

Otimização azotada no capim-elefante para fins energéticos

Nitrogen optimization in elephant grass for energy purposes

Marcia Maria P. Santos^{1*}, Niraldo José Ponciano², Rogério F. Daher², Geraldo A. Gravina², Antonio V. Pereira³ e Carlos L. Santos¹

¹Instituto Federal do Espírito Santo-Campus de Alegre (IFES), Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (CCTA, UENF). Rua Natalina Daher Carneiro, 874. Apto 304. Jardim da Penha- Vitória (ES), Brasil. CEP: 29060490;

²Centro de Ciência e Tecnologias Agropecuárias, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (CCTA, UENF). Av. Alberto Lamego, 2000. Parque Califórnia. Campos dos Goytacazes (RJ), Brasil. CEP: 28013-602;

³Embrapa Gado de Leite, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). Juiz de Fora (MG), Brasil.

(*E-mail: marciapaessantos@yahoo.com.br)

<http://dx.doi.org/10.19084/RCA15122>

Recebido/received: 2015.09.17

Aceite/accepted: 2016.02.11

RESUMO

Conduziu-se uma experiência não irrigada com um delineamento de blocos casualizados, num esquema de parcelas sub-sub-divididas sob cinco doses de Azoto, quatro de Fósforo e três repetições para cada tratamento, em Alegre (ES), para estimar níveis de adubação das cultivares. Utilizou-se a função de produção para obter o máximo físico e ótimo económico. As cultivares constituíram as parcelas, o fósforo as sub-parcelas e o azoto as sub-sub-parcelas. Observou-se a ausência de significância para o fósforo e para as suas interações. E significância para os outros fatores. Realizou-se uma análise envolvendo os fatores Genótipo e Azoto por meio do modelo estatístico de parcela sub-sub-dividida. A estimativa da produtividade ($t\ ha^{-1}$) obteve um ajuste estatístico significativo ($p < 0,05$) ao modelo de segunda ordem. Os resultados indicaram respostas positivas na produtividade física em função da adubação azotada. A receita líquida operacional foi positiva para cvs. Guaçu/IZ.2, Cameroon-Piracicaba e Cana D'África, com os respectivos valores R\$ 326,80; R\$ 219,54 e R\$ 281,49 sem utilização do azoto, devido ao baixo preço da tonelada do capim (R\$ 41,82) e elevado preço da tonelada do azoto (R\$ 2.670,00). Conclui-se que há possibilidade de manipular a produção de capim-elefante para fins energéticos sem a utilização da adubação azotada.

Palavras-chave – Cultivares, energia renovável, função de produção, *Pennisetum purpureum* Schum, produtividade

ABSTRACT

An experiment was conducted without irrigation in randomized block design, in a split-split plot design under five levels of nitrogen and four levels of phosphorus with three replicates for each treatment, in Alegre (ES), to estimate fertilization levels of cultivars. A function of production was used to obtain the levels of physical maximum and optimal economics. The cultivars were integrated in the plots, phosphorus in the subplots and nitrogen were integrated in the subsubplots. There was no significance for phosphorus and their interactions. The other factors showed significance. Therefore, we performed another analysis involving Genotype and Nitrogen factors through statistical model split split plot in space. The estimated productivity ($t\ ha^{-1}$) obtained a significant statistical adjustment ($p < 0,05$) to the second-order model for the surveyed cultivars. The results indicated positive responses to physical productivity depending on nitrogen fertilization. The net operating revenue was positive for Guaçu/IZ.2, Cameroon-Piracicaba and Cana D'África, whose values were 326.80 R\$; 219.54 R\$ and 281.49 R\$, respectively, without nitrogen fertilization, because of the low grass price (41.82 R\$ per ton) and the high nitrogen quote (2,670.00 R\$ per ton). Thus, it can be concluded that there is a possibility to manage the production of elephant grass for energy purposes without the use of nitrogen fertilization.

Keywords – Cultivars, *Pennisetum purpureum* Schum, productivity, production function, renewable energy

INTRODUÇÃO

O capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) apenas recentemente despertou o interesse dos grandes consumidores e empresários de energia, visto que possui uma alta produtividade de biomassa.

A Embrapa Agrobiologia tem desenvolvido estudos com a cultura para identificar genótipos capazes de acumular níveis satisfatórios de biomassa em solos pobres em azoto (Morais *et al.*, 2009).

O azoto é um nutriente que influencia os processos envolvidos no crescimento e desenvolvimento das plantas, alterando a relação fonte-dreno e, conseqüentemente, a distribuição de assimilados entre os órgãos vegetativos e reprodutivos (Porto *et al.*, 2012).

Neste sentido, a manipulação adequada dos macronutrientes é muito relevante na produção desta cultura, principalmente os azotados, tendo em consideração a pobreza da disponibilidade deste nutriente no solo (Flores *et al.*, 2012).

A utilização do capim-elefante para fins energéticos ainda é bastante nova. Segundo Azevedo (2003), aspectos económicos da produção agrícola desta cultura para fins energéticos devem ser mais bem investigados, em virtude do alto preço dos azotados, pois altas quantidades de adubo arcam com aumentos significativos dos custos de produção.

