de fibra em detergente ácido; % HEMI= Percentagem de hemicelulose; %CEL = Percentagem de celulose; %LIG = Percentagem de lignina; %C= Percentagem de carbono; %N Percentagem de nitrogênio; e C:N= Relação carbono/nitrogênio. **: Significativo em nível de 1% de probabilidade pelo teste F; * : Significativo em nível de 5% de probabilidade pelo teste F; ^{ns}. Não significativo. CV(%) = Coeficiente de variação.

Em poucos estudos relacionados ao aproveitamento da biomassa para combustão direta do capim-elefante como fonte de energia, observou-se uma nova direção em relação às características desejáveis na planta desta espécie. Na verdade, busca-se uma planta rica em fibras, celulose e lignina, características essas que estejam congregadas à alta produção de biomassa (Quesada *et al.*, 2004).

Para plantas com 8 semanas de idade, características de elevada importância como produção de matéria seca (PMS), %CIN, fonte de fibras (%FDN e %FDA, %CEL e %LIG), %C, %N e relação C:N, apresentaram as seguintes médias: 6,60 t.ha⁻¹; 0,0780%; 69,97%; 37,83%; 34,04%; 2,93%; 42,62%; 2,70% , respectivamente e uma relação C:N de 16,10.

Para o segundo ciclo de produção realizado com 12 semanas de idade (Tabela 6), houve diferenças significativas para a maioria das características avaliadas, exceto para: %CIN, %FDN e FDA, %CEL, %LIG e % de C. Mesmo apresentando resultados não significativos para algumas das principais características, entende-se que há existência de variabilidade entre os genótipos avaliados.

Os coeficientes de variação, de acordo com Fonseca e Martins (1996), apresentaram valores de baixos a médios que variaram de 1,98% para a característica %HEMI a 20,05% para NPM, portanto considerados satisfatórios. Com relação à característica de maior importância para o capim-elefante (PMS), observa-se que houve elevado incremento em relação ao corte anterior, com produção média de 6,60 t.ha⁻¹ no primeiro corte para 15,55 t.ha⁻¹ no segundo corte de avaliação. Valores de produção de matéria seca semelhante também foram obtidos por Quitete (2011), avaliando híbridos de capim-elefante, com elevada capacidade de produção em Campos dos Goytacazes - RJ, e por Santos *et al.* (2003), avaliando a produtividade da cultivar Pioneiro nas condições da Zona de Mata de Pernambuco.

Esses elevados incrementos também foram observados para as características %MS, %LIG e para relação C:N. No primeiro corte a %MS foi de 20,83%, passando para 44,36% no segundo corte, a de lignina de 2,93% para 7,22% e a relação C:N de 16,10 para 25,80.

Tabela 6. Resumo da análise de variância de 17 características avaliadas em 6 genótipos de capim-elefante com 12 semanas de idade. Campos dos Goytacazes, RJ. 2010.

| 1/QM | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-----|-----------|-----------|----------|-----------|----------|------------|-----------|---------|----------------------|--|--|
| F.V | G.L | PMS | NPM | ALT | DC | LL | %MS | %NT | %PB | %CIN | | |
| BLOCOS | 2 | 0,8562 | 37,038 | 0,0184 | 0,8567 | 0,019 | 492,111 | 0,006106 | 0,2399 | 0,0001 | | |
| GENÓTIPOS | 5 | 97,2018** | 177,7552* | 0,0822** | 14,5980** | 0,4371** | 267,1204** | 0,018462* | 0,7376* | 0,0001 ^{ns} | | |
| RESÍDUO | 10 | 15,875 | 471,512 | 0,0021 | 11,047 | 0,058 | 1,926,121 | 0,00381 | 0,1439 | 0,0001 | | |
| MÉDIA | | 15,55 | 34,23 | 1,9 | 13,61 | 3,67 | 44,36 | 0,65 | 4,09 | 0,05 | | |
| CV(%) | | 8,09 | 20,05 | 2,42 | 6,32 | 6,55 | 9,89 | 9,41 | 9,25 | 12,35 | | |

¹/PMS= Produção de matéria seca da planta, em t.ha⁻¹; NP = Número de perfílos por metro linear; ALT = Altura da planta em metros; DC = diâmetro de colmo em milímetros; LL= Largura da lâmina foliar em centímetros; %MS = Percentagem de matéria seca; %NT = Percentagem de nitrogênio total; e %PB = Percentagem de proteína bruta; CIN= Percentagem de cinza. **: Significativo em nível de 1% de probabilidade pelo teste F; * : Significativo em nível de 5% de probabilidade pelo teste F; ^{ns}: Não significativo. CV(%) = Coeficiente de variação.

| 1/QM | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-----|----------------------|----------------------|----------|----------------------|----------------------|----------------------|----------|------------|--|--|--|
| F.V | G.L | %FDN | %FDA | %HEMI | %CEL | %LIG | %C | %N | C:N | | | |
| BLOCOS | 2 | 90,679 | 98,907 | 0,3840 | 50,896 | 0,6425 | 0,7302 | 0,0028 | 1646,439 | | | |
| GENÓTIPOS | 5 | 2,5347 ^{ns} | 4,9905 ^{ns} | 2,9127** | 2,0715 ^{ns} | 3,2243 ^{ns} | 0,8907 ^{ns} | 0,2622** | 46,970899* | | | |
| RESÍDUO | 10 | 35,579 | 48,686 | 0,3787 | 64,736 | 12,611 | 14,048 | 0,0352 | 1354,692 | | | |
| MÉDIA | | 79,71 | 48,27 | 31,04 | 40,36 | 7,22 | 43,24 | 1,72 | 25,8 | | | |
| CV(%) | | 7,48 | 14,45 | 1,98 | 6,3 | 15,54 | 2,74 | 10,87 | 14,26 | | | |

¹/%FDN = Percentagem de fibra em detergente neutro; %FDA = Percentagem de fibra em detergente ácido; % HEMI= Percentagem de hemicelulose; %CEL = Percentagem de celulose; %LIG = Percentagem de lignina; %C= Percentagem de carbono; %N Percentagem de nitrogênio; e C:N= Relação carbono/nitrogênio. **: Significativo em nível de 1% de probabilidade pelo teste F; * : Significativo em nível de 5% de probabilidade pelo teste F; ^{ns}: Não significativo. CV(%) = Coeficiente de variação.

Estes resultados podem ser explicados devido às condições climáticas do período que apresentou maior incidência de chuvas (20,51 mm para 212,68 mm), seguido por elevada radiação solar e aumento do fotoperíodo, adubação de cobertura realizada na recomposição das parcelas, o que pode ter permitido um melhor desenvolvimento dos genótipos.

Na Tabela 7 pode-se observar a análise de variância para o terceiro ciclo de produção realizado com 16 semanas de idade. De acordo com os resultados, ocorreram diferenças significativas entre os genótipos para a maioria das características avaliadas, exceto para as seguintes características: %MS, %CIN, %HEMI, e %C, mostrando a existência de variabilidade entre os genótipos avaliados.

Assim como no segundo corte, o CV das variáveis apresentou valores de baixos a médios, sendo o maior CV observado para a característica %CIN (19,62%).

Para a característica PMS foi observado uma média de 18,40 t.ha⁻¹. As frações de FDN e FDA (77,07% e 45,29%), que normalmente se elevam com o avançar da idade na planta, de capim-elefante foram superiores aos percentuais encontrados por Santos *et al.* (2001) que obtiveram na cultivar Roxo teores médios de 71,13 e 41,02% para FDN e FDA, respectivamente.

Para o ciclo de produção realizado com 20 semanas de idade (Tabela 8), houve diferenças significativas entre os genótipos para a grande maioria das características avaliadas, exceto para: %CIN e relação C:N.

Como nos ciclos anteriores, o CV das variáveis apresentou valores de baixos a médios, sendo o maior CV observado para a característica NPM (18,96), sendo esses valores muito generalistas e não levando em consideração as particularidades da cultura, pode-se afirmar que esse valor seja satisfatório.

As características PMS, fibras (%FDN e %FDA, %CEL e %LIG), %C, %N e relação C:N, apresentaram médias de 20,50 t.ha⁻¹, 75,67% de fibra em detergente neutro e 45,27% de fibra em detergente ácido, 38,15% de celulose, 6,52% de lignina, 43,26% de N, 1,66% de C e uma relação C:N de 26,05.

Tabela 7. Resumo da análise de variância de 17 características avaliadas em 6 genótipos de capim-elefante com 16 semanas de idade. Campos dos Goytacazes, RJ. 2010.

| ^{1/} QM | | | | | | | | | | | | |
|------------------|-----|-----------|------------|-----------|---------|---------|-----------------------|----------|-----------|-----------------------|--|--|
| F.V | G.L | PMS | NPM | ALT | DC | LL | %MS | %NT | %PB | %CIN | | |
| BLOCOS | 2 | 32,630 | 96,420 | 0,0038 | 0,2392 | 0,0069 | 129,623 | 0,0055 | 0,23090 | 0,0005 | | |
| GENÓTIPOS | 5 | 46,5146** | 559,6552** | 0,05288** | 6,4053* | 0,6899* | 29,1573 ^{ns} | 0,0492** | 1,93980** | 0,00026 ^{ns} | | |
| RESÍDUO | 10 | 20,313 | 172,270 | 0,00230 | 12,605 | 0,1345 | 95,384 | 0,0047 | 0,18470 | 0,0002 | | |
| MÉDIA | | 18,40 | 38,21 | 2,62 | 14,20 | 3,62 | 24,35 | 0,84 | 5,27 | 0,007 | | |
| CV(%) | | 7,74 | 10,86 | 1,86 | 7,90 | 10,12 | 12,68 | 8,18 | 8,15 | 19,92 | | |

PMS= Produção de matéria seca da planta, em t.ha⁻¹; NP = Número de perfilhos por metro linear; ALT = Altura da planta em metros; DC = diâmetro de colmo em milímetros; LL= Largura da lâmina foliar em centímetros; %MS = Percentagem de matéria seca; %NT = Percentagem de nitrogênio total; e %PB = Percentagem de proteína bruta; CIN= Percentagem de cinza. **: Significativo em nível de 1% de probabilidade pelo teste F; *: Significativo em nível de 5% de probabilidade pelo teste F; ^{ns}: Não significativo. CV(%) = Coeficiente de variação.

| ^{1/} QM | | | | | | | | | | | | |
|------------------|-----|----------|---------|----------------------|---------|----------|----------------------|---------|----------|--|--|--|
| F.V | G.L | %FDN | %FDA | %HEMI | %CEL | %LIG | %C | %N | C:N | | | |
| BLOCOS | 2 | 0,2686 | 16,380 | 0,7641 | 0,0129 | 0,81090 | 51,914 | 0,0222 | 154,012 | | | |
| GENÓTIPOS | 5 | 4,0283** | 7,3356* | 1,4292 ^{ns} | 3,5290* | 1,77100* | 1,1891 ^{ns} | 0,0724* | 21,7249* | | | |
| RESÍDUO | 10 | 0,6933 | 15,305 | 0,4471 | 0,7229 | 0,36720 | 0,7119 | 0,0172 | 53,771 | | | |
| MÉDIA | | 77,04 | 45,29 | 31,75 | 39,10 | 5,64 | 42,98 | 1,74 | 24,95 | | | |
| CV(%) | | 1,08 | 2,73 | 2,10 | 2,17 | 10,74 | 1,96 | 7,53 | 9,29 | | | |

FDN = Percentagem de fibra em detergente neutro; %FDA = Percentagem de fibra em detergente ácido; % HEMI= Percentagem de hemicelulose; %CEL = Percentagem de celulose; %LIG = Percentagem de lignina; %C= Percentagem de carbono; %N Percentagem de nitrogênio; e C:N= Relação carbono/nitrogênio. **: Significativo em nível de 1% de probabilidade pelo teste F; *: Significativo em nível de 5% de probabilidade pelo teste F; ^{ns}: Não significativo. CV(%) = Coeficiente de variação.

Tabela 8. Resumo da análise de variância de 17 características avaliadas em 6 genótipos de capim-elefante com 20 semanas de idade. Campos dos Goytacazes, RJ. 2010.

| | | ^{1/} QM | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-----|------------------|------------|-----------|----------|----------|-----------|---------|---------|------------------------|--|--|--|--|
| F.V | G.L | PMS | NPM | ALT | DC | LL | %MS | %NT | %PB | %CIN | | | | |
| BLOCOS | 2 | 10,707 | 2111,948 | 0,00220 | 0,6758 | 0,0229 | 32,944 | 0,0044 | 0,1787 | 0,000006 | | | | |
| GENÓTIPOS | 5 | 38,6174** | 365,2026** | 0,10840** | 6,5856** | 0,8603** | 16,2572** | 0,0163* | 0,6528* | 0,000072 ^{ns} | | | | |
| RESÍDUO | 10 | 17,432 | 385,211 | 0,0073 | 11,165 | 0,0375 | 24,816 | 0,0042 | 0,1615 | 0,00007 | | | | |
| MÉDIA | | 20,50 | 32,71 | 2,98 | 13,46 | 3,79 | 29,63 | 0,68 | 4,29 | 0,60 | | | | |
| CV(%) | | 6,46 | 18,96 | 2,88 | 7,85 | 5,10 | 5,31 | 9,44 | 9,36 | 13,81 | | | | |

PMS= Produção de matéria seca da planta, em t.ha⁻¹; NP = Número de perfilhos por metro linear; ALT = Altura da planta em metros; DC = diâmetro de colmo em milímetros; LL= Largura da lâmina foliar em centímetros; %MS = Percentagem de matéria seca; %NT = Percentagem de nitrogênio total; e %PB = Percentagem de proteína bruta; CIN= Percentagem de cinza. **: Significativo em nível de 1% de probabilidade pelo teste F; *: Significativo em nível de 5% de probabilidade pelo teste F; ^{ns}: Não significativo. CV(%) = Coeficiente de variação.

| | | ^{1/} QM | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-----|------------------|-----------|---------|----------|---------|---------|---------|----------------------|--|--|--|--|--|
| F.V | G.L | %FDN | %FDA | %HEMI | %CEL | %LIG | %C | %N | C:N | | | | | |
| BLOCOS | 2 | 10,088 | 0,4350 | 0,1189 | 0,13490 | 0,1783 | 0,5057 | 0,0151 | 4,7714 | | | | | |
| GENÓTIPOS | 5 | 19,5975** | 17,0365** | 0,8850* | 9,2597** | 2,0318* | 4,5494* | 0,0199* | 2,8155 ^{ns} | | | | | |
| RESÍDUO | 10 | 0,6787 | 0,6910 | 0,2162 | 0,4255 | 0,3743 | 10,261 | 0,0058 | 1,7269 | | | | | |
| MÉDIA | | 75,67 | 45,27 | 30,40 | 38,15 | 6,52 | 43,26 | 1,66 | 26,05 | | | | | |
| CV(%) | | 1,08 | 1,83 | 1,52 | 1,70 | 1,70 | 2,34 | 4,60 | 5,04 | | | | | |

%FDN = Percentagem de fibra em detergente neutro; %FDA = Percentagem de fibra em detergente ácido; % HEMI= Percentagem de hemicelulose; %CEL = Percentagem de celulose; %LIG = Percentagem de lignina; %C= Percentagem de carbono; %N Percentagem de nitrogênio; e C:N= Relação carbono/nitrogênio. **: Significativo em nível de 1% de probabilidade pelo teste F; *: Significativo em nível de 5% de probabilidade pelo teste F; ^{ns}: Não significativo. CV(%) = Coeficiente de variação.

No quinto e último ciclo realizado com 24 semanas de idade (Tabela 9), as características %MS, %FDN, %FDA, %HEMI, %CEL, %LIG, %N e C:N apresentaram efeito não significativo.

Os CV mantiveram-se satisfatórios, com valores de baixos a médios sendo a característica NPM a que apresentou o maior valor de 16,23%.

Com apenas 24 semanas de cultivo foi observado para a característica PMS em uma só colheita uma média de 23,77 t.ha⁻¹. As características fibras (FDN e FDA, %CEL e %LIG), %C e %N e relação C:N, não apresentaram diferenças significativas, e obtiveram médias de 76,89% e 47,44%, 38,82% e 8,17%, 43,33% e 1,69% e uma relação C:N de 25,82.

Em resumo em todos os cinco ciclos de produção foram observados diferenças significativas para a variável PMS. Avaliando os cortes individualmente pela análise de variância, pode-se observar que o 4º e 5º ciclos de produção (20 e 24 semanas de idade) foram os que apresentaram melhor desempenho para a produção de biomassa energética de capim-elefante (PMS), com médias de 20,50 e 23,77 t.ha⁻¹. Morais et al. (2009), avaliando o potencial produtivo de diferentes genótipos de capim-elefante, com ciclos de produção de 9, 18 e 24 meses, observaram médias de 29,5 t.ha⁻¹ em um ciclo de produção de 9 meses. Esses resultados mostram e sinalizam que se pode realizar mais de duas colheitas de capim-elefante por ano, como o de costume, para produção de biomassa, desde que ofereça condições ideais de plantio e conservação da cultura no campo.

3.2. Comparação de médias dos genótipos por ciclo de produção (Teste Tukey)

Mesmo apresentando efeito não significativo para genótipos em algumas características estudadas, foi realizada a comparação entre médias dos 6 genótipos avaliados, uma vez que, possíveis diferenças podem ser detectadas. As estimativas de médias de dezessete características avaliadas em seis genótipos em cinco ciclos de produção, segundo o teste Tukey de comparação de médias a 5% de probabilidade, estão contidas nas Tabelas 10, 11, 12, 13 e 14.

Tabela 9. Resumo da análise de variância de 17 características avaliadas em 6 genótipos de capim-elefante com 24 semanas de idade. Campos dos Goytacazes, RJ. 2010.

| F.V | G.L | PMS | NPM | ALT | DC | LL | %MS | %NT | %PB | %CIN |
|-----------|-----|-----------|------------|----------|-----------|----------|-----------------------|---------|---------|----------|
| BLOCOS | 2 | 257,048 | 187,222 | 0,0787 | 12,750 | 0,0342 | 150,056 | 0,0019 | 0,0729 | 0,00005 |
| GENÓTIPOS | 5 | 46,0653** | 188,6222** | 0,0819** | 10,9548** | 1,4410** | 14,0424 ^{ns} | 0,0155* | 0,6027* | 0,00010* |
| RESÍDUO | 10 | 73,237 | 236,388 | 0,0124 | 0,5344 | 0,0490 | 105,926 | 0,0030 | 0,1198 | 0,00002 |
| MÉDIA | | 23,77 | 29,94 | 3,40 | 12,86 | 3,83 | 36,08 | 0,46 | 22,93 | 0,46 |
| CV(%) | | 11,38 | 16,23 | 3,26 | 5,68 | 5,76 | 9,01 | 11,68 | 11,80 | 9,58 |

PMS= Produção de matéria seca da planta, em t.ha⁻¹; NP = Número de perfilhos por metro linear; ALT = Altura da planta em metros; DC = diâmetro de colmo em milímetros; LL= Largura da lâmina foliar em centímetros; %MS = Percentagem de matéria seca; %NT = Percentagem de nitrogênio total; e %PB = Percentagem de proteína bruta; CIN= Percentagem de cinza. **: Significativo em nível de 1% de probabilidade pelo teste F; *: Significativo em nível de 5% de probabilidade pelo teste F; ^{ns}: Não significativo. CV(%) = Coeficiente de variação.

| F.V | G.L | %FDN | %FDA | %HEMI | %CEL | %LIG | %C | %N | C:N |
|-----------|-----|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------|----------------------|----------------------|
| BLOCOS | 2 | 13,526 | 20,377 | 0,0906 | 0,8973 | 0,1293 | 18,227 | 0,0215 | 55,987 |
| GENÓTIPOS | 5 | 5,9931 ^{ns} | 6,9007 ^{ns} | 0,5937 ^{ns} | 5,2394 ^{ns} | 0,3894 ^{ns} | 6,8315** | 0,0319 ^{ns} | 6,5844 ^{ns} |
| RESÍDUO | 10 | 31,398 | 35,031 | 0,2415 | 17,127 | 0,5444 | 0,4975 | 0,0262 | 60,609 |
| MÉDIA | | 76,89 | 47,44 | 29,44 | 38,82 | 8,17 | 43,33 | 1,69 | 25,82 |
| CV(%) | | 2,30 | 3,94 | 1,66 | 3,37 | 9,02 | 1,62 | 9,5 | 9,53 |

%FDN = Percentagem de fibra em detergente neutro; %FDA = Percentagem de fibra em detergente ácido; % HEMI= Percentagem de hemicelulose; %CEL = Percentagem de celulose; %LIG = Percentagem de lignina; %C= Percentagem de carbono; %N Percentagem de nitrogênio; e C:N= Relação carbono/nitrogênio. **: Significativo em nível de 1% de probabilidade pelo teste F; *: Significativo em nível de 5% de probabilidade pelo teste F; ^{ns}: Não significativo. CV(%) = Coeficiente de variação.

