

## **INFLUÊNCIA DA ADUBAÇÃO NITROGENADA, IDADES DE CORTE DA PLANTA E PRÉ-TRATAMENTOS DA FIBRA SOBRE A PRODUÇÃO DE ETANOL DE CAPIM-ELEFANTE CULTIVADO EM SOLOS DE CERRADO**

**PAULO RICARDO AMÉRICO GLÓRIA<sup>1</sup>, FLÁVIA LUCILA TONANI DE SIQUEIRA<sup>2</sup>, GUILHERME BENKO DE SIQUEIRA<sup>3</sup>, WALYSSON BERNARDO RODRIGUES SANTOS<sup>4</sup>, ITANA NEIVA BATISTA<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Universidade Federal do Tocantins, Avenida NS – 15, ALCNO – 14, Quadra 109 Norte, Plano Diretor Norte, CEP 77001-090, Palmas, TO, Brasil. pauloricardoagro23@gmail.com

<sup>2</sup> Departamento de Agroenergia, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Universidade Federal do Tocantins, Avenida NS – 15, ALCNO – 14, Quadra 109 Norte, Plano Diretor Norte, CEP 77001-090, Palmas, TO, Brasil. flaviatonani@mail.uft.edu.br

<sup>3</sup> Departamento de Agroenergia, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Universidade Federal do Tocantins, Avenida NS – 15, ALCNO – 14, Quadra 109 Norte, Plano Diretor Norte, CEP 77001-090, Palmas, TO, Brasil. guibenko@uft.edu.br

<sup>4</sup> Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Universidade Federal do Tocantins, Avenida NS – 15, ALCNO – 14, Quadra 109 Norte, Plano Diretor Norte, CEP 77001-090, Palmas, TO, Brasil. walyssonbernardo@gmail.com

<sup>5</sup> Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Universidade Federal do Tocantins, Avenida NS – 15, ALCNO – 14, Quadra 109 Norte, Plano Diretor Norte, CEP 77001-090, Palmas, TO, Brasil. itananeiva@gmail.com

**RESUMO:** O experimento avaliou o efeito de diferentes níveis de adubação nitrogenada (0, 50, 100 e 150 kg ha<sup>-1</sup>) e idades de corte da planta (100, 130 e 160 dias após o plantio) sobre a produtividade do capim-elefante “BRS Canará” e a influência de diferentes pré-tratamentos da fração fibrosa (um, utilizando autoclavagem em meio ácido, e o outro, em meio ácido seguido de básico) sobre o rendimento em etanol estimado pela hidrólise da fibra. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em esquema de parcelas sub subdivididas. A produtividade não foi influenciada pelos diferentes níveis de adubação nitrogenada, entretanto, na medida em que as idades de corte avançaram, foi observado incremento significativo (P<0,05) na produção do capim-elefante. Os fatores experimentais não interagiram entre si significativamente (P>0,05), exceto para estimativa de rendimento de etanol em L.t<sup>-1</sup> de matéria seca original nas variáveis idades de corte da planta e pré-tratamentos. Os níveis de nitrogênio não influenciaram o rendimento em etanol. O corte realizado aos 100 dias apresentou maior rendimento em L.t<sup>-1</sup> de matéria seca pré-tratada (93,67 litros), já o corte aos 160 dias proporcionou o maior rendimento em L ha<sup>-1</sup> (426,09 litros). O pré-tratamento ácido/base proporcionou maior rendimento em L.t<sup>-1</sup> de matéria seca pré-tratada (114,41 litros), mas não foi observado efeito significativo (P>0,05) entre pré-tratamentos quando o rendimento foi expresso em L ha<sup>-1</sup>.