O modelo polinomial quadrático é o mais utilizado por vários pesquisadores (Tarsitano e Hofmann, 1985; Frizzone, 1987; Andrade *et al.*, 2003; Lyra, 2008), na maioria das vezes, foi o que melhor

representou a estimativa de produção, permitindo uma análise que definiu as doses de máxima eficiência económica, com o uso da produtividade máxima ou do lucro máximo.

A utilização da adubação azotada, com base nestas informações, torna-se inviável do ponto de vista económico, já que o óptimo económico, geralmente, não corresponde à máxima produtividade física. Contudo é necessário encontrar o ponto de equilíbrio entre a quantidade aplicada e a produtividade obtida, tendo-se por referência o custo de produção.

Conhecidos os preços dos insumos e dos produtos, pode-se determinar a quantidade óptima de cada insumo a ser utilizado para que a lucratividade do agricultor seja otimizada (Pádua, 1998). Para tanto, deve-se utilizar a análise marginal para a determinação do nível de insumo variável que maximiza o lucro (Ponciano *et al.*, 2006).

O actual estágio de desenvolvimento da produção de biomassa do capim-elefante para fins energéticos ainda é pouco comercializado no mercado; assim, existem inúmeros aspectos económicos a serem investigados. Portanto, o objetivo deste trabalho foi a optimização da adubação azotada para obtenção da produtividade máxima física, e óptima económica das três cultivares de capim-elefante.

MATERIAL E MÉTODOS

A experiência foi instalada numa área cultivável, com latitude de 20°45'57,9" S, longitude de 41°27'23,93" W e altitude de 126 m sendo estas informações obtidas pelo DATUM-SIRGAS 2000. O clima é classificado por Koppen, como sendo do

Quadro 1 - Precipitação pluviométrica (Pe), temperatura (°C), umidade relativa do ar (UR), evapotranspiração potencial diária (ETP) e balanço hídrico (BH) registrado no período de julho de 2012 a 14 de janeiro 2013. Alegre, ES

| Mês/ Ano | Nº dias | Pe (mm) | Temperatura (°C) | | | UR (%) | ETP (mm) | BH (mm) |
|-------------|---------|------------|------------------|-------|-------|-----------|-------------|------------|
| | | | Med | Max | Min | | | |
| 07/12 | 2 | 7,70 | 20,90 | 28,80 | 15,00 | 71,00 | 3,20 | -49,90 |
| 08/12 | 9 | 52,31 | 20,90 | 27,40 | 15,90 | 75,00 | 3,40 | -53,09 |
| 09/12 | 5 | 49,10 | 22,70 | 29,80 | 16,80 | 68,00 | 4,50 | -85,90 |
| 10/12 | 3 | 30,50 | 25,30 | 32,80 | 19,00 | 63,00 | 5,60 | -143,10 |
| 11/12 | 19 | 217,40 | 23,90 | 29,00 | 20,50 | 79,00 | 4,50 | 82,40 |
| 12/12 | 4 | 33,90 | 27,80 | 35,30 | 22,50 | 69,00 | 6,30 | -161,40 |
| 01/13 | 0 | 0,00 | 27,20 | 33,50 | 22,20 | 65,00 | 5,80 | -81,40 |

Fonte: IFES-Campus de Alegre.

tipo CWA, com estação seca no inverno, e verão quente e chuvoso. As condições meteorológicas observadas durante a condução do trabalho experimental estão descritas no Quadro 1.

O solo foi amostrado na profundidade de 0-20 cm para caracterização física e química e apresentou: areia 762,5; Silte 25,2 e Argila 212,3 g kg⁻¹, pH em H₂O = 6,0; P(fósforo por colorimetria, após extração com extrator Mehlich 1) = 19,0 mg dm⁻³; K = 67,0 mg dm⁻³; Na = 0,0 mg dm⁻³; Ca = 1,5 cmol dm⁻³; Mg = 0,5 cmol dm⁻³; Al = 0,0 cmol dm⁻³; H+Al = 1,9 cmol dm⁻³; CTC(t) capacidade de troca catiónica efetiva = 2,2 cmol dm⁻³; CTC(T) capacidade de troca catiónica a pH 7,0 = 4,2 cmol dm⁻³; S.B. = 2,2 cmol dm⁻³; V = 53,4 %; m = 0,0 %, realizada pelo Laboratório de Física do Solo, localizado no município de Alegre-ES. O solo foi classificado de acordo com a Embrapa (2006) como Latossolo Vermelho Amarelo Eutrófico.

Nesta área foi conduzida uma experiência não irrigada com delineamento de bloco casualizado, no esquema de parcelas sub-sub-divididas. Foram avaliadas nas parcelas três cultivares (Guaçu/IZ.2, Cameroon-Piracicaba e Cana D'África) de capim-elefante, nas sub-parcelas quatro doses de fósforo (50; 100; 200 e 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅) e nas sub-sub-parcelas as cinco doses de azoto (0; 500; 1000; 1500 e 2000 kg ha⁻¹ de N), com três repetições para cada tratamento.