No primeiro ciclo de produção para a característica produção de matéria seca, o melhor desempenho foi observado para o genótipo Pusa Napier nº 1 (Tabela 10), com uma média de 7,27 t.ha⁻¹ de matéria seca. Para as características %FDN e %FDA, %CEL %LIG o genótipo Mole de Volta Grande apresentou um melhor desempenho em relação aos demais genótipos, apresentando nesta ordem os seguintes valores: 71,37%, 39,23%, 35,32%, 3,63%. Para a característica C:N o genótipo Cubano de Pinda apresentou uma média superior aos demais genótipos com um valor médio de 18,00.

No segundo ciclo de produção que ocorreu com 12 semanas de idade, o genótipo King Grass (Tabela 11), foi o que mais se destacou para as características PMS, %FDN e %FDA, %CEL e %LIG que foi de 26,54 t.ha⁻¹, 80,03%, 50,44%, 40,95% e 8,80%, respectivamente. Para a característica C:N foi observado que o genótipo Mercker 86- México apresentou melhor desempenho com valor igual a 31,25.

Para o terceiro ciclo de produção realizado com 16 semanas de idade, assim como no primeiro ciclo, o genótipo Pusa Napier nº 1 (Tabela 12), apresentou melhor média de produção, com 24,18 t.ha⁻¹. Para as outras características de grande importância para produção energética como FDN e %CEL o genótipo Mole de Volta Grande obteve médias de 78,65% de fibra em detergente neutro e 40,56% de celulose. Para as características %FDA e %LIG o genótipo Mercker 86 - México apresentou médias de 47,16% e 6,22%, respectivamente. A característica C:N foi observado que o genótipo King Grass apresentou um valor de 30,19.

No quarto ciclo de produção realizado com 20 semanas de idade o genótipo Mole de Volta Grande (Tabela 13), apresentou o melhor desempenho. A PMS foi de 23,62 t.ha⁻¹, a %FDN e %FDA foi de 79,29% e 48,83%. A %CEL alcançou um valor de 40,63% e a %LIG igual a 7,75%. Para o genótipo Pusa Napier nº 1 o valor de 27,14 foi observado para a característica C:N.

No quinto e último ciclo de produção onde foi realizado o corte com 24 semanas de idade o genótipo que mais se destacou na produção de matéria seca e %LIG foi o genótipo Mercker 86 – México (Tabela 14), com uma média de 28,87 t.ha⁻¹ e 8,62.

Tabela 10. Valores médios para as características morfoagronômicas e da qualidade da biomassa em 6 genótipos de capim-elefante com 8 semanas de idade. Campos dos Goytacazes, RJ 2010.

| Genótipos | Características | | | | | | | | | | |
|----------------------|-----------------|----------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|--|--|
| | PMS | NPM | ALT | DC | LL | %MS | %NT | %PB | %CIN | | |
| Cubano de Pinda | 7.23 a | 34.67 cd | 1.41 a | 15.42 b | 3.37 c | 21.34 a | 1.11 a | 6.93 a | 0.05 a | | |
| Mercker 86 – México | 6.25 ab | 32.61 d | 1.23 a | 15.80 b | 3.33 c | 19.50 a | 1.09 ab | 6.80 ab | 0.07 a | | |
| Pusa Napier nº 1 | 7.27 a | 27.53 d | 1.45 a | 20.27 a | 4.24 ab | 19.90 a | 1.17 a | 7.35 a | 0.07 a | | |
| Mole de Volta Grande | 6.81 a | 59.55 a | 1.38 a | 11.00 c | 3.50 bc | 21.70 a | 0.88 bc | 5.52 bc | 0.15 a | | |
| P - 241 – Piracicaba | 5.26 b | 47.41 b | 1.41 a | 15.23 b | 4.46 a | 21.95 a | 1.10 ab | 6.88 a | 0.06 a | | |
| King Grass | 6.80 a | 45.66 bc | 1.41 a | 15.03 b | 3.10 c | 20.59 a | 0.67 c | 4.21 c | 0.05 a | | |

PMS= Produção de matéria seca da planta, em t.ha⁻¹; NP = Número de perfilhos por metro linear; ALT = Altura da planta em metros; DC = diâmetro de colmo em milímetros; LL= Largura da lâmina foliar em centímetros; %MS = Percentagem de matéria seca; CIN= Percentagem de cinza; %NT = Percentagem de nitrogênio total; e %PB = Percentagem de proteína bruta. Médias seguidas por uma mesma letra não diferem estatisticamente, em nível de 5% de probabilidade, pelo teste Tuckey.

| Genótipos | Características | | | | | | | | | | |
|----------------------|-----------------|----------|----------|----------|--------|---------|--------|----------|--|--|--|
| | %FDN | %FDA | %HEMI | %CEL | %LIG | %C | %N | C:N | | | |
| Cubano de Pinda | 69.98 ab | 37.22 ab | 32.76 ab | 33.70 ab | 2.59 a | 41.65 a | 2.31 b | 18.00 a | | | |
| Mercker 86 – México | 69.06 ab | 37.23 ab | 31.82 ab | 33.82 ab | 2.48 a | 42.32 a | 2.48 b | 17.11 ab | | | |
| Pusa Napier nº 1 | 68.03 b | 36.38 b | 31.65 ab | 32.52 b | 2.93 a | 42.86 a | 2.45 b | 17.57 a | | | |
| Mole de Volta Grande | 71.37 a | 39.23 a | 32.13 ab | 35.32 a | 3.63 a | 43.25 a | 2.50 b | 17.28 a | | | |
| P - 241 – Piracicaba | 71.09 a | 37.86 ab | 33.22 a | 34.37 ab | 2.51 a | 43.25 a | 3.06 b | 14.11 bc | | | |
| King Grass | 70.28 ab | 39.04 ab | 31.24 b | 34.53 ab | 3.47 a | 42.41 a | 3.41 a | 12.53 c | | | |

%FDN = Percentagem de fibra em detergente neutro; %FDA = Percentagem de fibra em detergente ácido; % HEMI = Percentagem de hemicelulose; %CEL = Percentagem de celulose; %LIG = Percentagem de lignina; %C = Percentagem de carbono; %N Percentagem de nitrogênio; e C:N = Relação carbono/nitrogênio. Médias seguidas por uma mesma letra não diferem estatisticamente, em nível de 5% de probabilidade, pelo teste Tuckey.

Tabela 11. Valores médios para as características morfoagronômicas e da qualidade da biomassa em 6 genótipos de capim-elefante com 12 semanas de idade. Campos dos Goytacazes, RJ 2010.

| Genótipos | Características | | | | | | | | | | |
|----------------------|-----------------|---------|--------|----------|---------|----------|---------|---------|--------|--|--|
| | PMS | NPM | ALT | DC | LL | %MS | %NT | %PB | %CIN | | |
| Cubano de Pinda | 12.08 c | 26.66 a | 1.73 c | 17.70 ab | 4.11 a | 44.38 b | 0.74 a | 4.65 a | 0.05 a | | |
| Mercker 86 – México | 12.97 c | 32.16 a | 1.73 c | 17.42 ab | 3.51 ab | 38.60 bc | 0.59 ab | 3.70 ab | 0.05 a | | |
| Pusa Napier nº 1 | 16.69 b | 26.26 a | 2.11 a | 19.47 a | 3.66 ab | 43.65 bc | 0.67 ab | 4.24 ab | 0.06 a | | |
| Mole de Volta Grande | 11.31 c | 42.44 a | 1.90 b | 12.92 c | 3.20 b | 31.35 c | 0.72 a | 4.52 a | 0.06 a | | |
| P - 241 – Piracicaba | 13.75 bc | 33.47 a | 1.86 b | 15.83 bc | 4.14 a | 48.96 ab | 0.66 ab | 4.12 ab | 0.06 a | | |
| King Grass | 26.54 a | 44.39 a | 2.08 a | 16.33 b | 3.41 b | 59.23 a | 0.53 b | 3.35 b | 0.04 a | | |

PMS= Produção de matéria seca da planta, em t.ha⁻¹; NP = Número de perfilhos por metro linear; ALT = Altura da planta em metros; DC = diâmetro de colmo em milímetros; LL= Largura da lâmina foliar em centímetros; %MS = Percentagem de matéria seca; CIN= Percentagem de cinza; %NT = Percentagem de nitrogênio total; e %PB = Percentagem de proteína bruta. Médias seguidas por uma mesma letra não diferem estatisticamente, em nível de 5% de probabilidade, pelo teste Tuckey.

| Genótipos | Características | | | | | | | | | | |
|----------------------|-----------------|---------|-----------|---------|--------|---------|---------|----------|--|--|--|
| | %FDN | %FDA | %HEMI | %CEL | %LIG | %C | %N | C:N | | | |
| Cubano de Pinda | 79.90 a | 47.59 a | 32.30 a | 40.49 a | 6.47 a | 43.84 a | 2.29 a | 19.19 b | | | |
| Mercker 86 – México | 77.60 a | 47.13 a | 30.47 bc | 38.84 a | 6.53 a | 43.80 a | 1.44 b | 31.25 a | | | |
| Pusa Napier nº 1 | 79.58 a | 48.78 a | 30.80 abc | 41.00 a | 8.21 a | 42.37 a | 1.62 b | 26.30 ab | | | |
| Mole de Volta Grande | 79.80 a | 48.61 a | 31.18 abc | 40.86 a | 6.96 a | 43.02 a | 1.72 b | 25.12 ab | | | |
| P - 241 – Piracicaba | 78.95 a | 47.06 a | 31.89 ab | 40.01 a | 6.34 a | 43.14 a | 1.71 b | 25.19 ab | | | |
| King Grass | 80.03 a | 50.44 a | 29.58 c | 40.95 a | 8.80 a | 43.27 a | 1.563 b | 27.75 ab | | | |

%FDN = Percentagem de fibra em detergente neutro; %FDA = Percentagem de fibra em detergente ácido; % HEMI= Percentagem de hemicelulose; %CEL = Percentagem de celulose; %LIG = Percentagem de lignina; %C= Percentagem de carbono; %N Percentagem de nitrogênio; e C:N= Relação carbono/nitrogênio. Médias seguidas por uma mesma letra não diferem estatisticamente, em nível de 5% de probabilidade, pelo teste Tuckey.

Tabela 12. Valores médios para as características morfoagronômicas e da qualidade da biomassa em 6 genótipos de capim-elefante com 16 semanas de idade. Campos dos Goytacazes, RJ 2010.

| Características | | | | | | | | | | |
|----------------------|----------|---------|---------|----------|---------|---------|---------|---------|--------|--|
| Genótipos | PMS | NPM | ALT | DC | LL | %MS | %NT | %PB | %CIN | |
| Cubano de Pinda | 15.29 c | 37.41 b | 2.45 c | 13.91 ab | 3.28 b | 23.30 a | 0.69 b | 4.33 b | 0.07 a | |
| Mercker 86 – México | 15.37 c | 30.55 b | 2.68 ab | 15.25 a | 3.56 ab | 29.31 a | 0.74 b | 4.65 b | 0.07 a | |
| Pusa Napier nº 1 | 24.18 a | 29.42 b | 2.75 a | 15.25 a | 3.53 b | 22.16 a | 1.06 a | 6.63 a | 0.06 a | |
| Mole de Volta Grande | 19.97 b | 65.47 a | 2.58 bc | 11.48 b | 3.46 b | 26.79 a | 0.88 ab | 5.52 ab | 0.08 a | |
| P - 241 – Piracicaba | 14.49 c | 32.01 b | 2.51 c | 15.19 a | 4.57 a | 20.96 a | 0.86 b | 5.39 b | 0.08 a | |
| King Grass | 21.13 ab | 34.41 b | 2.78 a | 14.16 ab | 3.31 b | 23.56 a | 0.81 b | 5.09 b | 0.07 a | |

PMS= Produção de matéria seca da planta, em t.ha⁻¹; NP = Número de perfilhos por metro linear; ALT = Altura da planta em metros; DC = diâmetro de colmo em milímetros; LL= Largura da lâmina foliar em centímetros; %MS = Percentagem de matéria seca; CIN= Percentagem de cinza; %NT = Percentagem de nitrogênio total; e %PB = Percentagem de proteína bruta. Médias seguidas por uma mesma letra não diferem estatisticamente, em nível de 5% de probabilidade, pelo teste Tuckey.

| Características | | | | | | | | | | |
|----------------------|----------|----------|---------|----------|---------|---------|---------|----------|--|--|
| Genótipos | %FDN | %FDA | %HEMI | %CEL | %LIG | %C | %N | C:N | | |
| Cubano de Pinda | 77.07 ab | 44.55 ab | 32.52 a | 38.70 ab | 5.33 ab | 42.90 a | 1.76 ab | 24.38 ab | | |
| Mercker 86 – México | 78.07 ab | 47.16 a | 30.91 a | 40.15 ab | 6.22 a | 43.50 a | 1.72 ab | 25.24 ab | | |
| Pusa Napier nº 1 | 75.90 b | 44.11 ab | 31.79 a | 37.99 b | 5.93 a | 41.76 a | 1.82 a | 23.01 b | | |
| Mole de Volta Grande | 78.65 a | 46.82 a | 31.82 a | 40.56 a | 6.03 a | 43.44 a | 1.84 a | 23.62 ab | | |
| P - 241 – Piracicaba | 75.72 b | 43.26 b | 32.46 a | 37.98 b | 4.21 b | 42.98 a | 1.84 a | 23.28 b | | |
| King Grass | 76.86 ab | 45.86 ab | 31.00 a | 39.21 ab | 6.12 a | 42.72 a | 1.44 b | 30.19 a | | |

%FDN = Percentagem de fibra em detergente neutro; %FDA = Percentagem de fibra em detergente ácido; % HEMI= Percentagem de hemicelulose; %CEL = Percentagem de celulose; %LIG = Percentagem de lignina; %C= Percentagem de carbono; %N Percentagem de nitrogênio; e C:N= Relação carbono/nitrogênio. Médias seguidas por uma mesma letra não diferem estatisticamente, em nível de 5% de probabilidade, pelo teste Tuckey.

Tabela 13. Valores médios para as características morfoagronômicas e da qualidade da biomassa em 6 genótipos de capim-elefante com 20 semanas de idade. Campos dos Goytacazes, RJ 2010.

| Características | | | | | | | | | | |
|----------------------|----------|----------|---------|----------|--------|----------|---------|---------|--------|--|
| Genótipos | PMS | NPM | ALT | DC | LL | %MS | %NT | %PB | %CIN | |
| Cubano de Pinda | 14.82 c | 30.50 bc | 2.81 c | 14.17 a | 4.58 a | 27.92 b | 0.67 ab | 4.21 ab | 0.05 a | |
| Mercker 86 – México | 20.66 ab | 32.29 bc | 3.26 a | 14.58 a | 3.47 b | 31.02 ab | 0.67 ab | 4.22 ab | 0.06 a | |
| Pusa Napier nº 1 | 23.05 a | 36.53 ab | 3.13 ab | 13.82 a | 3.15 b | 27.85 b | 0.62 b | 3.89 b | 0.06 a | |
| Mole de Volta Grande | 23.62 a | 50.55 a | 3.00 bc | 10.62 b | 3.63 b | 33.64 a | 0.83 a | 5.20 a | 0.05 a | |
| P - 241 – Piracicaba | 17.63 bc | 16.50 c | 2.78 c | 14.41 a | 4.28 a | 27.91 b | 0.67 ab | 4.19 ab | 0.06 a | |
| King Grass | 23.25 a | 29.93 bc | 2.88 c | 13.15 ab | 3.64 b | 29.43 ab | 0.64 b | 4.01 b | 0.05 a | |

PMS= Produção de matéria seca da planta, em t.ha⁻¹; NP = Número de perfilhos por metro linear; ALT = Altura da planta em metros; DC = diâmetro de colmo em milímetros; LL= Largura da lâmina foliar em centímetros; %MS = Percentagem de matéria seca; CIN= Percentagem de cinza; %NT = Percentagem de nitrogênio total; e %PB = Percentagem de proteína bruta. Médias seguidas por uma mesma letra não diferem estatisticamente, em nível de 5% de probabilidade, pelo teste Tuckey.

| Características | | | | | | | | | | |
|----------------------|---------|----------|----------|----------|---------|----------|---------|---------|--|--|
| Genótipos | %FDN | %FDA | %HEMI | %CEL | %LIG | %C | %N | C:N | | |
| Cubano de Pinda | 76.45 b | 45.77 b | 30.68 ab | 38.67 bc | 6.50 ab | 43.48 ab | 1.80 a | 24.31 a | | |
| Mercker 86 – México | 76.67 b | 46.64 ab | 30.03 ab | 39.02 ab | 7.23 ab | 45.09 a | 1.68 b | 26.74 a | | |
| Pusa Napier nº 1 | 71.64 c | 42.13 d | 29.51 b | 35.45 d | 5.80 b | 42.79 ab | 1.58 b | 27.14 a | | |
| Mole de Volta Grande | 79.29 a | 48.83 a | 30.46 ab | 40.63 a | 7.75 a | 44.05 ab | 1.70 ab | 25.94 a | | |
| P - 241 – Piracicaba | 74.39 b | 43.39 cd | 30.99 a | 37.17 cd | 5.65 b | 42.58 ab | 1.63 ab | 26.07 a | | |
| King Grass | 75.58 b | 44.86 bc | 30.72 ab | 37.95 bc | 6.22 ab | 41.56 b | 1.59 ab | 26.12 a | | |

%FDN = Percentagem de fibra em detergente neutro; %FDA = Percentagem de fibra em detergente ácido; % HEMI= Percentagem de hemicelulose; %CEL = Percentagem de celulose; %LIG = Percentagem de lignina; %C= Percentagem de carbono; %N Percentagem de nitrogênio; e C:N= Relação carbono/nitrogênio. Médias seguidas por uma mesma letra não diferem estatisticamente, em nível de 5% de probabilidade, pelo teste Tuckey.