A parcela foi composta por quatro linhas de plantio de 12,0 m. A sub-parcela foi constituída por uma única linha de plantio, que foi fraccionada em cinco partes iguais de 2,40 m de comprimento, constituindo a sub-sub-parcela.

O plantio foi realizado em 22 de abril de 2010, em sulcos de 10,0 cm de profundidade, espaçados de 1,50 m. O fósforo, como fonte de Superfosfato simples foi incorporado no solo do sulco. Em seguida, foram distribuídas as mudas, nos respectivos sulcos no sistema de pé com ponta, cortadas e cobertas a uma profundidade de 3,0 cm. O azoto (ureia) foi aplicado durante o ciclo vegetativo em 21/08/2012; 14/09/2012; 13/10/2012; 04/11/2012 e 11/12/2012, em dias chuvosos, conforme o Quadro 1.

Foram feitos dois cortes de uniformização, um em 4 de novembro de 2010 e o outro com 90 dias após o primeiro (fevereiro de 2011). Realizaram-se três cortes de avaliação. O primeiro corte com 180 dias

em agosto/setembro de 2011, o segundo corte com 300 dias, em julho de 2012. O terceiro com 180 dias em 15 de janeiro de 2013. Somente os dados obtidos no terceiro corte foram analisados. Na obtenção destes dados, considerou-se uma área útil de 1,50 m², retirando-se 1,0 m de touceiras de cada sub-sub-parcela. As amostras da planta inteira foram pesadas e trituradas, e em seguida foram secas numa estufa a uma temperatura de 65°C sob circulação de ar forçado até atingir uma massa constante (ASA – amostra seca ao ar). Após a secagem, as amostras foram novamente pesadas, moídas num moinho tipo Wiley malha de 1 mm e acondicionadas em vidros. Os teores de matéria seca foram obtidos mediante secagem em estufa com ventilação de ar forçado, a 105°C por 24 horas (ASE - amostra seca em estufa), servindo este parâmetro para expressar a produção de matéria seca (PMS) em t ha⁻¹, esta estimativa pelo produto do peso da matéria verde das plantas integrais (kg), obtido numa balança digital, provenientes de 1,5 metros quadrados (1,5 m²), pela percentagem de matéria seca da planta integral (%MS) o valor obtido (kg m⁻²) foi convertido para t ha⁻¹. A Percentagem de Matéria Seca (%MS) foi estimada em amostras de plantas inteiras extraídas aleatoriamente de entre as plantas cortadas da área útil, pesadas e submetidas à pré-secagem e pesadas novamente, realizada de acordo com a metodologia descrita por Silva e Queiroz (2002).

Os dados obtidos, no terceiro corte, foram submetidos à análise estatística no modelo de parcelas sub-sub-divididas no espaço, utilizando o Software SAEG para verificar a significância dos fatores e interação genótipos x tratamentos, aplicando o teste de Tukey a 5%. Houve um efeito altamente significativo de azoto na Produção de Matéria Seca (PMS) e não significativo para o fósforo, portanto foi realizado o estudo de regressão polinomial para as doses de azoto para cada cultivar.

O modelo de delineamento estatístico utilizado foi de blocos ao acaso, no esquema de parcelas sub-sub-divididas, por meio do software SAEG versão 9.0, considerando o efeito principal de genótipo (clones) e os efeitos secundários de blocos, dos níveis de fósforo e azoto descrito a seguir:

$$Y_{ijkl} = \mu + B_i + G_j + \epsilon_a + P_j + G_i P_j + \epsilon_b + N_k + G_i N_k + P_j N_k + G_i P_j N_k + \epsilon_c$$

E posteriormente, utilizou-se o Aplicativo Computacional em Genética e Estatística - Programa

Genes (Cruz, 2006) da Universidade Federal de Viçosa, para obtenção dos aspectos dos modelos biométricos de delineamentos e regressão.

A partir dos dados de produção e produtividade, foram feitas as análises económicas das funções de resposta (produção x genótipo e adubação).

As produções de biomassa (matéria seca ha⁻¹) foram obtidas através das médias de cada tratamento experimental, no terceiro corte de avaliação. Com isso, procurou-se contemplar a eficiência dos genótipos avaliados. Os gastos referentes aos insumos e os serviços foram descritos em folhas de cálculo (Microsoft Excel), adaptados ao modelo apresentado pela Cedagro (2013) e por Dadalto *et al.* (1995).

Os custos com mão de obra e mecanização foram estimados com base em valores pagos, respectivamente, por dia/homem e hora/máquina, comumente praticados conforme a abrangência da região do projecto. Assim, os custos variáveis foram destinados à formação da área e ao que já era previsto na sua manutenção. O capital investido na formação do capim-elefante (preparação do solo, insumos, mudas, plantio e outros), depreciação da cerca e custo da terra, estes valores compuseram os custos fixos. Posteriormente, para verificar a rentabilidade foi realizada a análise económica, a partir das estimativas de custos totais por unidade de área em cada unidade experimental, obtendo os valores médios (R\$ t⁻¹ de biomassa seca) da divisão dos seus custos pelas respectivas médias das produções de biomassa observadas para cada tratamento estabelecido.