Tabela 14. Valores médios para as características morfoagronômicas e da qualidade da biomassa em 6 genótipos de capim-elefante com 24 semanas de idade. Campos dos Goytacazes, RJ 2010.

| Características | | | | | | | | | | |
|----------------------|-----------|----------|----------|----------|--------|---------|---------|---------|---------|--|
| Genótipos | PMS | NPM | ALT | DC | LL | %MS | %NT | %PB | %CIN | |
| Cubano de Pinda | 22.21 abc | 24.16 b | 3.63 a | 13.20 b | 4.28 a | 34.30 a | 0.43 b | 2.69 b | 0.04 b | |
| Mercker 86 – México | 28.87 a | 30.50 ab | 3.48 ab | 12.12 b | 3.13 b | 34.57 a | 0.40 b | 2.49 b | 0.04 b | |
| Pusa Napier nº 1 | 20.37 bc | 22.16 b | 3.50 ab | 15.27 a | 3.15 b | 34.67 a | 0.48 ab | 3.03 ab | 0.04 ab | |
| Mole de Volta Grande | 19.11 c | 43.83 a | 3.36 abc | 9.57 c | 3.38 b | 39.96 a | 0.60 a | 3.76 a | 0.05 a | |
| P - 241 – Piracicaba | 24.51 abc | 25.83 b | 3.30 bc | 13.73 ab | 4.69 a | 37.02 a | 0.43 b | 2.70 b | 0.05 ab | |
| King Grass | 27.58 ab | 33.16 ab | 3.16 c | 13.29 ab | 4.38 a | 35.97 a | 0.46 ab | 2.90 ab | 0.04 b | |

PMS= Produção de matéria seca da planta, em t.ha⁻¹; NP = Número de perfilhos por metro linear; ALT = Altura da planta em metros; DC = diâmetro de colmo em milímetros; LL= Largura da lâmina foliar em centímetros; %MS = Percentagem de matéria seca; CIN= Percentagem de cinza; %NT = Percentagem de nitrogênio total; e %PB = Percentagem de proteína bruta. Médias seguidas por uma mesma letra não diferem estatisticamente, em nível de 5% de probabilidade, pelo teste Tuckey.

| Características | | | | | | | | | | |
|----------------------|---------|---------|---------|---------|--------|----------|--------|---------|--|--|
| Genótipos | %FDN | %FDA | %HEMI | %CEL | %LIG | %C | %N | C:N | | |
| Cubano de Pinda | 76.64 a | 46.87 a | 29.77 a | 38.26 a | 7.94 a | 43.97 ab | 1.55 a | 28.25 a | | |
| Mercker 86 – México | 77.55 a | 48.97 a | 28.57 a | 39.84 a | 8.62 a | 42.71 bc | 1.64 a | 26.29 a | | |
| Pusa Napier nº 1 | 75.52 a | 46.07 a | 29.45 a | 37.24 a | 8.22 a | 43.90 ab | 1.73 a | 25.67 a | | |
| Mole de Volta Grande | 79.41 a | 49.72 a | 29.69 a | 40.92 a | 8.53 a | 42.05 bc | 1.77 a | 23.73 a | | |
| P - 241 – Piracicaba | 75.98 a | 46.46 a | 29.51 a | 38.44 a | 7.69 a | 41.62 c | 1.61 a | 25.83 a | | |
| King Grass | 76.24 a | 46.56 a | 29.68 a | 38.25 a | 8.01 a | 45.71 a | 1.82 a | 25.15 a | | |

%FDN = Percentagem de fibra em detergente neutro; %FDA = Percentagem de fibra em detergente ácido; % HEMI= Percentagem de hemicelulose; %CEL = Percentagem de celulose; %LIG = Percentagem de lignina; %C= Percentagem de carbono; %N Percentagem de nitrogênio; e C:N= Relação carbono/nitrogênio. Médias seguidas por uma mesma letra não diferem estatisticamente, em nível de 5% de probabilidade, pelo teste Tuckey.

Para as características como %FDN, %FDA e %CEL todos os genótipos, exceto o Pusa Napier nº1 apresentaram bons resultados. Para a característica C:N, assim como no primeiro ciclo, o genótipo Cubano de Pinda apresentou uma média superior aos demais genótipos com um valor médio de 28,25.

Em resumo, segundo o teste de Tukey de comparação de médias a 5% de probabilidade, os materiais que mais se destacaram nos cinco ciclos de produção foram os genótipos King Grass, Mole de Volta Grande e o Genótipo Mercker 86 - México.

Esses resultados são bastante superiores quando comparados aos encontrados por Rossi (2010) para estes mesmos materiais, considerando que estes resultados foram obtidos com um ciclo de produção de 10 meses e também quando comparado aos resultados de Morais et al., (2009) e Andrade, *et al.*, (2000), com um intervalo de corte de 6 meses.

Esses resultados são muito promissores e asseguram o uso do capim-elefante como uma fonte alternativa de energia através da queima direta da biomassa, com baixo custo energético de produção.

3.3. Análise de variância conjunta

A análise de variância conjunta foi efetuada com base no delineamento em parcelas subdivididas no tempo (Steel e Torrie, 1997), para avaliação do desempenho dos genótipos em vários cortes.

A Tabela 15 contém os quadrados médios para os efeitos de parcela (genótipos), erro A, associado ao efeito de parcela, subparcela (corte), erro B, associado ao efeito de subparcela, interação entre parcela e subparcela, bem como o erro C, associado ao efeito da interação, para as 17 características avaliadas neste trabalho.

Com relação à fonte de variação genótipo, a maioria das características apresentou diferenças significativas, exceto para %MS, %CIN, %C, e relação C:N, indicando diferença entre os genótipos. Este resultado comprova a distinção existente entre cortes realizados em diferentes períodos, mostrando que as plantas podem sofrer alterações em sua estrutura e morfologia em virtude das condições ambientais adversas.

Tabela 15. Resumo da análise de variância conjunta de 17 características avaliadas em 6 genótipos de capim-elefante. Campos dos Goytacazes, RJ. 2010.

| F.V | G.L | QM | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|-----|------------|-------------|-----------|-----------|----------------------|-----------------------|----------|-----------|----------------------|------|------|-------|------|------|----|----|-----|
| | | PMS | NPM | ALT | DC | LL | %MS | %NT | %PB | %CIN | %FDN | %FDA | %HEMI | %CEL | %LIG | %C | %N | C:N |
| BLOCOS | 2 | 10.2986 | 667.264 | 0.0285 | 16.734 | 0.0024 | 109.924 | 0.0137 | 0.5125 | 0.0011 | | | | | | | | |
| GENÓTIPOS (G) | 5 | 88.7298** | 1191.2415** | 0.0808** | 52.1769** | 2.3410** | 31.1407 ^{ns} | 0.0610** | 2.4043** | 0.0016 ^{ns} | | | | | | | | |
| ERRO A | 10 | 19.928 | 252.995 | 0.0079 | 0.3218 | 0.1128 | 93.764 | 0.0035 | 0.1320 | 0.0009 | | | | | | | | |
| CORTES (C) | 4 | 766.5816** | 361.2316** | 11.9659** | 41.5066** | 0.1512 ^{ns} | 1592.5911** | 0.7398** | 28.8885** | 0.0030* | | | | | | | | |
| ERRO B | 8 | 51.496 | 470.087 | 0.02038 | 0.4660 | 0.0408 | 71.186 | 0.0075 | 0.2910 | 0.0006 | | | | | | | | |
| G x C | 20 | 35.3446** | 129.7579** | 0.0656** | 3.0994* | 0.4971** | 74.6054** | 0.0368** | 1.4410** | 0.0008 ^{ns} | | | | | | | | |
| ERRO C | 40 | 2.725.319 | 296.252 | 0.0058 | 13.494 | 0.0633 | 84.971 | 0.0045 | 0.1737 | 0.0006 | | | | | | | | |

| F.V | G.L | QM | | | | | | | | | | | | |
|---------------|-----|------------|------------|-----------|----------------------|-----------|----------------------|----------|-----------------------|--|--|--|--|--|
| | | %FDN | %FDA | %HEMI | %CEL | %LIG | %C | %N | C:N | | | | | |
| BLOCOS | 2 | 37.186 | 96.758 | 14.224 | 37.334 | 0.2224 | 14.073 | 0.0158 | 12.246 | | | | | |
| GENÓTIPOS (G) | 5 | 20.3212** | 22.1672** | 4.7677** | 13.0456* | 3.6635** | 1.2975 ^{ns} | 0.0777* | 14.4680 ^{ns} | | | | | |
| ERRO A | 10 | 25.710 | 29.999 | 0.3085 | 26.422 | 0.5324 | 13.164 | 0.0205 | 59.281 | | | | | |
| CORTES (C) | 4 | 220.9253** | 306.4421** | 20.8101** | 103.9409** | 71.7133** | 1.6438 ^{ns} | 3.6147** | 331.9834** | | | | | |
| ERRO B | 8 | 23.471 | 20.644 | 0.3164 | 13.693 | 0.4565 | 18.060 | 0.0265 | 73.257 | | | | | |
| G x C | 20 | 4.1428** | 4.4634* | 0.6693* | 2.4333 ^{ns} | 1.1286* | 3.3291** | 0.2167** | 19.6378** | | | | | |
| ERRO C | 40 | 16.458 | 21.263 | 0.3360 | 18.331 | 0.5789 | 0.8877 | 0.0249 | 54.768 | | | | | |

PMS= Produção de matéria seca da planta, em t.ha⁻¹; NP = Número de perfis por metro linear; ALT = Altura da planta em metros; DC = diâmetro de colmo em milímetros; LL= Largura da lâmina foliar em centímetros; %MS = Percentagem de matéria seca; CIN= Percentagem de cinza; %NT = Percentagem de nitrogênio total; e %PB = Percentagem de proteína bruta /FDN = Percentagem de fibra em detergente neutro; %FDA = Percentagem de fibra em detergente ácido; % HEMI= Percentagem de hemicelulose; %CEL = Percentagem de celulose; %LIG = Percentagem de lignina; %C= Percentagem de carbono; %N Percentagem de nitrogênio; e C:N= Relação carbono/nitrogênio. **: Significativo em nível de 1% de probabilidade pelo teste F; *: Significativo em nível de 5% de probabilidade pelo teste F; ^{ns} : Não significativo. CV(%): Coeficiente de variação.

A fonte de variação cortes, também foi significativa para a maioria das características, com exceção de LL e %C, indicando a presença de variabilidade, imprescindível para comprovar a distinção existente entre os cortes realizados durante este trabalho.

No que diz respeito à interação genótipo x corte, apenas a característica %CIN e %CEL, não revelou significância. A interação significativa entre genótipos e cortes demonstra que houve alteração na classificação dos genótipos nos diferentes cortes de avaliação. A interação significativa entre genótipos e cortes evidencia que o comportamento dos genótipos não é o mesmo nos sucessivos cortes, ou seja, existem diferenças entre as médias dos genótipos, ou na classificação de seus desempenhos, entre os cinco cortes.

Por ser uma cultura perene, cultivares de capim-elefante devem se apresentar produtivas por todo o cultivo. Para produção de biomassa energética é interessante que os genótipos tenham desempenho mais elevado e estável durante os diferentes cortes.

4. RESUMO E CONCLUSÕES

A queima da biomassa do capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) foi proposta como alternativa para a produção de energia. O potencial energético por esta espécie despertou o interesse de pesquisadores, consumidores e empresários do setor de energia por sua alta produtividade, rápido crescimento principalmente quando comparado a outras culturas tradicionais como, por exemplo, o eucalipto e a cana-de-açúcar (Osava, 2007). Assim, a avaliação de genótipos de capim-elefante com maior produção, qualidade de biomassa, e mais adaptados às condições edafoclimáticas de Campos dos Goytacazes, pode resultar na elevação da capacidade de produção de biomassa energética.

Este trabalho teve como objetivo avaliar genótipos de capim-elefante com elevada capacidade de produção de biomassa energética, por meio de características morfoagronômicas e da qualidade da biomassa. Para tanto foi realizado análises de variância e teste de média a cada ciclo de produção (8, 12, 16, 20 e 24 semanas). Os resultados encontrados são bastante promissores e asseguram o uso do capim-elefante como uma fonte alternativa de energia através da queima direta da biomassa, com baixo custo energético de produção, e em função desses resultados pode-se concluir que:

- 1) Para os cinco ciclos de produção foram constatadas diferenças significativas para a variável PMS;

- 2) O 4º e 5º ciclos de produção foram os que apresentaram melhor desempenho para a produção de biomassa energética de capim-elefante (PMS), com médias de 20,50 e 23,77 t.ha⁻¹;
- 3) Os genótipos que mais se destacaram nos cinco ciclos de produção foram os genótipos King Grass, Mole de Volta Grande e o genótipo Mercker 86 – México;
- 4) Os genótipos, Mole de Volta Grande e King Grass, podem ser indicados para programas de melhoramento genético.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andrade, J. B. de, Ferrari Junior, E., Beisman, D. A. (2000) Avaliação do capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) visando o carvoejamento. In: Encontro de Energia no Meio Rural, n.3, Anais, Campinas, SP.

Cruz, C.D. Programa Genes: Biometria. Editora UFV. Viçosa (MG). 382p. 2006

Fonseca, J.S. de; Martins, G. de A. Curso de estatística. 6 ed. São Paulo: Atlas, 1996. 320p.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT. Análise da Pré-viabilidade econômica de aproveitamento de gramíneas forrageiras para carvoejamento e extração de proteínas. Relatório IPT/DEES-APAT nº 30.157/92, São Paulo. 1992.

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

Osava, M. (2007) Capim elefante, novo campeão em biomassa no Brasil. Agrosoft Brasil. Disponível em: www.agrosoft.org.br/26484. Acessado em: 27/04/2008.

- Pimentel-Gomes, Frederico. Curso de Estatística Experimental, 14^oed. Editora F. Pimentel-Gomes, 2000.
- Quesada, D. M.; Boddey, R. M.; Reis, V.M.; Urquiaga, S. (2004) Parâmetros qualitativos de genótipos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) estudados para a produção de energia através da biomassa. Circular Técnica 8, Seropédica, RJ
- Quesada, D. B. (2005) Parâmetros quantitativos e qualitativos de diferentes genótipos de capim-elefante com potencial para uso energético. Tese (Doutorado em Agronomia) - Seropédica – RJ, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ, 76p.
- Quitete, V. R. S. (2011) Dialelo parcial em capim-elefante: capacidade combinatória em caracteres morfoagronômicos e bromatológicos em Campos Dos Goytacazes, RJ. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes –RJ, Universidade Estadual do Norte /Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 110p.
- Rodrigues, L. R. de A.; Pedreira, J. V. S.; Mattos, H. B. de. (1975) Adaptação ecológica de algumas plantas forrageiras. Zootecnia, Nova Odesa, V.13, n. 4, p. 201-218.
- Rossi, D. A. (2010) Avaliação morfoagronômica e da qualidade da biomassa de acessos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) para fins energéticos no Norte Fluminense. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes –RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 66p.
- Santos, E.A., Silva, D.S., Queiroz Filho. J.L. (2001) Composição química do capim-elefante cv. Roxo cortado em diferentes alturas. Revista Brasileira de Zootecnia, 30(1):18-23.

Santos, M.V.F.; Dubeux JR., J.C.B.; Silva, M.C. (2003) Produtividade e composição química de gramíneas tropicais na Zona da Mata de Pernambuco. Revista Brasileira de Zootecnia, v.32, n.4, p.821-827.

Silva, D. J., Queiroz, A. C. de (2002) Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos. 3. ed. Viçosa. 235p.

Steel, R. G. D.; Torrie, J. H.; Dickey, D. A. (1997) Principles and procedures of statistics: a biometrical approach. 3.ed. New York: McGraw Hill Book, 666p.

CAPÍTULO 2 – PRODUÇÃO E VARIAÇÃO DA QUALIDADE DA BIOMASSA ENERGÉTICA DO CAPIM-ELEFANTE (*Pennisetum Purpureum* Schum.) EM FUNÇÃO DA IDADE DA PLANTA.

RESUMO

BARBÉ, TATIANE DA COSTA. D.S. - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Junho de 2012. PRODUÇÃO E VARIAÇÃO DA QUALIDADE DA BIOMASSA ENERGÉTICA DO CAPIM-ELEFANTE (*Pennisetum Purpureum* Schum.) EM FUNÇÃO DA IDADE DA PLANTA. Orientador: Prof. Rogério Figueiredo Daher.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de cinco ciclos de produção (8, 12, 16, 20 e 24 semanas), sobre o rendimento e composição química relacionada à qualidade da biomassa de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.), fundamentados em análises de regressão. Para este estudo foram avaliadas as seguintes características de importância para produção de biomassa energética: Produção de matéria seca da planta, em $t\cdot ha^{-1}$ (PMS); Percentagem de fibra em detergente neutro (%FDN); e Percentagem de fibra em detergente ácido (%FDA). Observaram-se interações significativas sinalizando que, para cada genótipo avaliado, existe um padrão distinto de comportamento da produção ao longo dos cortes realizados e que o aumento do intervalo de cortes resulta em incrementos para as variáveis estudadas. Os valores de MS, FDN, e FDA aumentaram com a idade da planta. Os genótipos de capim-elefante Cubano de Pinda, Mercker 86 - México e P - 241 – Piracicaba, apresentaram efeito linear significativo em função dos intervalos de cortes. Já os genótipos Pusa Napier,

Mole de Volta Grande e King Grass, apresentaram efeito quadrático. Os genótipos Cubano de Pinda, Mercker 86-México e P-241-Piracicaba, apresentaram um acúmulo de matéria seca durante o ciclo de produção com 24 semanas de idade. Esses resultados não foram observados para os genótipos Pusa Napier nº1, Mole de Volta Grande e King Grass. Para a variável FDN todos os genótipos apresentaram efeito quadrático significativo em função dos intervalos de cortes, exceto o genótipo P-241-Piracicaba que apresentou ausência de regressão. Para este mesmo genótipo houve efeito linear significativo para a variável FDA, enquanto os genótipos Cubano de Pinda, Mercker 86 – México, Pusa Napier nº 1, Mole de Volta Grande e King Grass, apresentaram efeito quadrático significativo, mas que o teor de %FDN e %FDA diminuem a partir da 16ª semana de idade. Sendo assim, pode concluir que os genótipos avaliados neste trabalho podem ser indicados para produção de biomassa energética na região de Campos dos Goytacazes.

ABSTRACT

BARBÉ, TATIANE DA COSTA. D.S. - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. June, 2012. PRODUCTION AND QUALITY OF CHANGE IN BIOMASS ENERGY OF ELEPHANT GRASS (*Pennisetum purpureum* Schum.) DEPENDING ON THE AGE OF THE PLANT. Advisor: Rogério Figueiredo Daher.

The aim of this study was to evaluate the effect of five production cycles (8, 12, 16, 20 and 24 weeks) on the yield and chemical composition related to the quality of biomass Napier Grass (*Pennisetum purpureum* Schum.), based on regression analyzes. For this study we evaluated the following important traits for the production of energetic biomass: Dry matter production plant in $t\cdot ha^{-1}$ (SMP) Percentage of neutral detergent fiber (NDF%) and Percentage of detergent fiber acid (% FDA). For this study we evaluated the following important traits for the production of biomass energetic: Dry matter production of the plant in $t\cdot ha^{-1}$ (SMP) Percentage of neutral detergent fiber (NDF%) and Percentage of fiber in acid detergent (% FDA). We observed significant interactions indicating that, for each genotype evaluated, there is a distinct pattern of behavior of the production over the cuts made and the increase of cutting intervals results in increments for the variables studied. The values of DM, NDF and ADF increased with the plant's age. The genotypes of elephant grass Cuban Pinda, Mercker 86 - Mexico and P - 241 - Piracicaba, showed significant linear effect in terms of cutting intervals. On the other hand the genotypes such as Pusa Napier Mole de Volta Grande and King Grass, has shown a quadratic effect. The genotypes Cuban Pinda, Mercker Mexico and 86-P-241-Piracicaba, showed a dry matter accumulation during the production cycle with 24 weeks of age. These results were not seen for genotypes Pusa Napier nº 1, Mole Volta Grande and King Grass. For the variable NDF all genotypes showed significant quadratic effect in terms of cutting intervals except

genotype P-241-Piracicaba that showed absence of regression. For this same genotype there were a significant linear to the variable FDA, while genotypes Cuban Pinda, Mercker 86 - Mexico, Pusa Napier nº 1, Mole Volta Grande and King Grass, has showed a significant quadratic effect , but the content of% NDF FDA and% decrease from the 16th week of age. Thus it can be concluded that the genotypes evaluated in this study may be indicated for production of energetic biomass in the region of Campos dos Goytacazes.