A produtividade foi determinada nas parcelas e, conseqüentemente, a produtividade média, foi obtida de forma a estabelecer uma relação entre a produtividade das cultivares e o tratamento.

A identificação da função matemática adequada para descrever as relações básicas de insumo-produto, baseou-se em procedimentos básicos (Thompson, 1976), que melhor estimam a função de produção, mediante a técnica estatística de regressão múltipla ajustada, com a finalidade de obter a curva ou a superfície total de produção.

O modelo que melhor se ajustou aos dados obtidos foi o polinómio de segundo grau, e este foi utilizado em virtude das suas propriedades geométricas

permitirem a obtenção dos retornos decrescentes no caso de um único insumo variável. Na obtenção deste modelo, utilizou-se a análise de regressão entre a produção e as doses azotadas aplicadas, ajustada por um modelo polinomial de segunda ordem (Hexem e Heady, 1978), conforme a equação utilizada abaixo:

$$Y = f(X) = a + bX + cX^2 + e_i \quad (1)$$

em que :

Y = produtividade de biomassa por cultivar, t ha⁻¹ por corte;

X = adubação azotada, kg ha⁻¹ por corte;

a, b, c = coeficiente de ajuste;

e_i = erro aleatório.

Com a função de produção ajustada, são determinadas as doses de adubação azotada (X_m) que maximizam a produção (equações 2 e 3):

$$X_m = -\frac{b}{2c} \quad (2)$$

$$Y_{\max} = a + bX_m + cX_m^2 \quad (3)$$

em que

X_m = doses da adubação azotada kg ha⁻¹ por corte, que proporcionaram o máximo valor de produção por cultivar;

Y_{max} = produtividade máxima, t ha⁻¹ por corte.

A receita líquida operacional é expressa por:

$$L(X) = P_Y Y - (P_X X + C + k) + e_i \quad (4)$$

em que:

L(X) = receita líquida operacional, em R\$ por tonelada;

- PY = preço do produto, em R\$ t⁻¹;
 Y = produtividade do produto (t ha⁻¹);
 PX = preço do fator adubo, kg ha⁻¹;
 X = fator adubo, kg ha⁻¹;
 C = custo dos fatores fixos, em R\$;
 k = custos variáveis não relacionados ao custo da adubação, em R\$;
 ei = erro aleatório.

Visando à obtenção da maximização do lucro, calculou-se a derivada de primeira ordem da equação (1) em relação a X e se igualou a derivada obtida à relação dos preços do fator adubo azotado (PX) e do produto (PY), obtendo-se a equação do óptimo económico (Xótimo) que maximizou a receita:

$$X_{ot} = \frac{P_x - P_y b}{2 P_y c} \quad (5)$$

O preço do produto (PY) do capim-elefante foi calculado de acordo com Embrapa Agrobiologia, Urquiaga, S.-Brasil-2006, citado por Mazzarella (2007), como base de precificação numa produção média de matéria seca de 30 t ha⁻¹, utilizando o valor do custo médio de produção e aplicando 20% de lucro. E de acordo com Vilela *et al.* (2007), o custo do m³ da biomassa do capim-elefante com 80% de MS, incluindo o custo variável e fixo, é de R\$ 42,50 por tonelada.

O preço do fator adubo (PX) foi considerado no valor de R\$ 2,67 por kg de azoto (R\$ 60,00 para um saco de ureia com 50 kg), custo médio de produção por corte de R\$ 451,84 por hectare e produção média de 12,9642 t ha⁻¹ de matéria seca.

Na maximização do lucro, obteve-se o valor do produto físico marginal (PFMa) e em seguida se

igualou à relação entre o preço do produto e o preço do fator adubo, conforme as equações descritas a seguir:

$$\frac{\partial y}{\partial x} = 0,00353 - 0,00000432X = \frac{P_x}{P_y}$$

e
$$\frac{\partial y}{\partial x} = 0,00474 - 0,00000456X = \frac{P_x}{P_y}$$

$$\frac{\partial y}{\partial x} = 0,00916 - 0,00000912X = \frac{P_x}{P_y}$$

Considerou-se como dose de adubação azotada (X) economicamente óptima aquela que conduziu ao rendimento com máxima margem bruta.