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o mundo vem passando por uma grave situação no que diz respeito ao suprimento sustentável de energia, principalmente quando se trata de combustíveis fósseis (Couto et al., 2004). A utilização destes combustíveis e seus derivados contribuem para o aquecimento global e tem provocando mudanças climáticas cada vez mais intensas causando sérios riscos à humanidade.

A utilização de biomassa vegetal como fonte de energia é uma alternativa ao consumo de combustíveis fósseis, que segue o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) proposto pelo Protocolo de Kyoto em 1997 (Rocha, 2003).

Por muito tempo o capim-elefante foi utilizado exclusivamente na alimentação animal e nos últimos anos tornou-se uma fonte energética promissora devido a sua alta produtividade, curto ciclo de produção e alto poder calorífico, ganhando a atenção de investidores e empresários do setor energético (Osava, 2007).

A qualidade da biomassa pode ser considerada como resultante da sua composição química. Quando se trata do aproveitamento da biomassa do capim-elefante para uso como fonte alternativa de energia, pela queima bruta, um novo rumo deve ser dado em relação às características desejáveis nesta espécie, agora, busca-se uma planta rica em fibras aliada à alta produção de biomassa, para que esta tenha boa qualidade para ser utilizada com fins energéticos (Moraes, 2009).

Segundo Andrade e Gomide (1971), o aumento da idade da planta e o intervalo de corte são fatores importantes para a variação da composição química da planta de capim-elefante e normalmente é acompanhado pela elevação da percentagem de MS e teor de fibras como celulose e lignina.

É consensual que os constituintes mais desejáveis em uma planta destinados a produção de biomassa energética, como componentes da fração fibrosa, aumentem com a idade da planta e variem de acordo com a parte amostrada. Isso permite concluir que a produção verificada em intervalos de corte mais prolongados, pode significar melhor aproveitamento da planta, melhorando sua qualidade.

Segundo Gennari e Matos (1977), nos componentes da fração fibrosa, enquanto a variação do teor de celulose obedece à curva do intervalo de corte, a lignina nem sempre segue esta mesma tendência, indicando que há outros fatores responsáveis pelo acúmulo deste componente nos tecidos vegetais, como a época de corte, a umidade do solo, a temperatura e a luminosidade. Desse modo, mesmo em condições específicas, em se tratando de produção de biomassa, a capineira necessita ser manejada de modo a oferecer uma planta de melhor composição química possível.

Em se tratando de produção de biomassa de capim-elefante para fins energéticos, há absoluta necessidade de se realizar trabalhos de avaliação de genótipos voltados exclusivamente para este fim. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de 5 ciclos de produção (8, 12, 16, 20 e 24 semanas), sobre o rendimento e composição química de 6 genótipos de capim-elefante relacionada a qualidade da biomassa, fundamentados em análises de regressão, para que se possa explorar, de forma racional, essa gramínea durante todo o seu ciclo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Condições de cultivo e delineamento Experimental

O experimento foi implantado no Centro Estadual de Pesquisas em Agroenergia e Aproveitamento de Resíduos, no Município de Campos dos Goytacazes, Norte do Estado do Rio de Janeiro.

Foram avaliados seis genótipos de capim-elefante mais produtivos e de melhor qualidade da biomassa de acordo com os resultados obtidos por Rossi (2010): P-241-Piracicaba, Mercker 86 - México; Cubano Pinda; Pusa Napier nº 1; Mole de Volta Grande e King Grass.

O plantio foi realizado em fileiras simples, por meio de pedaços de colmos que foram distribuídos em sulcos de 10 cm de profundidade.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com três repetições no modelo de parcelas subdivididas. Cada parcela foi composta por uma linha de 15 metros espaçada de um metro e cada subparcela composta por três metros cada, onde foram considerados apenas dois metros centrais da linha para avaliação, desprezando-se meio metro nas extremidades de cada linha.

Foram realizados seis cortes durante o período experimental. O primeiro foi realizado para uniformização das parcelas e os outros cinco cortes, para coleta de dados. Os cortes foram realizados em parcelas escolhidas aleatoriamente, com 8, 12, 16, 20 e 24 semanas de idade, a partir do corte de uniformização, quando foi dado o início as avaliações.

A cada corte da forrageira, foi retirada uma amostra de 3 a 5 perfilhos inteiros, cortados em pedaços de 3 a 4 cm, pesados e conduzidos ao laboratório

e, após, colocados em estufa de ventilação forçada a 60°C durante 72 horas. As amostras foram moídas em moinho tipo Wiley com peneiras de 1 mm, acondicionadas em frascos de vidros e analisadas posteriormente.

2.2. Características avaliadas

Para este estudo foram avaliadas as características, segundo Moraes et al (2009), de importância para produção de biomassa energética e que são descritas a seguir: Produção de matéria seca da planta, em $t.ha^{-1}$ (PMS); Percentagem de fibra em detergente neutro (%FDN); e Percentagem de fibra em detergente ácido (%FDA).

2.3. Análise estatística dos dados

As análises estatísticas dos dados foram realizadas pelo Aplicativo computacional em Genética e Estatística - Programa Genes (Cruz, 2006) da Universidade Federal de Viçosa.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância conjunta, apresentada na Tabela 15 do capítulo anterior, resultou em efeitos significativos para as fontes de variação genótipo, corte e a interação genótipo x corte, sinalizando que, para cada genótipo avaliado, existe um padrão distinto de comportamento da produção ao longo dos cortes realizados.

3.1. Produção de Matéria seca (PMS)

As estimativas de quadrados médios para as fontes de variação regressão e desvio para os modelos lineares de 1º e 2º grau aplicados aos valores médios de produção de matéria seca (PMS) envolvendo 6 genótipos de capim-elefante referentes aos cinco cortes realizados ao longo do experimento, encontram-se na Tabela 16, Figuras 1 e 2.

Pode-se observar um efeito linear significativo em função dos intervalos de cortes para os genótipos de capim-elefante Cubano de Pinda ($Y = 1,25 + 0,8170x$; $R^2=90,17$); Mercker 86 - México ($Y = -4,34 + 1,3235x$; $R^2=95,84$); e P - 241 - Piracicaba ($Y = -1,822 + 1,0595x$; $R^2=85,21$). Já os genótipos Pusa Napier, Mole de Volta Grande e King Grass, apresentaram efeito quadrático $Y = -27,53 + 5,5027x - 0,1465x^2$ ($R^2=83,45$), $Y = -21,62 + 402125x - 0,1027x^2$ ($R^2=36,24$) e $Y = -17,55 + 4,2863x - 0,10405,25x^2$ ($R^2=36,24$), respectivamente.

De acordo com Queiroz Filho et al. (2000), o aumento do intervalo de cortes resulta em incrementos na produção de matéria seca, isso pode ser

Tabela 16. Estimativas de quadrados médios para as fontes de variação devido à regressão e aos desvios de regressão para os modelos lineares de 1° e 2° graus para produção de matéria seca (PMS), envolvendo 6 genótipos de capim-elefante.

| QM da Regressão | | | | | | | | |
|----------------------|--------|----|-----------------------|--------------------|----|-----------------------|--------------------|--------|
| Genótipo | FV | GL | 1° Grau | R ² (%) | GL | 2° Grau | R ² (%) | Modelo |
| Cubano de Pinda | Reg | 1 | 320.4852** | 86.74 | 2 | 0.4008 ^{ns} | 90.17 | 1 |
| | Desvio | 3 | 11.7905* | | 2 | 17.4854 ^{ns} | | |
| Mercker 86-México | Reg | 1 | 840.8288** | 96.09 | 2 | 7.3562 ^{ns} | 95.84 | 1 |
| | Desvio | 3 | 8.4468 ^{ns} | | 2 | 8.9922 ^{ns} | | |
| Pusa Napier nº 1 | Reg | 1 | 318.2167** | 42.81 | 2 | 230.7779** | 97.06 | 2 |
| | Desvio | 3 | 79.6546 ^{ns} | | 2 | 4.0930 ^{ns} | | |
| Mole de Volta Grande | Reg | 1 | 408.9579** | 62.38 | 2 | 113.5880** | 83.45 | 2 |
| | Desvio | 3 | 56.5731** | | 2 | 23.5657* | | |
| P 241 Piracicaba | Reg | 1 | 538.9326** | 90.11 | 2 | 0.1119 ^{ns} | 85.21 | 1 |
| | Desvio | 3 | 14.3786 ^{ns} | | 2 | 25.5120 ^{ns} | | |
| King Grass | Reg | 1 | 439.5079** | 36.24 | 2 | 116.3466** | 31.99 | 2 |
| | Desvio | 3 | 134.2529** | | 2 | 143.2061** | | |

** = Significativo em nível de 1% de probabilidade pelo teste F; * = Significativo em nível de 5% de probabilidade pelo teste F; ^{ns} = Não significativo.

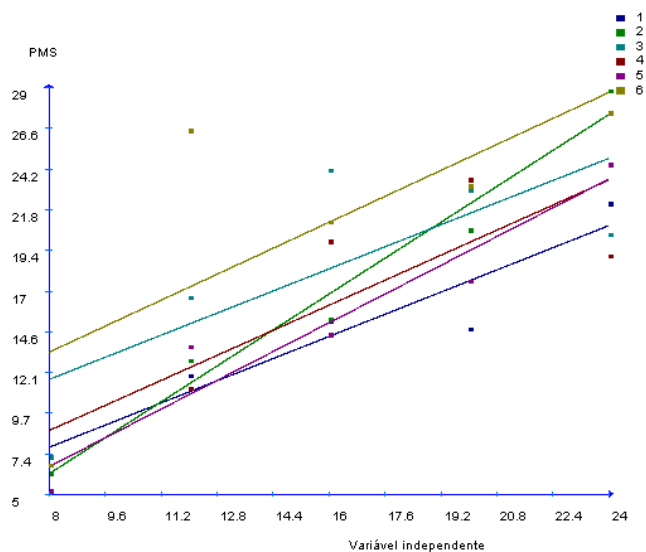


Figura 1. Curvas ajustadas a característica produção de matéria seca (PMS) obtida de cinco cortes referentes aos genótipos 1= Cubano de Pinda; 2= Mercker 86 México; 3=Pusa Napier nº1; 4=Mole de Volta Grande; 5= P-241-Piracicaba; 6= King Grass.

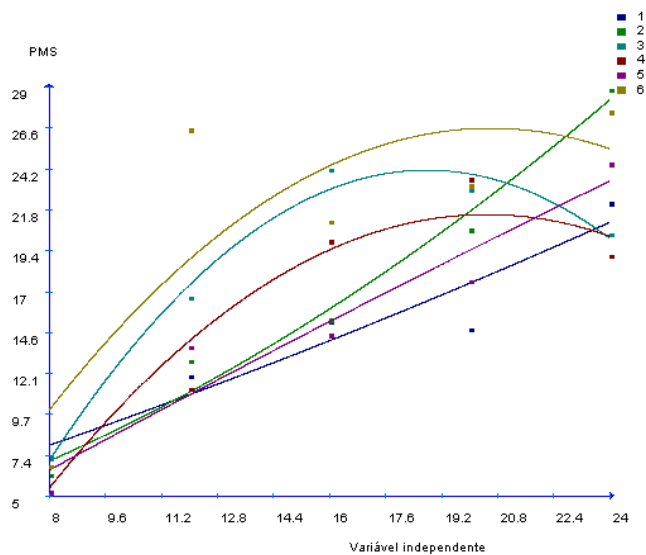


Figura 2. Curvas ajustadas para a característica produção de matéria seca (PMS) obtida de cinco cortes referentes aos genótipos 1= Cubano de Pinda; 2= Mercker 86 México; 3=Pusa Napier nº1; 4=Mole de Volta Grande; 5= P-241-Piracicaba; 6= King Grass.

observado na Tabela 17, onde os resultados demonstram que todos os genótipos apresentaram um incremento maior que 50% de matéria seca com 12 semanas de idade com exceção o genótipo Mole de Volta Grande. Esses resultados também foram observados por Quitete (2011) na avaliação híbridos de capim-elefante em Campos dos Goytacazes, por Rossi (2010) avaliando características morfoagronômicas e da qualidade da biomassa de genótipos de capim-elefante também em Campos dos Goytacazes, e por Santos et al. (2003) avaliando a produtividade da cultivar Pioneiro nas condições da Zona de Mata de Pernambuco. Os resultados encontrados neste trabalho também podem ser explicados pela grande quantidade de chuva e a alta temperatura na região durante os meses que antecederam o corte.

A análise de regressão demonstrou que os genótipos Cubano de Pinda, Mercker 86-México e P-241-Piracicaba, apresentaram um acúmulo de matéria seca durante todo o ciclo de produção com 24 semanas de idade. Esses resultados não foram observados para os genótipos Pusa Napier nº1 e King Grass, uma vez que os mesmos apresentaram um acúmulo de matéria seca até 16 semanas de idade, seguido de um período de queda desse teor, que pode ser explicado pelo período de florescimento da cultura, uma vez que os cortes ocorreram entre os meses de abril e maio. Isso indica que o teor de MS no capim-elefante é afetado não só pela idade da planta, mas também pelo período de florescimento do capim-elefante.

3.2. Percentagem de Fibra em Detergente Neutro e em Detergente Ácido (FDN e FDA)

A análise de FDN estima a concentração total de celulose, hemicelulose e lignina da parede celular. E a FDA representa uma estimativa do teor de celulose e lignina da amostra (Santos et al., 2003).

De forma geral, as concentrações de FDN e FDA aumentam com a idade da planta. Para produção de biomassa energética, quanto maior esses valores de FDN e FDA, maior e melhor será a qualidade da biomassa (Santos et al., 2003).

Nas Tabelas Tabela 18 e 19 encontram-se as estimativas de quadrados médios para as fontes de variação, regressão e desvio para os modelos lineares de 1º e 2º grau aplicados aos valores médios de FDN e FDA

Tabela 17. Produção de matéria seca (t.ha⁻¹) envolvendo 6 genótipos de capim-elefante em diferentes idades de cortes

| Genótipos | Idades de Corte (semanas) | | | | Modelo | Equação de Regressão | R ² | |
|----------------------|---------------------------|-------|-------|-------|--------|----------------------|------------------------------------|-------|
| | 8 | 12 | 16 | 20 | | | | 24 |
| Cubano de Pinda | 7.23 | 12.08 | 15.29 | 14.82 | 22.21 | 1 | $Y = 1,25 + 0,8170x$ | 90.17 |
| Mercker 86 - México | 6.25 | 12.97 | 15.37 | 20.66 | 28.87 | 1 | $Y = -4,34 + 1,3235x$ | 95.84 |
| Pusa Napier nº1 | 7.27 | 16.69 | 24.18 | 23.05 | 20.37 | 2 | $Y = -27,53 + 5,5027x - 0,1465x^2$ | 97.06 |
| Mole de Volta Grande | 6.81 | 11.31 | 19.97 | 23.62 | 19.11 | 2 | $Y = -21,62 + 402125x - 0,1027x^2$ | 83.45 |
| P-241-Piracicaba | 5.26 | 13.75 | 14.49 | 17.63 | 24.51 | 1 | $Y = -1,822 + 1,0595x$ | 85.21 |
| King Grass | 6.80 | 26.54 | 21.13 | 23.25 | 27.58 | 2 | $Y = -17,55+4,2863x-0,10405,25x^2$ | 36.24 |

Tabela 18. Estimativas de quadrados médios para as fontes de variação devido à regressão e aos desvios de regressão para os modelos lineares de 1° e 2° grau para Fibra em Detergente Neutro (FDN), envolvendo 6 genótipos de capim-elefante.

| Genótipo | FV | QM da Regressão | | | | | | Modelo |
|----------------------|--------|-----------------|-----------------------|--------------------|----|-----------------------|--------------------|----------|
| | | GL | 1° Grau | R ² (%) | GL | 2° Grau | R ² (%) | |
| Cubano de Pinda | Reg | 1 | 29.9029** | 18.74 | 2 | 44.9616** | 58.28 | 2 |
| | Desvio | 3 | 43.2134** | | 2 | 43.5688** | | |
| Mercker 86-México | Reg | 1 | 77.9047** | 45.06 | 2 | 62.6890** | 81.33 | 2 |
| | Desvio | 3 | 31.6501** | | 2 | 16.1306** | | |
| Pusa Napier 1 | Reg | 1 | 15.4937 ^{ns} | 6.59 | 2 | 53.7301** | 29.48 | 2 |
| | Desvio | 3 | 73.1065** | | 2 | 82.7448** | | |
| Mole de Volta Grande | Reg | 1 | 73.6038** | 48.21 | 2 | 26.3438** | 78.63 | 2 |
| | Desvio | 3 | 26.3491** | | 2 | 9.2494** | | |
| P 241 Piracicaba | Reg | 1 | 8.8073 ^{ns} | 9.02 | 2 | 14.6273 ^{ns} | 43.71 | Ausência |
| | Desvio | 3 | 29.6010** | | 2 | 44.9454** | | |
| Kiing Grass | Reg | 1 | 17.4538 ^{ns} | 11.70 | 2 | 56.1169** | 49.34 | 2 |
| | Desvio | 3 | 43.87.71** | | 2 | 37.7573 | | |

** = Significativo em nível de 1% de probabilidade pelo teste F; * = Significativo em nível de 5% de probabilidade pelo teste F; ns = Não significativo.

Tabela 19. Estimativas de quadrados médios para as fontes de variação devido à regressão e aos desvios de regressão para os modelos lineares de 1° e 2° graus para Fibra em Detergente Ácido (FDA), envolvendo 6 genótipos de capim-elefante.

| Genótipo | FV | QM da Regressão | | | | | | Modelo |
|----------------------|--------|-----------------|------------|--------------------|----|------------|--------------------|--------|
| | | GL | 1° Grau | R ² (%) | GL | 2° Grau | R ² (%) | |
| Cubano de Pinda | Reg | 1 | 91.7519** | 43.88 | 2 | 43.4701** | 64.67 | 2 |
| | Desvio | 3 | 39.1101** | | 2 | 36.9300** | | |
| Mercker 86-México | Reg | 1 | 158.8001** | 60.78 | 2 | 52.3795** | 80.84 | 2 |
| | Desvio | 3 | 34.1425** | | 2 | 25.0241** | | |
| Pusa Napier 1 | Reg | 1 | 48.8325** | 18.59 | 2 | 43.2153** | 35.05 | 2 |
| | Desvio | 3 | 71.2407** | | 2 | 85.2535** | | |
| Mole de Volta Grande | Reg | 1 | 135.1250** | 61.62 | 2 | 36.95 46** | 78.47 | 2 |
| | Desvio | 3 | 28.0490** | | 2 | 23.5963 | | |
| P 241 Piracicaba | Reg | 1 | 55.1903** | 34.55 | 2 | 14.6273ns | 43.71 | 1 |
| | Desvio | 3 | 34.8394** | | 2 | 44.9454** | | |
| Kiing Grass | Reg | 1 | 27.1013** | 13.33 | 2 | 53.3722** | 13.33 | 2 |
| | Desvio | 3 | 58.6966** | | 2 | 61.3588** | | |

** = Significativo em nível de 1% de probabilidade pelo teste F; * = Significativo em nível de 5% de probabilidade pelo teste F; ns = Não significativo.

envolvendo 6 genótipos de capim-elefante referentes aos cinco cortes realizados ao longo do experimento.

Pode-se observar que para a variável FDN todos os genótipos apresentaram efeito quadrático significativo em função dos intervalos de cortes, exceto o genótipo P-241-Piracicaba que apresentou ausência de regressão.