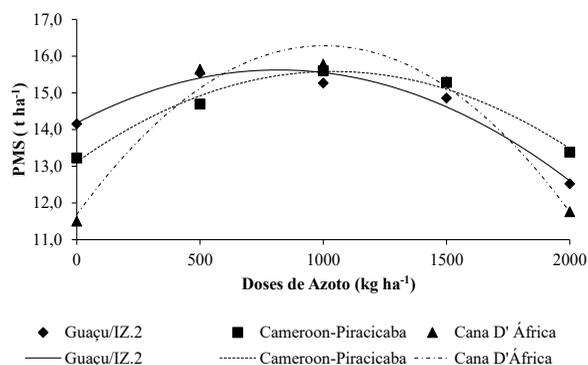


Figura 1 - Produção de Matéria Seca (PMS) de cultivares de capim-elefante em função de doses de azoto.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises de variância simples para a Produção de Matéria Seca evidenciaram o efeito não significativo pelo teste F ($P > 0,05$) para o fator genótipo e fósforo, e as interações que envolveram estes fatores. Entretanto houve um efeito altamente significativo ($P < 0,01$) para o fator azoto.

Na obtenção dos modelos lineares mais representativos (1º grau, 2º grau ou Ausência de Regressão) utilizou-se o Programa Genes (Cruz, 2006). Os aspectos dos modelos biométricos obtidos estão representados na Figura 1

Na estimativa do máximo físico e do ótimo econômico, foi proposta a utilização de um polinômio de segundo grau (Lyra, 2008). Esta equação é considerada a mais utilizada para a função de produção “adubação-cultura”.

As três cultivares responderam positivamente ao aumento dos níveis da adubação azotada, aumentando a produtividade até atingir o máximo físico. Após o máximo, a tendência foi de decréscimo na produtividade de matéria seca com a dose aplicada, conforme a Figura 1.

A variação da produção de matéria seca (PMS) para as cultivares, em função das doses de azoto aplicadas, pode ser explicada pelos modelos, com $R^2 = 97,17\%$ para a cv. Guaçu/IZ.2, com $R^2 = 97,76\%$ para a cv. Cameroon-Piracicaba, e com $R^2 = 96,96\%$ para a cv. Cana D'África (Figura 1). Para a cv. Cameroon-Piracicaba, os modelos obtidos de 1º e 2º graus não se ajustaram ao nível de significância de 5% pelo teste “F”. O modelo que

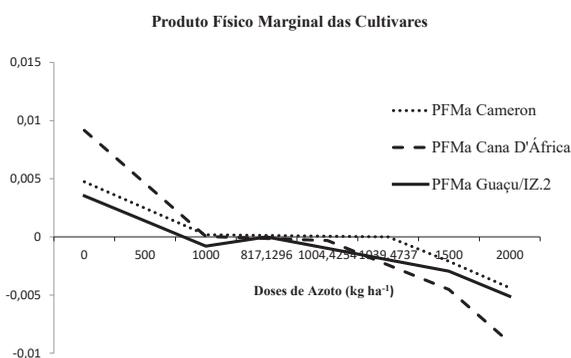


Figura 2 - Produtividade Física Máxima (Máximo Físico) das cultivares, Guaçu/IZ.2, Cameroon-Piracicaba e Cana D'África.

melhor se ajustou para esta cultivar com nível de 10% de significância foi o de 2º grau.

Segundo Flores *et al.* (2012), a produção total de matéria seca de capim-elefante também apresentou uma interação entre a dose de azoto aplicado com a idade de corte; porém, estas interações nos cortes aos 120 e 150 dias após o brotamento foram realizadas com ajustes quadráticos. Já no corte realizado aos 180 dias após o brotamento, observou-se um ajuste significativo linear.

Em explorações intensivas, têm sido observadas respostas positivas de até 800 kg ha⁻¹ de azoto por ano, mas, na maioria dos trabalhos, os níveis econômicos são bem inferiores (Fernandes e Rossiello, 1986).

Neste contexto, usou-se a função de produção na determinação dos níveis economicamente ótimos das cultivares mediante aos fatores envolvidos no processo produtivo, a serem investigados na experiência agrícola. Assim, a função produção indica, em termos quantitativos, o máximo da quantidade do produto que pode ser produzido, baseado numa determinada quantidade de fatores produtivos numa determinada tecnologia.

Os produtos físicos marginais (PFMa) foram determinados a partir das funções de produção obtidas. Quando o valor da primeira derivada das estimativas das funções de produção (PFMa), atinge o valor zero conclui-se que a dose de azoto utilizada proporcionou a produtividade física máxima, conforme a Figura 2.

As produtividades físicas foram obtidas igualando-se a primeira derivada a zero (PFMa=0). E o ótimo econômico foi determinado utilizando a primeira derivada das estimativas das funções de produção, obtendo-se o valor do produto físico marginal

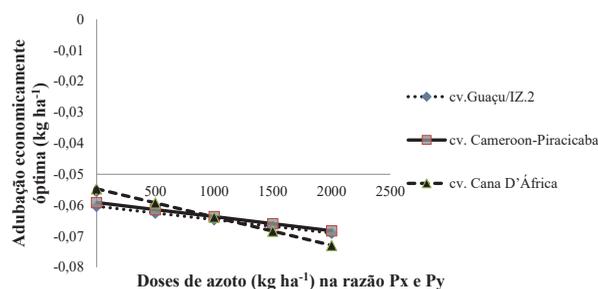


Figura 3 - Adubação economicamente ótima, em função das doses de azoto (kg ha⁻¹) em relação aos preços dos fatores (insumo e produto).