Para este mesmo genótipo pode-se observar (Tabela 19) que houve efeito linear significativo para a variável FDA, enquanto os genótipos Cubano de Pinda ($R^2=64,67$), Mercker 86 – México ($R^2=80,84$), Pusa Napier nº 1 ($R^2=35,05$), Mole de Volta Grande ($R^2= 78,47$) e King Grass ($R^2= 13,33$) apresentaram efeito quadrático significativo.

Observando as Tabelas 20 e 21, pode-se notar que os teores de %FDN e %FDA (Figuras 3, 4, 5, e 6) diminuem a partir da 12ª semana de idade, exceto para o genótipo Mercker 86 – México que ocorre a partir da 16ª semana. Os genótipos Pusa Napier nº 1 e o King Grass foram os que apresentaram maiores perdas no teor de FDN (Tabela 20). Pereira et al. (2002) estudando genótipos de capim-elefante, encontraram também para essa variável, uma queda de valores a partir de 75 a 90 dias de idade das plantas. Porém, os demais genótipos se mostraram estáveis com relação aos teores de FDN encontrados no decorrer de 24 semanas de idade, sendo que o genótipo Mole de Volta Grande apresentou os maiores teores de FDN.

Com relação à variável FDA pode-se verificar (Tabela 21) que igualmente ocorre um decréscimo nos teores de fibra a partir da 16ª semana de idade e que o genótipo Mole de Volta Grande apresentou as maiores médias para esta variável e uma vez apresentando os melhores resultados pode-se esperar que o genótipo Mole de Volta Grande apresente também os melhores teores de celulose e lignina.

Esses resultados referentes às variáveis relacionadas ao teor de fibra no capim-elefante apontam que não há necessidade de manter o material por mais de 20 semanas no campo, podendo ser utilizado para produção de biomassa com menos de seis meses de idade, porém, deve-se realizar mais estudos durante as épocas de seca desse material, para que possa ter certeza sobre esses valores.

Tabela 20. Teor de Fibra em Detergente Neutro (FDN) envolvendo 6 genótipos de capim-elefante em diferentes idades de cortes

| Genótipos | Intervalos de Cortes (semanas) | | | | Modelo | Equação de Regressão | R ² | |
|----------------------|--------------------------------|-------|-------|-------|--------|----------------------|------------------------------|-------|
| | 8 | 12 | 16 | 20 | | | | 24 |
| Cubano de Pinda | 69.98 | 79.9 | 77.07 | 76.45 | 76.64 | 2 | $Y=54.81+2.7106x-0.0769x^2$ | 58.28 |
| Mercker 86 - México | 69.06 | 77.6 | 78.07 | 76.67 | 77.55 | 2 | $Y=52.18+2.8573x-0.07675x^2$ | 81.33 |
| Pusa Napier nº1 | 68.03 | 79.58 | 75.9 | 71.64 | 75.52 | 2 | $Y=55.39+2.4512x-0.711x^2$ | 29.48 |
| Mole de Volta Grande | 71.37 | 79.8 | 78.65 | 79.29 | 79.41 | 2 | $Y=56.64+2.5083x-0.662x^2$ | 78.63 |
| P-241-Piracicaba | 71.09 | 78.95 | 75.72 | 74.39 | 75.98 | Ausência | $Y=29.87+1.5274x-0.3715x^2$ | 43.71 |
| King Grass | 70.28 | 80.03 | 76.86 | 75.58 | 76.24 | 2 | $Y=56.5313+2051x-0.0726x^2$ | 49.34 |

Tabela 21. Teor de Fibra em Detergente Ácido (FDA) envolvendo 6 genótipos de capim-elefante em diferentes idades de cortes

| Genótipos | Intervalos de Corte (semanas) | | | | | Modelo | Equação de Regressão | R ² |
|----------------------|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|-------------------------------------|----------------|
| | 8 | 12 | 16 | 20 | 24 | | | |
| Cubano de Pinda | 37.22 | 47.59 | 44.55 | 45.77 | 46.87 | 2 | $Y = 23.13 + 2.4766x - 0.0637x^2$ | 64.67 |
| Mercker 86 - México | 37.23 | 47.13 | 47.16 | 46.64 | 48.97 | 2 | $Y = 20.5640 + 2.8133x - 0.0699x^2$ | 80.84 |
| Pusa Napier nº1 | 36.38 | 48.78 | 44.11 | 42.13 | 46.07 | 2 | $Y = 24.16 + 2.3520x - 0.635x^2$ | 35.05 |
| Mole de Volta Grande | 39.23 | 48.61 | 46.82 | 48.83 | 49.72 | 2 | $Y = 24.99 + 2.4124x - 0.0588x^2$ | 78.47 |
| P-241-Piracicaba | 37.86 | 47.06 | 43.26 | 43.39 | 46.46 | 1 | $Y = 29.87 + 1.5274x - 0.0371x^2$ | 43.71 |
| King Grass | 39.04 | 50.44 | 45.86 | 44.86 | 46.56 | 2 | $Y = 25.75 + 2.4961x - 0.0706x^2$ | 13.33 |

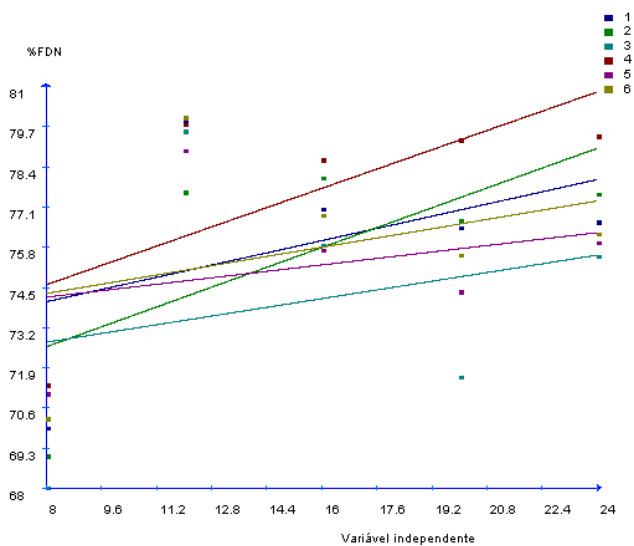


Figura 3 - Linhas para a característica Fibra em Detergente Neutro (FDN) obtida de cinco cortes referentes aos genótipos 1= Cubano de Pinda; 2= Mercker 86 México; 3=Pusa Napier nº1; 4=Mole de Volta Grande; 5= P-241-Piracicaba; 6= King Grass.

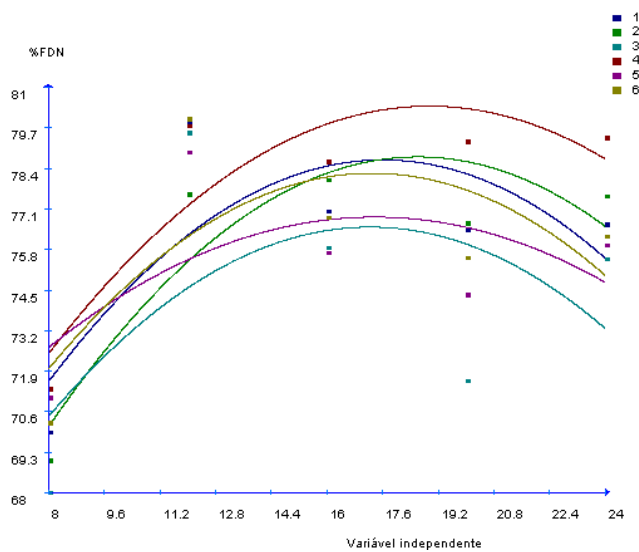


Figura 4 - Curvas para a característica Fibra em Detergente Neutro (FDN) obtida de cinco cortes referentes aos genótipos 1= Cubano de Pinda; 2= Mercker 86 México; 3=Pusa Napier nº1; 4=Mole de Volta Grande; 5= P-241-Piracicaba; 6= King Grass.

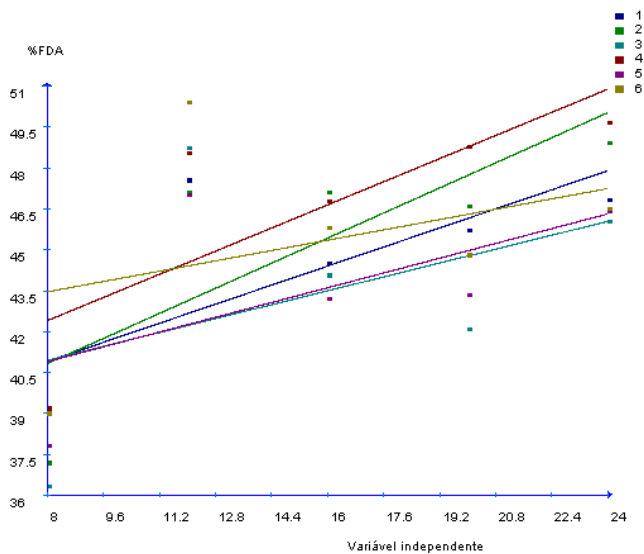


Figura 5 - Linhas para a característica Fibra em Detergente Ácido (FDA) obtida de cinco cortes referentes aos genótipos 1= Cubano de Pinda; 2= Mercker 86 México; 3=Pusa Napier nº1; 4=Mole de Volta Grande; 5= P-241-Piracicaba; 6= King Grass.

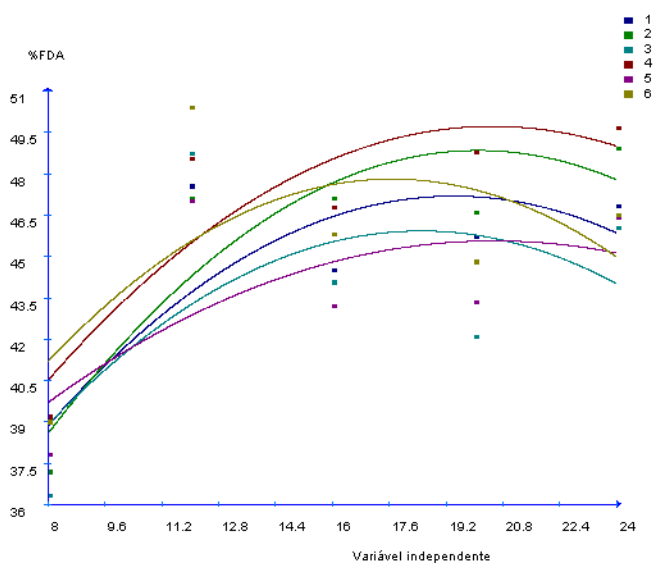


Figura 6 - Curvas para a característica Fibra em Detergente Ácido (FDA) obtida de cinco cortes referentes aos genótipos 1= Cubano de Pinda; 2= Mercker 86 México; 3=Pusa Napier nº1; 4=Mole de Volta Grande; 5= P-241-Piracicaba; 6= King Grass.

4. RESUMO E CONCLUSÕES

O uso de fontes renováveis de energia está se tornando cada vez mais necessário, no intuito de alcançar as mudanças necessárias para enfrentar os impactos ambientais. A biomassa é a forma mais comum de energia renovável e que no Brasil vem sendo amplamente utilizada.

Por ser uma espécie de rápido crescimento vegetativo e alta produção, a queima da biomassa do capim-elefante apresenta alto potencial como fonte alternativa de energia e logo se tornará intensa a procura de variedades para a produção de biomassa adaptada às diferentes regiões.

Sendo assim, objetivou-se com esse trabalho avaliar o efeito de 5 ciclos de produção (8, 12, 16, 20 e 24 semanas), sobre o rendimento e composição química relacionada a qualidade da biomassa, fundamentados em análises de regressão, para que se possa explorar, de forma racional, essa gramínea durante todo o seu ciclo.

Os resultados encontrados são bastante promissores e asseguram o uso do capim-elefante como uma fonte alternativa de energia através da queima direta da biomassa, com baixo custo energético de produção, e em função desses resultados pode-se concluir que:

- 1) Os genótipos Cubano de Pinda, Mercker 86 - México e P - 241 - Piracicaba apresentaram efeito linear significativo para a variável produção de matéria seca (PMS);

- 2) Os genótipos Pusa Napier, Mole de Volta Grande e King Grass, apresentaram efeito quadrático para a variável produção de matéria seca (PMS);
- 3) O genótipo que apresentou maior produção de matéria seca e que pode ser indicado para produção de biomassa energética foi o genótipo King Grass seguido do genótipo Pusa Napier nº1;
- 4) Os genótipos Cubano de Pinda, Mercker 86-México e P-241-Piracicaba, apresentaram um acúmulo de matéria seca durante todo o ciclo de produção;
- 5) O genótipo Mole de Volta Grande apresentou as maiores médias para teores de fibra, conseqüentemente para celulose e lignina;
- 6) O aumento do intervalo de cortes resulta em incrementos na produção de matéria seca e teores de fibra no capim-elefante para produção de biomassa energética.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFIAS

- Andrade, I.F., Gomide, J.A. (1971). Curva de crescimento e valor nutritivo de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) Taiwan A-146. Revista Ceres, (18): 431-47.
- Couto, L; Watzlawick, L. F.; Câmara, D. (2004) Vias de valorização energética da biomassa Biomassa & Energia, v. 1, n. 1, p.71-92.
- Cruz, C.D. Programa Genes: Biometria. Editora UFV. Viçosa (MG). 382p. 2006
- Gennari, S.M., Matos, H.B. 1977. Influência da idade do estand sobre a produção, digestibilidade e composição de três variedades de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum.). Boletim Industrial Animal, 34(2):253-62.
- Morais, R.F.; Souza, B. J. de; Leite, J. M.; Soares, L. H. de B.; Alves, B. J. R.; Boddey, R. M.; Urquiaga, S. (2009). Elephant Grass genotypes for bioenergy production by direct biomass combustion. Pesquisa Agropecuária Brasileira V. 44, n. 2, p.133-140.
- Osava, M. (2007) Capim elefante, novo campeão em biomassa no Brasil. Agrosoft Brasil. Disponível em: www.agrosoft.org.br/26484. Acessado em: 27/04/2008
- Pereira, A.V.; Cruz, C.D.; Ferreira, R.P. Influência da estabilização de genótipos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) sobre a estimativa da

repetibilidade de características forrageiras. *Ciência e Agrotecnologia*, v.26, n.4, p.762-767, 2002.

Queiroz Filho, J.L.; Silva, D.S.; Nascimento, I.S. Produção de matéria seca e qualidade do capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) cultivar roxo em diferentes idades de corte. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.29, p.69-74, 2000.

Quitete, V. R. S. (2011) Dialelo parcial em capim-elefante: capacidade combinatória em caracteres morfoagronômicos e bromatológicos em Campos Dos Goytacazes, RJ. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes –RJ, Universidade Estadual do Norte /Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 110p.

Rocha, M. T. Aquecimento global e o mercado de carbono: uma aplicação do modelo CERT. 2003. 214 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP.

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

Santos, M.V.F.; Dubeux JR., J.C.B.; Silva, M.C. Produtividade e composição química de gramíneas tropicais na Zona da Mata de Pernambuco. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.32, n.4, p.821-827, 2003.

CAPÍTULO 3 - CARACTERÍSTICAS FOTOSSINTÉTICAS DE GENÓTIPOS DE
CAPIM-ELEFANTE (*Pennisetum purpureum* Schum.) PARA PRODUÇÃO DE
BIOMASSA.

RESUMO

BARBÉ, TATIANE DA COSTA. D.S. - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Junho de 2012. CARACTERÍSTICAS FOTOSSINTÉTICAS DE GENÓTIPOS DE CAPIM-ELEFANTE (*Pennisetum purpureum* Schum.) PARA PRODUÇÃO DE BIOMASSA. Orientador: Prof. Rogério Figueiredo Daher.

Nos últimos anos, o capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) vem despertando o interesse de empresários do setor energético, devido à alta produtividade em biomassa quando comparado a outras culturas. O presente trabalho teve como objetivo avaliar as trocas gasosas de 6 genótipos de capim-elefante (P-241-Piracicaba, Mercker 86 - México; Cubano Pinda; Pusa Napier nº 1; Mole de Volta Grande e King Grass) cultivados sob condição de campo. O experimento foi implantado no centro Estadual de Pesquisa em Agroenergia e Aproveitamento de Resíduos do Estado do Rio de Janeiro. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com três repetições, e as medições foram realizadas em plantas com 8 semanas após o plantio. A taxa fotossintética líquida (A), condutância estomática (g_s), transpiração (E), déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar ($DPV_{\text{folha-ar}}$) foram medidos entre 7 e 9 horas por meio de Sistema Portátil de Medição de Trocas Gasosas por Infravermelho (IRGA), modelo LI-6200. Às 7 horas e às 12 horas foi medido o rendimento quântico máximo do FSII (F_v/F_m) com o fluorímetro modulado portátil Mini-PAM. Com os valores de F_v/F_m , foi possível calcular o percentual de fotoinibição. O genótipo Mole de Volta Grande apresentou os menores valores para taxa de fotossíntese líquida (A). Já para condutância estomática (g_s) e déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar ($DPV_{\text{folha-ar}}$) foi observado que os genótipos Cubano de Pinda, Mercker 86 - México e Mole de Volta Grande apresentaram os menores valores quando comparados aos demais genótipos. Para a variável transpiração (E), os genótipos foram agrupados em Cubano de Pinda e Mercker 86 - México

com os menores valores seguidos do genótipo Mole de Volta Grande, Pusa Napier nº 1, King Grass e P-241-Piracicaba. Às 7 horas, os valores de F_v/F_m não apresentaram diferenças entre os genótipos e se mantiveram nos valores indicados como boa eficiência do fotossistema II (0,75 – 0,85). Às 12 horas os valores de F_v/F_m também não apresentaram diferença entre os genótipos, que reduziram da faixa considerada ideal para boa atividade do PSII (0,65 - 0,7). Essa queda não foi suficiente para causar fotoinibição em nenhum dos genótipos. Todos os genótipos avaliados apresentaram boas características fotossintéticas, sem diferenças entre os genótipos. O genótipo Mole de Volta Grande foi o que apresentou menores valores para as características fisiológicas avaliadas.

ABSTRACT

BARBÉ, TATIANE DA COSTA. D.S. - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. June, 2012. PHOTOSYNTHETIC CHARACTERISTICS OF GENOTYPES ELEPHANT GRASS (*Pennisetum purpureum* Schum.) FOR PRODUCTION OF BIOMASS. Advisor: Rogério Figueiredo Daher.

In recent years, the elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum.) has awakening the interest of energy sector businessmen because of high biomass productivity when compared to other cultures. This study aimed to assess gas exchange of six elephant grass genotypes (P-241-Piracicaba, Mercker 86 - Mexico; Cuban Pinda; Pusa Napier nº 1; Mole Volta Grande and King Grass) grown under field conditions. The experiment was established in State Centre for Research in Agro-Energy and Waste Utilization of the State of Rio de Janeiro. The experimental design was a randomized block with three replicates, and the measurements were performed on 8 weeks after planting plants. The net photosynthetic rate (A), stomatal conductance (gs), transpiration (E), vapor pressure deficit between leaf and air ($DPV_{\text{leaf-air}}$) were measured between 7 and 9 am with a Portable Infrared gas analyser (IRGA) model LI-6200. At 7 am and 12 pm was measured the maximum quantum yield of PSII (Fv / Fm) with portable modulated fluorimeter mini-PAM. With the values of Fv / Fm was possible to

calculate the percentage of photoinhibition. The Mole Volta Grande genotype had the lowest values for net photosynthesis (A). For stomatal conductance (gs) and vapor pressure deficit between leaf and air (DPVleaf-air) it was observed that genotypes Cuban Pinda, Mercker 86 - Mole in Mexico and the Big Bend had the lowest values comparing to the other genotypes. For the transpiration (E) data, genotypes were grouped into Cuban Pinda and Mercker 86 - Mexico followed with the lowest values of genotype Mole Volta Grande, Pusa Napier n° 1, King Grass and P-241-Piracicaba. At 7 pm, the values of F_v / F_m did not differ among genotypes and remained in the values indicated as good efficiency of photosystem II (0.75 - 0.85). At 12 pm the values of F_v / F_m also did not differ among genotypes, but at this time it showed a reduction of range considered ideal for the PSII activity (0.65 - 0.7). This drop was not enough to cause photoinhibition in any of the genotypes. All genotypes showed good gas exchange data, and did not presented differences among genotypes. Despite of these no differences among genotypes the Mole Volta Grande genotype showed the lowest values for the physiological characteristics.