Quadro 2 - Estimativas dos coeficientes da regressão de 1º e 2º graus para a produção de matéria seca (PMS), de três cultivares de capim elefante sob diferentes doses de azoto Kg ha⁻¹ (0, 500, 1000, 1500 e 2000) num intervalo de tempo de 180 dias, para fins energéticos, em Alegre-ES, em 2013

| | | Guaçu/IZ.2 | Cameroon | Cana D'África |
|-------------------------------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| Componente de 1º grau ⁱ | β_0^{iii} | 15,26 ** | 14,26 ** | 13,97 ** |
| | β_1^{iv} | -0,0007 ns | 0,0002 ns | 0,00003 ns |
| Componente de 2º grau ⁱⁱ | β_0^{iii} | 14,1781** | 13,1201 ** | 11,6853 ** |
| | β_1^{iv} | 0,00353 ns | 0,00473 ns | 0,00916 ns |
| | β_2^v | -0,00000216 ns | -0,00000228 ns | -0,00000456 ns |

ⁱⁱⁱ – Testados com QMResíduo (b) = 9,59, pelo teste F, com GL = 132; ^{ii,iii,iv,v} – Teste t bilateral – S²/r = 0,78, Graus de liberdade = 132, r = 12; * Significativo ao nível e 5% de probabilidade; ** Significativo ao nível de 1% de probabilidade; ns – Não significativo ao nível de 5% de probabilidade

Quadro 3 - Doses de azoto que proporcionaram o máximo físico (M.F), a máxima produtividade física (M.P.F), ótimo econômico (O.E) e produtividade economicamente ótima (P.E.O), e lucro, encontrados para as cultivares Guaçu/IZ.2, Cameroon-Piracicaba e Cana D'África

| CULTIVARES | (M.F) kg ha ⁻¹ de azoto | (M.P.F) t ha ⁻¹ | (O.E) kg ha ⁻¹ de azoto | (P.E.O) t ha ⁻¹ | Lucro R\$ |
|---------------|---------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|--------------|
| Guaçu IZ.2 | 817,1296 | 15,6203 | Zero | 14,16 | 326,80 |
| Cameroon | 1.039,4737 | 15,5845 | Zero | 13,23 | 219,54 |
| Cana D'África | 1.004,4254 | 16,2854 | Zero | 11,51 | 281,49 |

Fonte: Extraído dos resultados da pesquisa pelos autores.

(PFMa) e em seguida igualando-se esse, à relação entre o preço do produto e o preço do fator adubo.

Para atender às relações entre os preços do fator adubo e do produto construiu-se um gráfico da adubação economicamente ótima, levando em consideração as doses de azoto em relação aos preços destes fatores (PX/PY), conforme a Figura 3. As doses economicamente ótimas das cultivares foram impossíveis determiná-las racionalmente, pois os coeficientes de ajustes (b e c) foram estatisticamente não significativos (p > 0,05), no modelo quadrático pelo teste t bilateral (Quadro 2).

Tornou-se imprescindível o entendimento que na obtenção do ótimo econômico foi considerado tendenciosamente a utilização da dose zero de azoto na maximização do lucro. No entanto, não é recomendável o incremento azoto na obtenção da máxima eficiência econômica. Percebeu-se que o aumento das doses de adubação azotada em relação aos preços dos fatores adubo (insumo) e produto (PX/PY), tornou-se inviável em virtude de ocasionar decréscimo da adubação economicamente ótima, na maximização do lucro

ao rendimento com máxima margem bruta, das cultivares de capim-elefante, conforme os dados do Quadro 3.

É importante ressaltar que se obtiveram as maiores produtividades físicas aplicando-se as doses de 817,1; 1.039,5 e 1.004,4 kg ha⁻¹ de azoto, enquanto que as produtividades economicamente ótimas para as três cultivares, ocorreram com a não utilização de azoto, em virtude do alto custo de produção, devido ao elevado preço do insumo, e pela baixa precificação do produto.

Observa-se que as doses de azoto que proporcionaram a maior produtividade física são bem superiores em relação à que gerou a produtividade econômica máxima, o que indica que a adubação azotada deve ser feita de forma cuidadosa a manter condições ótimas de retorno financeiro e garantir o desenvolvimento vegetativo da cultura.

Diante disso, com a produtividade máxima econômica obtida, e com a utilização da equação (4) de receita líquida operacional verificou-se

que a lucratividade máxima foi sem a utilização da adubação azotada. Apresentado uma receita líquida operacional positiva para Guaçu/IZ.2, Cameroon-Piracicaba e Cana D'África, com valores de R\$ 326,80; R\$ 219,54 e R\$ 281,49, respectivamente, enquanto que para as outras doses de azoto, foi negativa.

O custo de produção obtido foi de R\$ 34,85 por tonelada de matéria seca, com 20% de lucro de margem de comercialização. Assim, obteve-se o preço de venda estimado (PY) na relação benefício e custos de produção (B/C) $\geq 1,2$, que totalizou R\$ 41,82 por tonelada de matéria seca.