1. INTRODUÇÃO

Muitos países dependem de fontes de energia oriundas principalmente de combustíveis fósseis, como petróleo e seus derivados para atender as suas necessidades energéticas (IPT, 1992). Entretanto, nas últimas décadas o uso excessivo destes recursos, aliado a outros fatores, vem causando naturalmente grandes impactos na humanidade e principalmente ao meio ambiente (Quesada, 2005). Fato este que vem levando muitos países a buscar alternativas tanto em nível social, tecnológico, econômico e ambiental ao uso desses combustíveis.

O capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) é uma forrageira tropical amplamente difundida por todo o Brasil, e foi empregada, durante décadas por pecuaristas de todo o país visando à intensificação na produção de carne e leite. Porém, nos últimos anos, tal forrageira, vem despertando o interesse de grandes consumidores e empresários do setor de energia, devido à sua alta produtividade de biomassa quando comparada ao eucalipto e à cana-de-açúcar (Urquiaga, 2004).

Cultivado em condições ambientais bastante divergentes está entre as espécies de maior eficiência fotossintética com elevada capacidade de produção e qualidade de biomassa (Pereira et al., 2002).

A cultura de capim-elefante é altamente eficiente na fixação de CO₂ atmosférico durante o processo de fotossíntese para a produção de biomassa vegetal. Esta característica é típica de gramíneas tropicais, de metabolismo C₄, que crescem rapidamente e otimizam o uso da água, dos nutrientes do solo e da energia solar incidente para a produção de biomassa vegetal (Lemus et al., 2002).

Sua produção está diretamente relacionada na transformação de energia solar em compostos orgânicos via fotossíntese e é determinada por fatores como disponibilidade de CO₂, luz, água, temperatura entre outros (Jacques, 1990).

O efeito da luz é determinante no crescimento das plantas, e depende de sua duração, intensidade e qualidade (Wilson, 1982). Em plantas, como o capim-elefante, o aumento da produtividade está relacionado com a intensidade luminosa, devido ao importante papel deste fator na fotossíntese. Entretanto, segundo Kyle & Ohad (1987), a capacidade fotossintética de uma planta pode ser severamente reduzida quando exposta a níveis de radiação que excedam os requeridos para saturar a fotossíntese.

O estresse hídrico causa severa inibição da fotossíntese, pelos efeitos estomáticos e não estomáticos (Kaiser, 1987). O efeito estomático leva a uma indisponibilidade de CO₂ nos espaços intercelulares, reduzindo a sua assimilação nos cloroplastos (Faria et al., 1996). Já o efeito não estomático está relacionado às perturbações nos processos fotoquímicos e nos processos bioquímicos com a redução na eficiência e atividade da rubisco e de outras enzimas do metabolismo fotossintético (Taiz & Zeiger, 2010). Porém, Passos (1999) revela que o capim-elefante apresenta alto grau de regulação na abertura estomática.

Wilson (1982) aponta que a temperatura constitui um fator limitante e que influencia diretamente na qualidade da forrageira. Sob altas temperaturas, as forrageiras apresentam maior proporção de parede celular e aumento de lignificação (Van Soest, 1994).

A literatura apresenta um amplo estudo fisiológico e metabólico conduzidos com capim-elefante que já permitiram elucidar várias questões quando se trata de produção de biomassa para ganho de peso e produção de leite em bovinos. Porém, diante das características desejáveis do capim-elefante para uso energético, novos estudos vêm sendo desenvolvidos para aprimorar o uso de sua biomassa como fonte alternativa de energia, e neste sentido, um novo enfoque deve ser tomado em relação às características desejáveis dessa espécie.

No entanto, mais estudos devem ser realizados para identificação e caracterização de novos genótipos com potencial para uso energético, e também para avaliar o potencial de adaptação em diferentes condições edafoclimáticas. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o processo de trocas gasosas

de genótipos de capim-elefante cultivados sob condições de campo na cidade de Campos dos Goytacazes - RJ.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O Experimento foi conduzido no Centro Estadual de Pesquisas em Agroenergia e Aproveitamento de Resíduos, no Município de Campos dos Goytacazes, Norte do Estado do Rio de Janeiro.

Para este trabalho, foram avaliados seis genótipos de capim-elefante: P-241-Piracicaba, Mercker 86 - México; Cubano Pinda; Pusa Napier; Mole de Volta Grande; e King Grass, sendo esses os mais produtivos e de melhor qualidade da biomassa de acordo com os resultados obtidos por Rossi (2010).

O plantio foi realizado em fileiras simples, por meio de pedaços de colmos na disposição “pé com ponta” que foram distribuídos em sulcos de 10 cm de profundidade.

A adubação de plantio foi realizada com 20 Kg.ha⁻¹ de superfosfato simples de acordo com a análise de solo, realizada no Centro de Análises da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) - Campus Dr. Leonel. A irrigação por aspersão foi oferecida apenas durante a emergência das plantas duas vezes ao dia durante trinta dias. Após 60 dias de plantio, complementou-se a adubação com 3 Kg.ha⁻¹ de sulfato de amônio e 1 Kg.ha⁻¹ de cloreto de potássio.

O delineamento estatístico experimental utilizado foi o de blocos casualizados com três repetições, e as medições foram realizadas no mês de fevereiro de 2011 em plantas com 8 semanas de idade após o corte de uniformização.

As medidas de taxa fotossintética líquida (A), condutância estomática (g_s), transpiração (E), déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar (DPV_{folha-ar}) foram

realizadas na primeira folha totalmente expandida e de aspecto saudável, utilizando-se a parte mediana da lâmina foliar, entre 7 e 9 horas por meio de Sistema Portátil de Medição de Trocas Gasosas por Infravermelho (IRGA), modelo LI-6200.

As variáveis da fluorescência da clorofila *a* foram determinadas com o fluorímetro modulado portátil Mini-PAM (Heinz Walz, Effeltrich, Germany) com o auxílio de pinças de metal (DLC-8) acopladas ao sensor do fluorímetro e colocadas na região mediana das folhas, no lado adaxial do limbo foliar, evitando-se a nervura central. As medidas foram realizadas às 7 e 12 horas para aferição do rendimento quântico máximo do FSII (F_v/F_m). Com base nos valores de F_v/F_m , foi possível calcular o percentual de fotoinibição com o uso da seguinte fórmula: $\%FOTOINIBIÇÃO = [1 - (F_v/F_m \text{ 12:00})/(F_v/F_m \text{ 7:00})] \times 100$.

As análises estatísticas dos dados foram realizadas com o auxílio do Aplicativo computacional em genética e estatística - Programa Genes (Cruz, 2006) da Universidade Federal de Viçosa.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os dados climáticos obtidos pela Estação meteorológica da Unidade de Pesquisa e Extensão Agroambiental - UPEA/IFF - Campos dos Goytacazes (Quadro 2), o mês de fevereiro apresentou médias de temperatura variando entre 25 e 27 °C, umidade relativa do ar em torno de 73% e precipitação média de 20,51 mm de chuva.

Os resultados das análises de variância ($P < 0,01$ e $P < 0,05$) das variáveis fisiológicas, envolvendo os 6 genótipos, e ainda os quadrados médios, média geral e coeficientes de variação dos tratamentos encontram-se na Tabela 22.

Quadro 2. Precipitação pluviométrica mensal, temperatura e umidade relativa do ar registrada no período de dezembro de 2010 a maio de 2011 em Campos dos Goytacazes – RJ.

| Mês/Ano | Precipitação (mm) | Temperatura (C°) | | | Umidade relativa do ar (%) |
|-----------|-------------------|------------------|--------|--------|----------------------------|
| | | Média | Máxima | Mínima | |
| Dez./2010 | 120.28 | 27.01 | 27.83 | 26.19 | 78.78 |
| Jan./2011 | 118.50 | 27.33 | 28.16 | 26.49 | 77.92 |
| Fev./2011 | 20.51 | 26.15 | 27.19 | 25.11 | 73.49 |
| Mar./2011 | 212.68 | 25.83 | 26.45 | 25.22 | 83.81 |
| Abr./2011 | 32.16 | 25.52 | 26.13 | 24.90 | 81.12 |
| Mai./2011 | 22.80 | 22.24 | 22.73 | 21.76 | 78.29 |

Fonte: Unidade de Pesquisa e Extensão Agroambiental (UPEA) do Instituto Federal Fluminense.

Tabela 22. Estimativa dos quadrados médios (QM), das médias e dos coeficientes de variação experimental de 5 características avaliadas em 6 genótipos de capim-elefante com 8 semanas de idade às 8 e 12 horas em Campos dos Goytacazes, RJ. 2010.

| Avaliação realizada de 7 às 9 horas | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|----|-----------|----------------------|------------|-----------|----------------------|---------------|--|--|
| QM | | | | | | | | | |
| FV | GL | A | g _s | E | DPV | FV/FM | %Fotoinibição | | |
| Blocos | 3 | 59,7704 | 0,0269 | 5,7015 | 0,3058 | 0,0000 | 14,7511 | | |
| Genótipo | 5 | 34,7384 * | 0,0118 ^{ns} | 45,1168 ** | 1,1439 ** | 0,0002 ^{ns} | 72,8633* | | |
| Resíduo | 15 | 9,0104 | 0,0062 | 1,4812 | 0,1723 | 0,0001 | 18,5742 | | |
| Média | - | 30,15 | 0,6 | 20,09 | 4,49 | 0,78 | 14,42 | | |
| CV(%) | - | 9,96 | 13,13 | 6,06 | 9,24 | 1,28 | 29,89 | | |

Avaliação realizada às 12, às 13 horas

QM

| FV | GL | A | g _s | E | DPV | FV/FM | | | |
|-------------|----|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--|--|--|
| Blocos | 3 | 7,2538 | 0,0017 | 6,4361 | 0,1754 | 0,0001 | | | |
| Tratamentos | 5 | 59,1358 ^{ns} | 0,0116 ^{ns} | 8,9707 ^{ns} | 1,7213 ^{ns} | 0,0019 ^{ns} | | | |
| Resíduo | 15 | 36,1424 | 0,0041 | 3,4478 | 0,6752 | 0,0009 | | | |
| Média | - | 22,76 | 0,28 | 16,34 | 6,87 | 0,69 | | | |
| CV(%) | - | 26,41 | 23,33 | 11,36 | 11,96 | 4,3 | | | |

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade; respectivamente; pelo teste F.^{ns} não-significativo; pelo teste F. A: Taxa de fotossíntese líquida; g_s: condutância estomática; E: Transpiração; DPV: Déficit de pressão de vapor; Fv/Fm: rendimento quântico % fotoinibição.

Para as medidas realizadas entre às 7 e 9 horas ocorreram diferenças significativas entre os Genótipos para a maioria das características avaliadas, com exceção das variáveis condutância estomática (g_s) e rendimento quântico do PSII (F_v/F_m), confirmando a existência de variabilidade entre os genótipos avaliados.

Com base ainda na Tabela 22 observa-se que as médias de A, g_s , E, $DPV_{(folha-ar)}$ e F_v/F_m nos genótipos avaliados foram de $30,15 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$; $0,60 \text{ mmol. m}^{-2}.\text{s}^{-1}$; E de $20,09 \text{ mmol. m}^{-2}.\text{s}^{-1}$; $DPV_{(folha-ar)}$ de $4,49 \text{ KPa}$ e F_v/F_m de $0,78$, respectivamente a fotoinibição de $14,42\%$.

Vale ressaltar que no período de avaliação as plantas experimentaram uma baixa disponibilidade hídrica do solo, pois de acordo com os dados de precipitação, a média de chuva para o mês de fevereiro foi considerada baixa para a época ano, sendo próximo a zero ($20,51 \text{ mm}$). De acordo com Taiz & Zeiger (2010), em condições de estresse hídrico as variáveis de trocas gasosas podem apresentar alterações de forma distinta, de acordo com a espécie, tanto por limitações estomáticas quanto por limitação não estomática. Neste caso, pode-se então considerar que não ocorreu estresse hídrico, pois as plantas de capim-elefante estavam com alta g_s , A, F_v/F_m e baixa fotoinibição.

Já para as leituras realizadas às 12 horas, não houve diferença significativa para as variáveis em estudo. Os resultados demonstram que houve uma redução, quando comparada aos valores das medidas realizada às 8 horas, em torno de 25% para A ($22,76 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), $53,4\%$ para g_s ($0,28 \text{ mmol. m}^{-2}.\text{s}^{-1}$); $18,7\%$ para E ($16,34 \text{ mmol. m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) e 11% para a variável F_v/F_m ($0,69$) enquanto que, para a variável DPV houve um aumento de $34,6\%$ dessa média, passando de $4,49$ para $6,87$, como esperado, pois nesse horário, ocorre alta temperatura e menor umidade relativa, levando ao fechamento estomático ($<g_s$) e consequentemente menor taxa de fotossíntese e menor transpiração. Para capim-elefante o efeito parece ser mesmo estomático, uma vez que as plantas não experimentaram fotoinibição.

De acordo com o teste Tukey (Tabela 22) a 5% de probabilidade, para as avaliações realizadas às 8 horas, verificou-se que para a variável A, no genótipo Mercker 86-México foi o que obteve maior média ($34,57 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) seguido dos genótipos Cubano de Pinda e Pusa Napier nº1 com $31,62 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ e $31,07 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ respectivamente. Entre esses genótipos que apresentaram maior taxa

Tabela 22. Valores médios para as características fisiológicas em 6 genótipos de capim-elefante. Campos dos Goytacazes, RJ 2010.

| Genótipos | A | Gs | E | DPV | Fv/Fm | % Fot |
|----------------------|-----------|---------|----------|---------|----------|---------|
| Cubano de Pinda | 31.625 b | 0.508 a | 15.900 c | 4.068 a | 0.7875 a | 30.97 c |
| Mercker 86 - México | 34.575 a | 0.600 a | 16.875 c | 3.848 a | 0.7825 a | 33.9 b |
| Pusa Napier nº1 | 31.075 b | 0.655 a | 19.900 b | 4.220 a | 0.7900 a | 38.1 a |
| Mole de Volta Grande | 26.175 d | 0.573 a | 20.125 b | 4.625 a | 0.7775 a | 33.1 bc |
| P-241-Piracicaba | 29.375 bc | 0.638 a | 23.900 a | 5.090 a | 0.7925 a | 33.5 b |
| King Grass | 28.050 cd | 0.633 a | 23.825 a | 5.113 a | 0.7750 a | 37.42 a |

| Genótipos | A | Gs | E | DPV | Fv/Fm |
|----------------------|---------|---------|------------|---------|----------|
| Cubano de Pinda | 16.10 c | 0.200 a | 14.175 c | 7.773 a | 0.6825 a |
| Mercker 86 - México | 22.35 b | 0.263 a | 16.150 abc | 6.925 a | 0.7075 a |
| Pusa Napier nº1 | 25.83 a | 0.303 a | 18.325 a | 7.050 a | 0.6575 a |
| Mole de Volta Grande | 23.15 b | 0.270 a | 16.700 ab | 7.123 a | 0.7075 a |
| P-241-Piracicaba | 27.15 a | 0.363 a | 17.450 ab | 5.800 a | 0.7050 a |
| King Grass | 22.00 b | 0.258 a | 15.250 bc | 6.565 a | 0.6675 a |

A: Taxa de fotossíntese líquida; gs: condutância estomática; E: Transpiração; DPV: Déficit de pressão de vapor; Fv/Fm: rendimento quântico % fotoinibição. Médias seguidas por uma mesma letra não diferem estatisticamente, em nível de 5% de probabilidade, pelo teste Tuckey.

de fotossíntese líquida o genótipo Pusa Napier nº1 foi o que se destacou para variável PMS (7.27 t.ha⁻¹). De acordo com Silva et al. (2001) é provável que haja uma correlação positiva entre produção de matéria seca e fotossíntese. Essa é uma relação indireta, onde a relação fonte-dreno tem grande influência na distribuição de fotoassimilados. Pode-se observar que o genótipo King Grass não apresentou uma taxa tão alta de fotossíntese, mas foi o genótipo com maior PMS acumulada.

Para as medidas realizadas às 12 horas (Figura 1), mesmo não havendo diferença significativa, o genótipo que obteve a menor queda de A foi o genótipo P-241-Piracicaba (27,15 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) seguido do Pusa Napier nº1 (25,82 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$).

A queda da fotossíntese no horário de 12 horas pode ser atribuída a fotoinibição (Dias e Marengo, 2006) ou a redução da condutância estomática (Dias e Marengo, 2007). Pelos resultados apresentados a queda na condutância estomática parece ser a causa mais provável da redução da fotossíntese nos horários de 12 horas, ou seja, nos horários mais quentes do dia, o processo fotossintético pode estar sendo comprometido, principalmente por meio dos efeitos estomáticos. Este fenômeno, conhecido também como depressão da fotossíntese ao meio-dia (DFMD), ocorre em grande maioria das espécies de clima tropical, e, nesta condição, a assimilação de carbono é reduzida drasticamente nos horários de maiores valores de déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar ($\text{DPV}_{\text{folha-ar}}$).

Comparando os dados de A e g_s de 8 e 12 horas pode-se observar que os genótipos Mole de Volta Grande e P-241-Piracicaba, apresentam aproximadamente 50% de queda na g_s sem reduzir muito a taxa de fotossíntese (26-23; 29-27, respectivamente), o que ao longo do ciclo pode resultar maior acúmulo de carbono. O genótipo Mole de Volta Grande quando analisado para as características morfoagronômicas nessa mesma idade apresentou maior PMS, %FDN e % de FDA, podendo indicar um diferencial desse genótipo.

A redução da condutância estomática diminui a perda de água das folhas e restringe a entrada de CO_2 nestes órgãos diminuindo as taxas fotossintéticas (Taiz e Zeiger, 2010). Com relação a esta variável, não houve diferenças significativas entre os genótipos para as medidas realizadas nos dois horários de avaliação (Tabela 22). Entretanto, houve uma queda da g_s às 12 horas em

relação ao período da manhã (Figura 2). Os genótipos que apresentaram a maior g_s às 12 horas foram P-241- Piracicaba, Mercker 86 – México e King Grass.

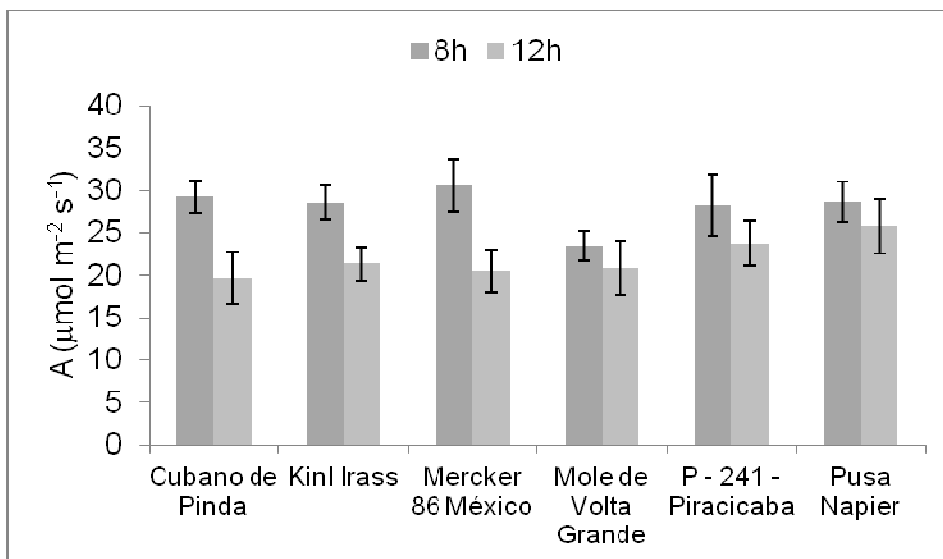


Figura 1: Fotossíntese Líquida de genótipos de capim-elefante (Cubando de Pinda, King Grass, Mercker 86-México, Mole de Volta Grande, P-241-Piracicaba, Pusa Napier) em condições de campo, Campos dos Goytacazes-RJ.