Com a relação custo/benefício para a cultura do capim elefante, na obtenção da produtividade ótima económica e lucratividade máxima, não é recomendável o uso da adubação azotada de cobertura para as cultivares (Guaçu/IZ.2, Cameroon-Piracicaba e Cana D'África), mediante às condições avaliadas.

Vale salientar que os resultados obtidos tratando-se das produtividades físicas e económicas das cultivares ocorreram num período em que a cultura sofreu stresses hídricos e mediante ao procedimento adotado na obtenção do ótimo económico. Segundo Ferreira (1992), no uso das funções de custos totais lineares é recomendável analisar cautelosamente as restrições decorrentes no processo de produção quando a visão for lucro.

Os resultados de produtividades físicas, obtidos nesta experiência, diferenciam do observado por Flores *et al.* (2012), a produção total de matéria seca de capim-elefante foram obtidas com ajustes quadráticos, nos cortes aos 120 e 150 dias após o brotamento, atingindo 29,4 e 31,7 t ha⁻¹ nas doses de 121,2 e 142 kg ha⁻¹ de azoto. Já no corte realizado aos 180 dias após o brotamento, observou-se um ajuste significativo linear, atingindo 41,2 t ha⁻¹ com a dose aplicada de 150 kg de azoto-fertilizante.

No trabalho de Andrade *et al.* (2003), em Brotas (SP), a cv. Guaçu atingiu o potencial máximo de 88,4269 t ha⁻¹ de produção anual de matéria seca com aplicação de 228,3 kg ha⁻¹ de azoto.

De acordo com Vitor *et al.* (2009) a maior produção acumulada em todos os períodos foi obtida com a dose de azoto de 700 kg ha⁻¹, 29.049,04 kg ha⁻¹ de MS em todo o período experimental, sendo 21.128,43

kg ha⁻¹ de MS no período chuvoso e 8.066,73 kg ha⁻¹ de MS no período seco.

Em se tratando da produtividade económica, os resultados obtidos diferiram de Lira *et al.* (1996), a produção de MS obtida, com o tratamento de 60,0 kg ha⁻¹ de azoto corte⁻¹ e de 120,0 kg ha⁻¹ de P₂O₅ a cada três cortes, além de 30,0 kg ha⁻¹ de K₂O por corte, foi o que mostrou o melhor retorno económico, chegando a produzir em média, 144% mais, se comparado com a testemunha. Se tomar a produção adicional do referido tratamento e dividi-la pela adubação azotada utilizada (60,0 kg ha⁻¹ de azoto corte⁻¹), ter-se-ão aproximadamente 76,17 kg de MS adicional produzido por cada kg de azoto aplicado.

Para tanto, com o custo médio de produção por corte de R\$ 451,84 por hectare, e a produção média de 12,9642 t ha⁻¹ de MS obtida na experiência das três cultivares, ficou inviável economicamente a utilização da adubação azotada de cobertura.

CONCLUSÃO

A exploração experimental desta cultura mostrou que, diante do preço da tonelada de capim e do preço do fertilizante, não proporcionaram retorno económico satisfatório. Conclui-se que não é recomendável a utilização de adubação azotada na produção de capim-elefante para fins energéticos no município de Alegre (ES).

Sendo assim, com a não utilização de azotados para esta finalidade em longo prazo de exploração, os estudos deverão ser realizados na fixação biológica de azoto (FBA) associada ao capim-elefante para uma agricultura sustentável.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) pelo acordo junto à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio ao programa de doutorado interinstitucional (DINTER). E a Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, J.B. de; Júnior, E.F.; Beisman, D.A.; Werner, J.C.; Ghisi, O.M.A.A. e Leite, V.B. de O. (2003) - Avaliação do capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum.) visando o carvoejamento. In: *Anais do 3º Encontro de Energia no Meio Rural-AGRENER. Campinas, Setembro*. [cit. 2010-06-06].
<http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022000000100029&script=sci_arttext>.
- Azevedo, P.B.M. (2003) - Aspectos econômicos da produção agrícola do capim elefante. In: *Anais do 3º Encontro de Energia no Meio Rural -AGRENER. Campinas, Setembro*. [cit. 2010-06-17].
<http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022000000100032&script=sci_arttext#figura1>.
- CEDAGRO, Centro de Desenvolvimento do Agronegócio. (2013) - *Coefficientes técnicos e custos de produção na agricultura do estado do Espírito Santo*. [cit. 2013-07-29].
<http://www.cedagro.org.br/?page=pg_coeficientes_planilhas>.
- Cruz, C. D. (2006) - *Programa Genes: Biometria*. Editora UFV. Viçosa (MG). 382 p.
- Dadalto, G.G.; Barbosa, C.A. e Bergoli, E. (1995) - *Coefficientes Técnicos para o custeio de produtos agrícolas no Estado do Espírito Santo (1ª Aproximação)*. Vitória, SEAG, ES. 32 p.
- EMBRAPA. (2006) —Sistema brasileiro de classificação de solos. 2ed. Rio de Janeiro: Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária, Embrapa Solos, p. 164.
- Fernandes, M.S. e Rossiello, R.O.P. (1986) - Aspectos do metabolismo e utilização do nitrogênio em gramíneas tropicais. In: *Simpósio sobre Calagem e Adubação de Pastagens, Nova Odessa*. Piracicaba; Associação Brasileira para Pesquisa da potassa e do fosfato, p. 421-442.
- Ferreira, H.I.S. (1992) - Cacao standard production cost monitoring in Bahia, Brazil. *Agrotropica*, vol. 4, n. 3, p. 53-70.
- Flores, R.A.; Urquiaga, S.S.; Alves, B.J.R.; Collier, L.S.; Zanetti, J.B. e Prado, R.M. (2012) - Nitrogênio e idade de corte na qualidade da biomassa de capim-elefante para fins agroenergético cultivado em Latossolo. *Semina: Ciências Agrárias*, vol. 34, n.1, p. 127-136. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n1p127>
- Frizzone, J.A. (1987) - Funções de resposta do feijoeiro ao uso do nitrogênio e lâmina de irrigação. In: *Simpósio sobre o Manejo da Água na Agricultura, 1987, Campinas*. Unicamp, p. 123-133.
- Hexem, R.W. e Heady, E.O. (1978) - *Water production function for irrigated agriculture*. Ames: The Iowa State University, 215 p.
- Lira, M. de A.; Farias, I.; Fernandes, A. de P.M.; Soares, L.M. e Dubeux Junior, J.C.B. (1996) - Efeito da adubação nitrogenada e fosfatada no rendimento do capim elefante *Pennisetum purpureum* Schum. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 31, n. 1, p. 19-26.
- Lyra, G.B.; Ponciano, N.J.; Sousa, E.F. de; Bernardo S.; Daher, R.F.; Pereira, M.G. e Marinho, A.B. (2008) - Estimativa dos Níveis ótimos e econômicos de irrigação no Mamoeiro (*Carica papaya* L.) cultivar Golden nas condições do norte do Espírito Santo. *Revista Brasileira Fruticultura*, vol. 30, n. 2, p. 390-395. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452008000200021>
- Mazzarella, V.N.G. (2007) - *Capim elefante como fonte de energia no Brasil: realidade atual e expectativas. Workshop Madeira Energética*. Rio de Janeiro. [cit. 2013-06-25].
http://www.inee.org.br/down_loads/eventos/0945VicenteMazzarella%20IPT.ppt>.
- Morais, R.F.; Zanetti, J.B.; Pacheco, B.M.; Jantalia, C.P.; Boddey, R.M.; Alves, B.J.R. e Urquiaga, S. (2009) - Produção e qualidade da biomassa de diferentes genótipos de capim-elefante cultivados para uso energético. *Revista Brasileira de Agroecologia*, vol. 4, n. 2, p. 1103-1107.
- Pádua, T. de S. (1998) - *Espaçamento econômico na cultura do cafeeiro (Coffea arabica L.): um estudo no Sul de Minas Gerais*. Dissertação de Mestrado em Economia Universidade Federal de Lavras, Brasil. 62 p.
- Ponciano, N.J.; Constantino, C.O.R., Souza, P.M. e Detmann, E. (2006) - Avaliação econômica da produção de abacaxi (*Ananas comosus* L.) cultivar pérola na região Norte Fluminense. *Caatinga*, vol. 19, n. 1, p. 82-91.
- Porto, M.L.A.; Puiatti, M.; Fontes, P.C.R.; Cecon, P.R.; Alves, J. do C. e Arruda, J.A. de. (2012) - Produtividade e acúmulo de nitrato nos frutos de abobrinha em função da adubação nitrogenada. *Bragantia*, vol. 71, n. 2, p. 190-195. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052012005000020>.
- Silva D.J. e Queiroz, A.C. de (2002) - *Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos*. 3. ed. Viçosa, 235 p.

- Tarsitano, M.A.A. e Hoffman, R. (1985) - Análise econômica do emprego de fertilizantes na cultura do milho. *Revista Economia Rural*, vol. 23, n. 3, p. 333-349.
- Thompson, R.L. (1976) - *Economia da produção I*. Viçosa: UFV, Departamento Rural, 191 p. Mimeografado.
- Vilela, H. e Cerize, D. (2009) - *Capim Elefante Paraíso na geração de energia*. Agronomia: Portal da Ciência e Tecnologia. [cit. 2013-08-02].
http://www.agronomia.com.br/conteudo/artigos/artigos_capim_elefante_paraíso_geracao_energia.htm.
- Vitor, C.M.T.; Fonseca, D.M. da; Cóser, A.C.; Martins, C.E.; Júnior, D. do N. e Júnior, J.I.R. (2009) - Produção de matéria seca e valor nutritivo de pastagem de capim-elefante sob irrigação e adubação nitrogenada. *Revista Brasileira Zootecnia*, vol. 38, n. 3, p. 435-442. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982009000300006>