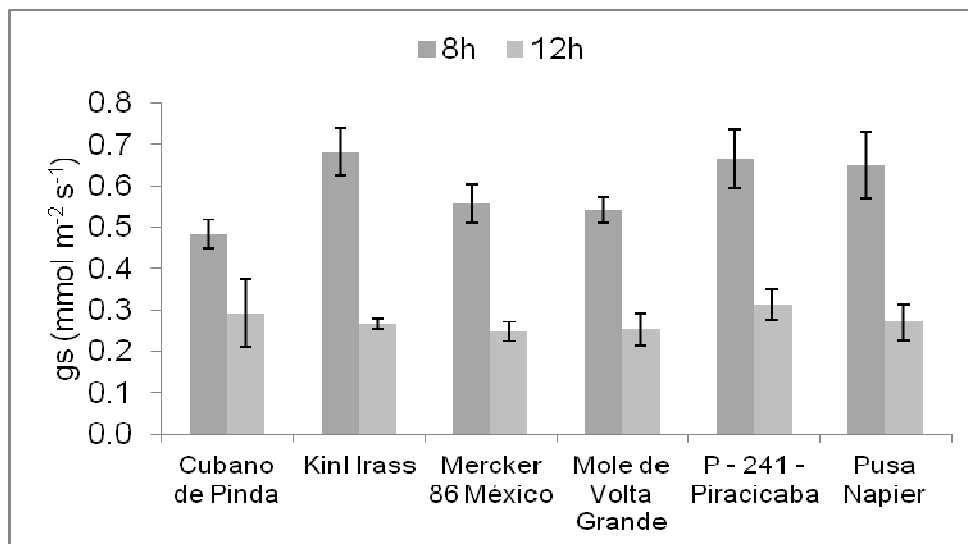


Figura 2: Condutância Estomática (g_s) de genótipos de capim-elefante (Cubando de Pinda, King Grass, Mercker 86-México, Mole de Volta Grande, P-241-Piracicaba, Pusa Napier) em condições de campo, Campos dos Goytacazes-RJ.

Ao analisar a variável E (Figura 3) verificou-se que houve diferenças significativas entre os genótipos no horário de 8 horas, com maiores taxas de E para os genótipos P-241-Piracicaba e King Grass. Em relação ao segundo horário de avaliação não houve diferenças significativas entre os genótipos e pode-se observar uma redução desses valores quando comparados aos horários avaliados. Alto $DPV_{\text{folha-ar}}$ pode levar a baixa transpiração.

O aumento do $DPV_{\text{folha-ar}}$ às 12 horas (Figura 4) leva ao fechamento estomático, e assim reduzindo a g_s e a E. O fechamento estomático reduz a transpiração, diminuindo a capacidade de redução da folha resfriar e aumentando a temperatura deste órgão uma vez que a folha continua recebendo luz, causando a elevação desta variável. De acordo com Taiz e Zeiger (2010), muitos processos fisiológicos nas plantas, como a abertura e o fechamento estomático e, conseqüentemente a fotossíntese, são regulados principalmente pela pressão de turgescência das células. Esta relação direta entre transpiração e condutância estomática é esperada, tendo em vista a diminuição do fluxo de vapor d'água para a atmosfera e conseqüentemente da transpiração na medida em que se fecham os estômatos.

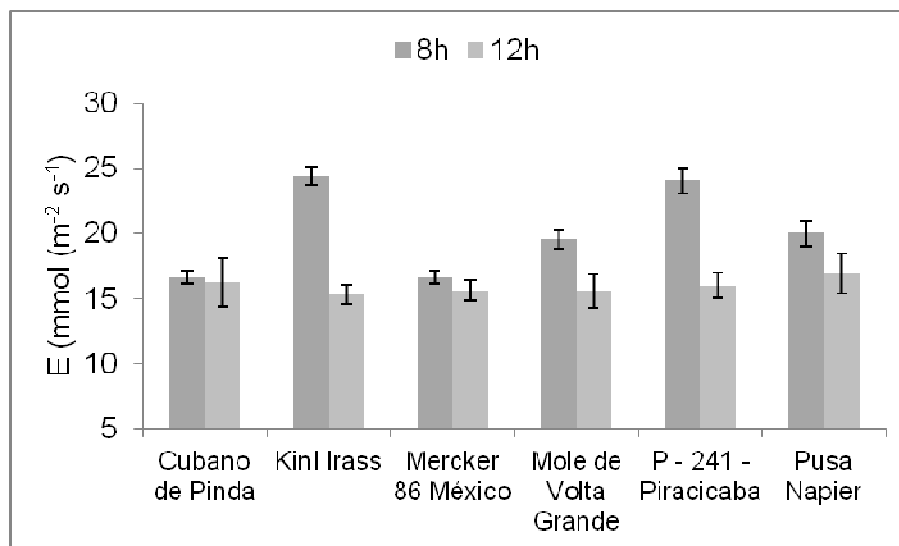


Figura 3. Transpiração (E) de genótipos de capim-elefante (Cubando de Pinda, King Grass, Mercker 86-México, Mole de Volta Grande, P-241-Piracicaba, Pusa Napier) em condições de campo, Campos dos Goytacazes-RJ.

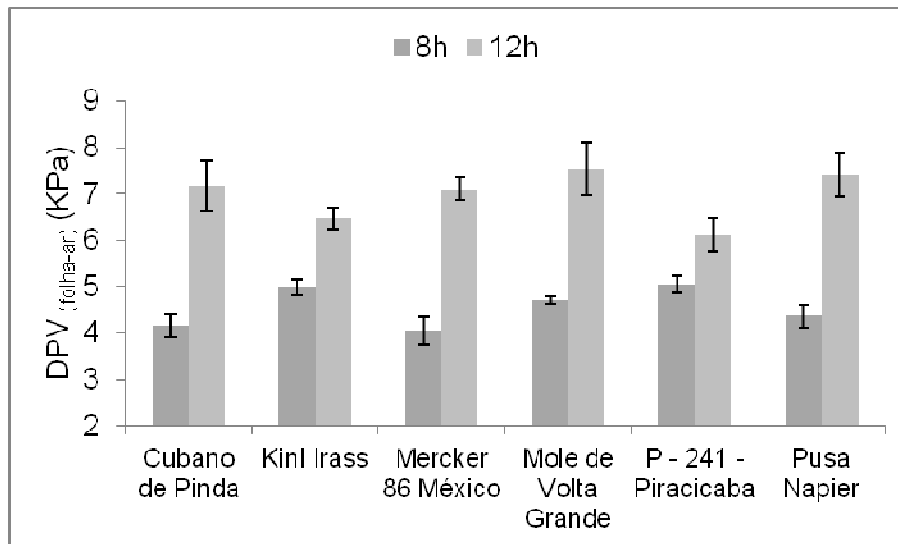


Figura 4: Déficit de Pressão de Vapor de genótipos de capim-elefante (Cubano de Pinda, King Grass, Mercker 86-México, Mole de Volta Grande, P-241-Piracicaba, Pusa Napier) em condições de campo, Campos dos Goytacazes-RJ.

Em relação ao rendimento quântico do PSII, estimado pela razão F_v/F_m pode-se observar que não houve diferenças significativas (Tabela 22). A relação F_v/F_m é uma medida da eficiência intrínseca ou máxima do PSII, ou seja, a eficiência quântica de todos os centros do PSII quando estão abertos. O valor da relação F_v/F_m reflete a eficiência quântica potencial do PSII e é usado como indicador sensível da performance fotossintética da planta (Dias e Marengo 2007). Esses valores variam na faixa de 0.75 a 0.85 em plantas em condições ambientais sem estresse (Bjorkman & Powles, 1984). De acordo com a Figura 5, observa-se que todos os genótipos se encontram dentro dessa faixa indicando que não ocorreu queda no rendimento quântico entre os genótipos avaliados.

Para as medidas realizadas às 12 horas houve um decréscimo no rendimento quântico máximo do PSII, em que os valores de F_v/F_m ficaram entre 0.65 e 0.70. Segundo Bjorkman e Demming (1987), o rendimento quântico pode ser um indicador do efeito de estresse atuando no sistema fotossintético. Ainda de acordo com os últimos autores, a diminuição da razão F_v/F_m em plantas submetidas a estresse ambiental indica a ocorrência de dano fotoinibitório nos

centros de reação do PSII, que, no genótipo Pusa Napier N°1 a queda foi maior, porém não diferiu estatisticamente dos demais.

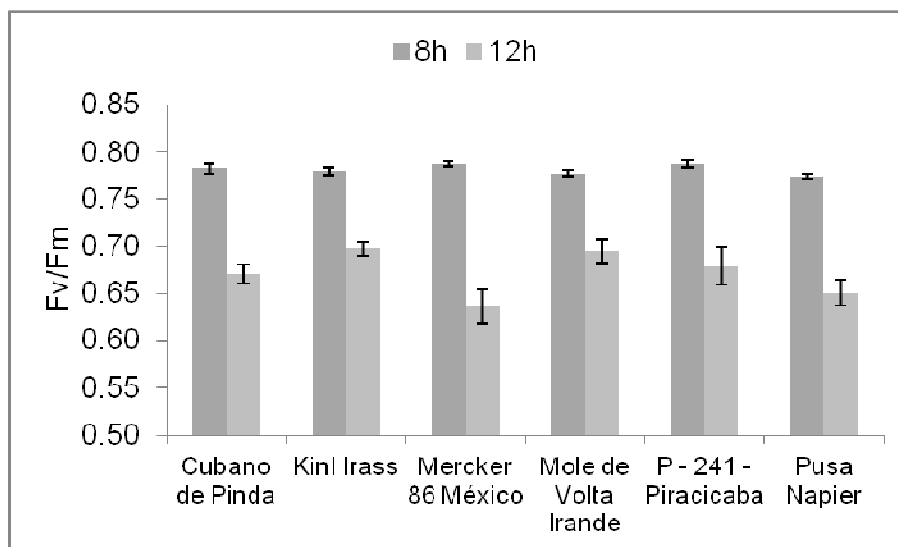


Figura 5: Rendimento Quântico (Fv/Fm) de genótipos de capim-elefante (Cubano de Pinda, King Grass, Mercker 86-México, Mole de Volta Grande, P-241-Piracicaba, Pusa Napier) em condições de campo, Campos dos Goytacazes-RJ.

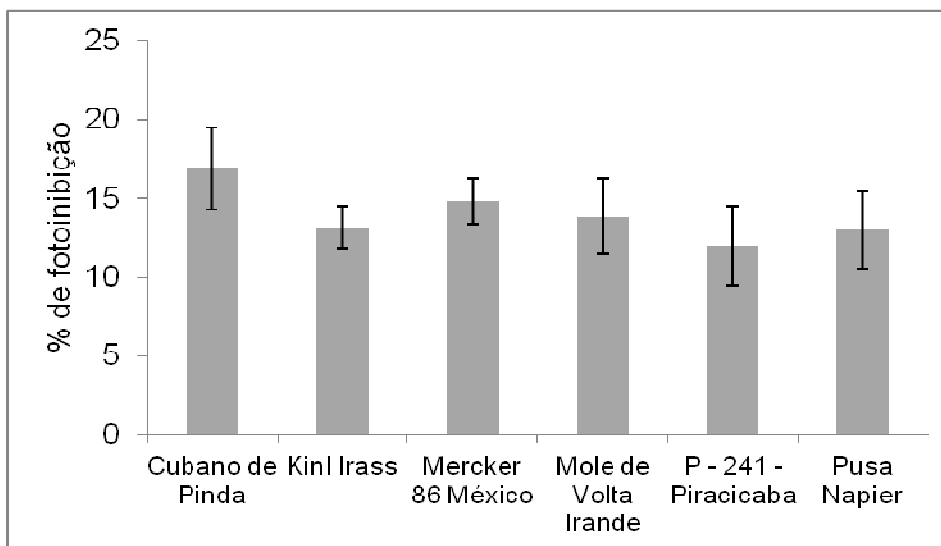


Figura 6: Fotoinibição de genótipos de capim-elefante (Cubano de Pinda, King Grass, Mercker 86-México, Mole de Volta Grande, P-241-Piracicaba, Pusa Napier) em condições de campo, Campos dos Goytacazes-RJ.

A redução da fotoinibição foi maior no genótipo Cubano de Pinda seguido do Mercker 86-México como mostra a Figura 6. Segundo Baker (1993), plantas submetidas a estresse hídrico severo normalmente apresentam fotoinibição pela queda significativa do rendimento quântico, o que não ocorreu neste trabalho. Porém, os genótipos Cubano de Pinda, Mercker 86-México Mole de Volta Grande, podem tender a uma fotoinibição caso ocorra algum estresse ambiental.

4. RESUMO E CONCLUSÕES

O capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) é uma forrageira tropical amplamente difundida por todo o Brasil, e foi empregada, durante décadas por pecuaristas de todo o país visando à intensificação na produção de carne e leite. Porém, nos últimos anos, tal forrageira, vem despertando o interesse de grandes consumidores e empresários do setor de energia. Cultivado em condições ambientais bastante divergentes está entre as espécies de maior eficiência fotossintética com elevada capacidade de produção e qualidade de biomassa. Sua produção está diretamente relacionada na transformação de energia solar em compostos orgânicos via fotossíntese e é determinada por fatores como disponibilidade de CO₂, luz, água, temperatura entre outros.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o processo de trocas gasosas de genótipos de capim-elefante cultivados sob condições de campo na cidade de Campos dos Goytacazes – RJ, e pode-se observar que os genótipos avaliados apresentaram boas características fotossintéticas, sem muitas diferenças entre os genótipos e pode-se concluir que:

- 1) O genótipo Mole de Volta Grande e P-241-Piracicaba apresentaram a menor queda de A, comparando os horários de 8 com 12 horas, podendo levar a um aumento de carbono no final do ciclo;

- 2) Já para g_s e $DPV_{\text{folha-ar}}$ foi observado que os genótipos Cubano de Pinda, Mercker 86-México e Mole de Volta Grande apresentaram os menores valores;
- 3) Valores de F_v/F_m não apresentaram diferenças entre os genótipos e se mantiveram nos valores indicados como boa eficiência do PSII;
- 4) O genótipo Mole de Volta Grande quando analisado para as características morfoagronômicas nessa mesma idade apresentou maior PMS, %FDN e % de FDA, podendo indicar um diferencial desse genótipo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baker, N.R. Light-use efficiency and photoinhibition of photosynthesis in plants under environmental stress. In: SMITH, J.A.C.; GRIFFITHS, H. (Eds.). Water deficits plant responses from cell to community, Bios Scientific Publisher, Oxford, 1993. p. 221-235.
- Björkman, O. & Powles, S.B. (1984) Inhibition of photosynthetic reactions under water stress: interaction with light level. *Planta* 161:490-504.
- Björkman, O.; Demming, B. (1987) Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 k among vascular plants of diverse origins. *Planta*, v.170, p.61-66.
- Cruz, C.D. Programa Genes: Biometria. Editora UFV. Viçosa (MG). 382p. 2006.
- Dias, DP; Marengo, RA fotoinibição da fotossíntese em *Mimosa pudica* e *Swietenia macrophylla* inferida através do monitoramento da fluorescência inicial *Photosynthetica*, V.44, p.235-240, 2006.

- Dias, DP; Marengo, RA Fotossíntese e fotoinibição in mogno e acariquara in função da Luminosidade e Temperatura foliar Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.42, p.305-311, 2007.
- Faria, T.; Garcia-Plazaola, J. I.; Abadia, A.; Cerasoli, S.; Pereira, J. S.; Chaves, M. M. Diurnal changes in photoprotective mechanisms in leaves of cork oak (*Quercus suber*) during summer. *Tree Physiology*, v. 16, p. 115-123, 1996.
- Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT. Análise da Pré-viabilidade econômica de aproveitamento de gramíneas forrageiras para carvoejamento e extração de proteínas. Relatório IPT/DEES-APAT nº 30.157/92, São Paulo. 1992.
- Jacques, A.V.A. Fisiologia do crescimento do capim-elefante. In: Anais Simpósio de capim elefante, Juiz de Fora, Coronel Pacheco, MG, EMBRAPA-CNPGL, p.23-34, 1990.
- Kaiser, W.M. Effect of water deficit on photosynthetic capacity. *Physiol. Plant.*, v.71, p.142-149. 1987.
- Kyle, D.J., OHAD, I. The mechanism of inhibition in higher plants and green algae. In: STAEHELIN, L.A., ARNTZEN, C.J. (Eds.). *Encyclopedia of plant physiology*. Berlin, Springer-Verlag, 1987. v.19, p.468-475.
- Lemus, R.; Brummer, E. C.; Moore, K. J.; MOlstod, . E.; Burras, C.L.; Barker, M. F. Biomass yield and quality of 20 switchgrass populations in southern Iowa, USA: *Biomass and Bionergy*, v.23, p.433-442, 2002.
- Passos, L.P. 1999. Fisiologia do capim-elefante: uma revisão analítica. In: Passos, L.P., Carvalho, L.A., Martins, C.E. et al. (Eds.) *Biologia e manejo do capim-elefante*. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite. p.29-62.
- Pereira, A.V.; Cruz, C.D.; Ferreira, R.P. Influência da estabilização de genótipos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) sobre a estimativa da

repetibilidade de características forrageiras. *Ciência e Agrotecnologia*, v.26, n.4, p.762-767, 2002.

Quesada, D. B. (2005) Parâmetros quantitativos e qualitativos de diferentes genótipos de capim-elefante com potencial para uso energético. Tese (Doutorado em Agronomia) - Seropédica – RJ, Universidade Federal Rural do rio de Janeiro - UFRRJ, 76p.

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

Silva, M. M. P.; Vasquez, H. M.; Bressan-Smith, R. E.; Silva, J. F. C.; Erbesdobler, E. D. Diferenças Varietais nas Características Fotossintéticas de *Pennisetum purpureum* Schum. *Revista Sociedade Brasileira de Zootecnia*, 30(6S):1975-1983, 2001.

Taiz, L.; Zeiger, E. *Fisiologia Vegetal*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

Urquiaga, S.; Alves, B.; Boddey, R. M. (2004) Capim Elefante: Uma nova fonte alternativa de energia. *Ambiente Brasil*. Disponível em www.ambientebrasil.com.br. Acesso em 25/04/2008.

Van Soest, P. J. (1994) *Nutritional ecology of the ruminant*. Ithaca: Cornell University Press. 476p.

Wilson, J.R. Effects of water stress on herbage quality. In: *International Grassland Congress*, 14, 1982, Lexington. Lexington: s.ed., 1982. p.470-472.

RESUMO E CONCLUSÃO GERAL

O Brasil possui todas as características climáticas necessárias para aumentar sua produção comercial de biomassa energética, e com a finalidade de gerar informações relevantes que possam colaborar com a implantação e solidificação de estudos e pesquisas com capim-elefante para produção de biomassa e carvão em Campos dos Goytacazes – RJ pode-se concluir que:

- 1) Para os cinco ciclos de produção foram constatadas diferenças significativas para a variável PMS;
- 2) O 4º e 5º ciclos de produção foram os que apresentaram melhor desempenho para a produção de biomassa energética de capim-elefante (PMS), com médias de 20,50 e 23,77 t.ha⁻¹;
- 3) Os genótipos que mais se destacaram nos cinco ciclos de produção foram os genótipos King Grass, Mole de Volta Grande e o genótipo Mercker 86 – México;
- 4) Os genótipos, Mole de Volta Grande e King Grass, podem ser indicados para programas de melhoramento genético;

- 5) Os genótipos Cubano de Pinda, Mercker 86 - México e P - 241 - Piracicaba apresentaram efeito linear significativo para a variável produção de matéria seca (PMS);
- 6) Os genótipos Pusa Napier, Mole de Volta Grande e King Grass, apresentaram efeito quadrático para a variável produção de matéria seca (PMS);
- 7) O genótipo que apresentou maior produção de matéria seca e que pode ser indicado para produção de biomassa energética foi o genótipo King Grass seguido do genótipo Pusa Napier nº1;
- 8) Os genótipos Cubano de Pinda, Mercker 86-México e P-241-Piracicaba, apresentaram um acúmulo de matéria seca durante todo o ciclo de produção;
- 9) O genótipo Mole de Volta Grande apresentou as maiores médias para teores de fibra, conseqüentemente para celulose e lignina;
- 10) O aumento do intervalo de cortes resulta em incrementos na produção de matéria seca e teores de fibra no capim-elefante para produção de biomassa energética;
- 11) O genótipo Mole de Volta Grande e P-241-Piracicaba apresentaram a menor queda de A, comparando os horários de 8 com 12 horas, podendo levar a um aumento de carbono no final do ciclo;
- 12) Já para g_s e $DPV_{folha-ar}$ foi observado que os genótipos Cubano de Pinda, Mercker 86-México e Mole de Volta Grande apresentaram os menores valores;
- 13) Valores de F_v/F_m não apresentaram diferenças entre os genótipos e se mantiveram nos valores indicados como boa eficiência do PSII;

- 14) O genótipo Mole de Volta Grande quando analisado para as características morfoagronômicas nessa mesma idade apresentou maior PMS, %FDN e % de FDA, podendo indicar um diferencial desse genótipo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acunha, J. B. V., Coelho, R. W. 1997. Efeito da altura e intervalo de corte do capim-elefante anão. I. Produção e qualidade da forragem. Pesquisa Agropecuária Brasileira. 32(1): 117-22.
- Agência Nacional de Energia Elétrica - Atlas de energia elétrica do Brasil. Brasília: ANEEL, 2002.
- Alexandre, J.; Alves, M.G.; Ramos, I.S.; Xavier, G.C. Panorama do Pólo Cerâmico e do Município de Campos dos Goytacazes – RJ. Campos dos Goytacazes, 2007. CD-ROM.
- Andrade, I.F., Gomide, J.A. 1971. Curva de crescimento e valor nutritivo de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) Taiwan A-146. Revista Ceres, (18):431-47.
- Andrade, J. B. de, Ferrari Junior, E., Beisman, D. A. (2000) Avaliação do capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) visando o carvoejamento. In: Encontro de Energia no Meio Rural, n.3, Anais, Campinas, SP.
- Baker, N.R. Light-use efficiency and photoinhibition of photosynthesis in plants under environmental stress. In: SMITH, J.A.C.; GRIFFITHS, H. (Eds.). Water

deficits plant responses from cell to community, Bios Scientific Publisher, Oxford, 1993. p. 221-235.

Bhatti, M.B.; Mohammad, D.; Sartaj, Sultani, M.I. (1985) Effect of different inter and intra-row spacings on forage yield and quality in elephant grass. Pakistan Journal of Agriculture Research, Karachi, v.6, p.107-112.

Bennet, H. W. (1976) Pasto Johnson, pasto alfombra y otras gramíneas para el sur humedo de los Estados Unidos. In: Hugues, H.D.; Heath, M.E.; Metcalfe, D.S., eds. Forrajes. México, C.E.C.S.A., Cap. 29. p.321-34.

Björkman, O. & Powles, S.B. (1984) Inhibition of photosynthetic reactions under water stress: interaction with light level. Planta 161:490-504.

Björkman, O.; Demming, B. (1987) Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 k among vascular plants of diverse origins. Planta, v.170, p.61-66.

Campos, F. B.; Lanna, D. P. D.; Bose, M. L. V.; Boin, C.; Sarmiento, P. Degradabilidade do capim-elefante em diferentes estágios de maturidade avaliada pelo método in vitro/gás, Scientia Agrícola, Piracicaba, v. 59, n. 2, p 217-225, 2002.

Carioca, J. O. B. & Arora, H. L. (1984) - Biomassa: Fundamentos e Aplicações Tecnológicas. UFC, Fortaleza.

Carvalho, A.C. Pennisetum purpureum, Schumacher; revisão. Coronel Pacheco: EMBRAPA-CNPGL, MG. 86p. 1985. (Embrapa-CNPGL. Boletim,10).

Couto, L; Watzlawick, L. F.; Câmara, D. (2004) Vias de valorização energética da biomassa Biomassa & Energia, v. 1, n. 1, p.71-92.

Corsi, M. Espécies forrageiras para pastagens. In: Simpósio sobre o manejo de pastagens, 3. Piracicaba, 1976. Piracicaba, SP: ESALQ, USP, 1976. p. 5-36.

- Cruz, C.D. Programa Genes: Biometria. Editora UFV. Viçosa (MG). 382p. 2006.
- Dias, DP; Marengo, RA fotoinibição da fotossíntese em *Minuartia guianensis* e *Swietenia macrophylla* inferida através do monitoramento da fluorescência inicial *Photosynthetica*, V.44, p.235-240, 2006.
- Dias, DP; Marengo, RA Fotossíntese e fotoinibição in mogno e acariquara in funcao da Luminosidade e Temperatura foliar *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.42, p.305-311, 2007.
- Embrapa Agroenergia. Focando em soluções: da biomassa à energia. Plano Diretor Da Embrapa Agroenergia Brasília, DF. 2008.
- Faria, T.; Garcia-Plazaola, J. I.; Abadia, A.; Cerasoli, S.; Pereira, J. S.; Chaves, M. M. Diurnal changes in photoprotective mechanisms in leaves of cork oak (*Quercus suber*) during summer. *Tree Physiology*, v. 16, p. 115-123, 1996.
- Filho, J. L.; Silva, D. S. da.; Nascimento, I. S. de. Produção de matéria seca e qualidade do capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) cultivar Roxo em diferentes idades de cortes. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v.29, n.1, p 69-74, 2000.
- Ferraris, R. (1979) Agronomic studies on elephant grass as na agro-industrial crop. In: Australian Division of Chemical Technology Research Review 1978-1979. Melbourne: CSIRO. P. 10-22.
- Fonseca, J.S. de; Martins, G. de A. Curso de estatística. 6 ed. São Paulo: Atlas, 1996. 320p.
- Gennari, S.M., Matos, H.B. 1977. Influência da idade do estand sobre a produção, digestibilidade e composição de três variedades de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum.). *Boletim Industrial Animal*, 34(2):253-62.

- Gomide, J.A. 1973. Fisiologia e manejo de plantas forrageiras. Revista Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2(1): 17-26.
- Gujarati, D. N., Econometria Básica. São Paulo: Pearson, quarta edição, 2006.
- Gutierrez, M., Edwards, G.E., Brown, W.V. 1976. PEPcarboxilase containing species in the *Brachiaria* group of the family *Panicoidae*. Biochem. Systems Ecology.
- Hair, Jr. J. F; Black, W. C; Babin, B. J. Multivariate Data Analysis. Pearson Prentice Hall, New Jersey, 6th edition, 2006, 899p.
- Hanna, W. W. Melhoramento do capim-elefante. In: Passos, L. P. et al. (Ed.). A.V., eds. Biologia e Manejo do Capim-Elefante. Juiz de Fora: Embrapa -CNPGL. p. 19-27, 1999.
- Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT. Análise da Pré-viabilidade econômica de aproveitamento de gramíneas forrageiras para carvoejamento e extração de proteínas. Relatório IPT/DEES-APAT nº 30.157/92, São Paulo. 1992.
- Jacques, A.V.A. Fisiologia do crescimento do capim-elefante. In: Anais Simpósio de capim elefante, Juiz de Fora, Coronel Pacheco, MG, EMBRAPA-CNPGL, p.23-34, 1990.
- Kaiser, W.M. Effect of water deficit on photosynthetic capacity. *Physiol. Plant.*, v.71, p.142-149. 1987.
- Kerbaudy, G. B. Fisiologia Vegetal. Editora Guanabara, Rio de Janeiro, 2008.
- Kyle, D.J., Ohad, I. The mechanism of inhibition in higher plants and green algae. In: Staehelin, L.A., Arntzen, C.J. (Eds.). Encyclopedia of plant physiology. Berlin, Springer-Verlag, 1987. v.19, p.468-475.

- Kramer, P.J. 1983. *Water relations of plants*. New York: Academic Press. 489p.
- Lemaire, G., Agnusdel, M. 2000. Leaf tissue turn-over and efficiency of herbage utilization. In: Lemaire, G., Hodgson, J., Moraes, A., et al. (Eds.). *Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology*. CAB International. p.265-288.
- Lemus, R.; Brummer, E. C.; Moore, K. J.; Molstod, . E.; Burras, C.L.; Barker, M. F. Biomass yield and quality of 20 switchgrass populations in southern Iowa, USA: *Biomass and Bioenergy*, v.23, p.433-442, 2002.
- Loomis, R.S.; Amthor, J.S. YieldvPotential, Plant Assimilatory Capacity, and Metabolic Efficiencies. *Crop Science*, v.39, p.1584–1596, 1999.
- Lopes, M. V. F. (2008) Estudo da viabilidade agrônômica de produção da gramínea capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) no Município de Campos dos Goytacazes/RJ para fins energéticos. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) - Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Cândido Mendes - 26p.
- Magalhães, J. A.; Rodrigues, B. H. N.; Carneiro, M. S. S.; Andrade, A. C. Influencia da adubação nitrogenada e idade de corte sobre os teores de proteína bruta e fibra em detergente neutro de três cultivares de capim-elefante. *REDVET. Revista eletrônica de Veterinária*. ISSN: 1695-7504 Vol. 10, n. 4. 2009
- Machado, A. N.; Siewerdt, L.; Silveira Júnior, P.; Siewerdt, F. Efeito do espaçamento de plantio na produção e qualidade de forragem capim-elefante cv. Três Rios. *Revista Brasileira de Agrociência*, v.2, nº 1, 57-62, 1996.
- Mazarrella, V. (2008) Capim-elefante: A energia renovável moderna. Documento publicado em www.capim-elefante.org.br. Acesso em 09/11/2011.

- Montgomery, D. C., Peck, E. A. & Vining, G. G. (2001), Introduction to Linear Regression Analysis, Wiley Series in Probability and Statistics: Texts, References, and Pocketbooks Section, third edn, Wiley-Interscience, New York.
- Morais, R.F.; Souza, B. J. de; Leite, J. M.; Soares, L. H. de B.; Alves, B. J. R.; Boddey, R. M.; Urquiaga, S. (2009). Elephant Grass genotypes for bioenergy production by direct biomass combustion. Pesquisa Agropecuária Brasileira. V. 44, n. 2, p.133-140.
- Nascimento Júnior, D. do. Leguminosas - Espécies Disponíveis, Fixação de Nitrogênio e Problemas Fisiológicos para o Manejo de Consorciação. In: Anais do 8º Simpósio sobre o Manejo de Pastagem. FEALQ. p. 390-411, 1986.
- Ort, D.R., Baker, N.R. Consideration of photosynthetic efficiency at low light as a major determinant of crop photosynthetic performance. Plant Physiology and Biochemistry, 26:555-65, 1988.
- Osava, M. (2007) Capim elefante, novo campeão em biomassa no Brasil. Agrosoft Brasil. Disponível em: www.agrosoft.org.br/?q=node/26484. Acessado em: 27/04/2008
- Pascote, R. Viabilidade da introdução do biodiesel na matriz energética brasileira. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção) – Programa de Engenharia de Produção, Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara d'Oeste, 2007.
- Paz, L.G., Matos, M.M.V.L. 1985. A fotossíntese e a produtividade das forrageiras. In: Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 1985, v.8, n.10, p.103-20.

- Passos, L.P. 1999. Fisiologia do capim-elefante: uma revisão analítica. In: Passos, L.P., Carvalho, L.A., Martins, C.E. et al. (Eds.) Biologia e manejo do capim-elefante. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite. p.29-62.
- Pedreira, C.G.S.; Nussio, L.G.; Silva, S,C, da. Condições Edafo-climáticas para Produção de *Cynodon* spp. In: Anais do 15º Simpósio sobre Manejo da Pastagem. FEALQ. p. 85-113, 1998.
- Pereira, A. V. 1994. Germoplasma e diversidade genética do capim-elefante. In: Simpósio sobre Capim-Elefante, 2., Juiz de Fora. Anais... Coronel Pacheco: EMBRAPA-CNPGL, 1994. p. 1-11.
- Pereira, A. V.; Machado, M. A.; Azevedo, A. L. S.; Nascimento, C. S.; Campos, A. L.; Ledo, F. J. S. (2008) Diversidade genética entre acessos de capim-elefante obtida com marcadores moleculares. Revista Brasileira de Zootecnia, v.37, n.7, p.1216-1221.
- Pereira, A.V.; Cruz, C.D.; Ferreira, R.P. Influência da estabilização de genótipos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) sobre a estimativa da repetibilidade de características forrageiras. Ciência e Agrotecnologia, v.26, n.4, p.762-767, 2002.
- Pearl, J. Causality: Models, Reasoning, and Inference. Cambridge University Press: Cambridge, 2000.
- Pereira, A.V.; Ferreira, R. P.; Passos, L. P. et al. Variação da qualidade de folhas em cultivares de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*) e híbridos de capim-elefante x milheto (*P. purpureum* x *P. glaucum*), em função da idade da planta. Ciência e Agrotecnologia, v.24, n.2, p.490-499, 2000.
- Pimentel-Gomes, Frederico. Curso de Estatística Experimental, 14ªed. Editora F. Pimentel-Gomes, 2000.

- Pinheiro, L. S. (2008) Regressão polinomial conjunta na avaliação da sazonalidade da produção forrageira em clones intra interespecíficos de capim-elefante. Campos dos Goytacazes, RJ. Dissertação (Mestrado) 53p
- Queiroz Filho, J.L.; Silva, D.S.; Nascimento, I.S. Produção de matéria seca e qualidade do capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) cultivar roxo em diferentes idades de corte. *Rev. Bras. Zootec.*, v.29, p.69-74, 2000.
- Quesada, D. M.; Boddey, R. M.; Reis, V.M.; Urquiaga, S. (2004) Parâmetros qualitativos de genótipos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) estudados para a produção de energia através da biomassa. Circular Técnica 8, Seropédica, RJ.
- Quesada, D. B. (2005) Parâmetros quantitativos e qualitativos de diferentes genótipos de capim-elefante com potencial para uso energético. Tese (Doutorado em Agronomia) - Seropédica – RJ, Universidade Federal Rural do rio de Janeiro - UFRRJ, 76p.
- Quitete, V. R. S. (2011) Dialelo parcial em capim-elefante: capacidade combinatória em caracteres morfoagronômicos e bromatológicos em Campos Dos Goytacazes, RJ. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes –RJ, Universidade Estadual do Norte /Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 110p.
- Regazzi, A. J. Teste para verificar a identidade de modelos de regressão e a igualdade de parâmetros no caso de dados de delineamentos experimentais. *Rev. Ceres*, Viçosa, v.46, n.266, p.383-409, 1999.
- Rocha, M. T. Aquecimento global e o mercado de carbono: uma aplicação do modelo CERT. 2003. 214 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP.

- Rodrigues, L. R. de A.; Pedreira, J. V. S.; Mattos, H. B. de. Adaptação ecológica de algumas plantas forrageiras. *Zootecnia*, Nova Odesa, V.13, n. 4, p. 201-218, 1975.
- Rossi, D. A. (2010) Avaliação morfoagronômica e da qualidade da biomassa de acessos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum Schum.*) para fins energéticos no Norte Fluminense. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes –RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 66p.
- Santos, E.A., Silva, D.S., Queiroz Filho. J.L. (2001) Composição química do capim-elefante cv. Roxo cortado em diferentes alturas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 30(1):18-23.
- Santos, M.V.F.; Dubeux JR., J.C.B.; Silva, M.C. (2003) Produtividade e composição química de gramíneas tropicais na Zona da Mata de Pernambuco. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.32, n.4, p.821-827.
- Searle, S. R. (1971) *Linear models*. New York: John Wiley & Sons, 513p.
- Silva, M. M. P.; Vasquez, H. M.; Bressan-Smith, R. E.; Silva, J. F. C.; Erbesdobler, E. D. Diferenças Varietais nas Características Fotossintéticas de *Pennisetum purpureum* Schum. *Revista Sociedade Brasileira de Zootecnia*, 30(6S): 1975-1983, 2001.
- Silva, D. J., Queiroz, A. C. de (2002) *Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos*. 3. ed. Viçosa. 235p.
- Souza, A. L.; Bernardino, F. S.; Garcia, R.; Pereira, O. G.; Rocha, F. C.; Pires, A. J. V. Valor nutritivo de silagem de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) com diferentes níveis de casca de café. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 828-833, 2003.

- Souza, J.R.P; Meh, I H.O; Rodrigues, J. D; Pedras, J. F. 1999. Sombreamento e o desenvolvimento e produção de rabanete. *Scientia Agricola* 56: 1-9.
- Suárez, J.J., Herrera, J., Herrera, R.S. 1986. Riego. In: Sistachs, M. (Ed.) *Los Pastos en Cuba - Producción*. 2.ed. Havana: Edica, v.1, p.417-468.
- Smith, D. *Forage Management in the North*. Dubuque, Iowa, Kendall Hunt Pubs, 1975
- Steel, R. G. D.; Torrie, J. H.; Dickey, D. A. (1997) *Principles and procedures of statistics: a biometrical approach*. 3.ed. New York: McGraw Hill Book, 666p.
- Taiz, L.; Zeiger, E. *Fisiologia Vegetal*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.
- Van Soest, P.J. 1964. Symposium on nutrition and forage and pasture new chemical procedures for evaluating forages. *J. Anim. Sci.*, 23(3):838-845.
- Vasconcellos, G. F. *Biomassa: eterna energia do futuro*. São Paulo. Ed.: SENAC, 2002. 142 pg.
- Veiga, J.B. (1997) Utilização do capim-elefante sob pastejo In: *Capim-elefante produção e utilização* (Eds. Carvalho, M. M., Alvim, M. J., Xavier, D. F., Carvalho, L. de A.) 2 ed, ver. Brasília: EMBRAPA-SPI/ Juiz de Fora: Embrapa-CNPGL.
- Vilela, H., Vilela, D., Barbosa, F.A., Benedetti, E. 2002. Irrigação do Capim Elefante. *Anais da XXXIX Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia*. Julho de 2002. URPE-Recife/PE, CD, 2002.
- Urquiaga, S.; Alves, B.; Boddey, R. M. (2004) *Capim Elefante: Uma nova fonte alternativa de energia*. *Ambiente Brasil*. Disponível em www.ambientebrasil.com.br. Acesso em 25/04/2008.

Wilson, J.R. Effects of water stress on herbage quality. In: INTERNATIONAL Grassland Congress, 14, 1982, Lexington. Lexington: s.ed., 1982. p.470-472.

Xavier, D.F.; Botrel, M. de A.; Daher, R.F.; Gomes, F.T.; Pereira, A.V. Caracterização morfológica e agrônômica de algumas cultivares de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum.). Coronel Pacheco: EMBRAPA-CNPGL, 1995. 24p. (EMBRAPA-CNPGL. Documentos, 60).