**Palavras-chave:** biomassa, etanol, nitrogênio, corte, pré-tratamentos.

## **INFLUENCE OF NITROGEN FERTILIZATION, PLANT CUTTING AGES AND FIBER PRE-TREATMENTS ON THE PRODUCTION OF CAPIM ELEPHANT ETHANOL CULTIVATED IN CLOSED SOILS**

**ABSTRACT:** The experiment evaluated the effect of different levels of nitrogen fertilization (0, 50, 100 and 150 kg ha<sup>-1</sup>) and cutting ages (100, 130 and 160 days after planting) on elephant grass “BRS Canará” productivity and the influence of different pre treatments of fibrous fraction (one, using autoclaving in a medium acid and the other, in a medium acid followed by basic) on the ethanol yield estimated by the fiber hydrolysis. The experimental design used was completely randomized in a subdivided plot scheme. The productivity was not influenced by the different levels of nitrogen fertilization, however, as the cutting ages advanced, a significant increase (P <0.05) in the production of elephant grass was observed. The experimental factors did not interact with each other significantly (P > 0.05), except for estimation of ethanol yield in L.t-1 of original dry matter in the plant cutting

age and pretreatment variables. Nitrogen levels did not influence ethanol yield. The cut made at 100 days showed the highest yield in L.t-1 of pre-treated dry matter (93.67 liters), while the cut at 160 days provided the highest yield in L ha-1 (426.09 liters). The acid / base pretreatment provided the highest yield in Lt-1 of pre-treated dry matter (114.41 liters), but no significant effect ( $P > 0.05$ ) was observed between pretreatments when the yield was expressed in L ha-1.

**Keywords:** biomass, ethanol, nitrogen, cutting, pre-treatments.

## 1 INTRODUÇÃO

Sabendo dos benefícios ambientais ocasionados pela substituição dos combustíveis fósseis por biocombustíveis como o etanol, um possível aumento de produção para atender à demanda mundial pelo produto acarretaria na necessidade de um enorme crescimento de áreas produtivas, além do aumento da eficiência agrícola e industrial, o que poderia gerar uma possível competição entre o uso da terra para produção de alimentos e ou produção de biocombustíveis. Todavia, buscas por fontes alternativas de produção de etanol estão ocorrendo, como é o caso do etanol de segunda geração obtido através da utilização da biomassa hidrolisada como fonte de matéria-prima para a fermentação (LEITE, 2016). Enquanto o etanol de primeira geração é obtido através do açúcar e amido presente em materiais como cana-de-açúcar e milho, o etanol de segunda geração é produzido a partir da biomassa lignocelulósica presente nos resíduos culturais, ou seja, qualquer matéria-prima de origem biológica que tenha quantidades significativas de açúcar ou de materiais possíveis de serem convertidos em açúcares fermentescíveis como é o caso da celulose, podem ser transformados em etanol de segunda geração (PALACIO et al., 2012).

Em geral, materiais lignocelulósicos apresentam de 30 a 60% de celulose, 20 a 40% de hemicelulose e 10 a 20% de lignina. A celulose e a hemicelulose podem, através da hidrólise enzimática, ser convertidas em açúcares fermentescíveis, que então podem ser transformados em etanol (MARTELLI, 2014).

Dentre as biomassas lignocelulósicas para produção de biocombustíveis de segunda geração, o capim-elefante tem mostrado importantes vantagens até mesmo se comparado a outras matérias-primas utilizadas para produção de etanol de primeira geração

como soja, milho e cana-de-açúcar. Ele apresenta curto período de produção e não interfere significativamente na produção de alimentos, entretanto, sua principal vantagem é a grande capacidade de desenvolvimento mesmo em condições adversas de solo e clima (GRASEL et al., 2016). Além disso, aliado a esse alto potencial produtivo vem a possibilidade de realização de múltiplos cortes, tornando essa cultura uma alternativa excelente para produção de biomassa lignocelulósica objetivando a produção de etanol celulósico (MARAFON et al., 2014).

Sabendo do alto potencial do capim-elefante para produção de etanol de segunda geração, sobretudo pelas suas características favoráveis, surge a cultivar BRS Canará como alternativa a ser pesquisada, objetivando a produção desse biocombustível. Todavia, mesmo diante de todas as qualidades que favorecem a cultura, fatores como ganho de produtividade e composição química sofrem variações de acordo com a idade da planta, porte da planta e fertilidade do solo, principalmente por influência do macronutriente nitrogênio (ANDRADE et al., 2003). Nesse contexto, ciente de que esse material ainda não foi amplamente estudado, explorar seus componentes (celulose, hemicelulose e lignina) e suas associações se mostra como um obstáculo para difusão do processo de produção de etanol utilizando essa biomassa.

Contudo, diante dos desafios apresentados, o presente trabalho consistiu em avaliar o efeito de diferentes níveis de adubação nitrogenada, idades de corte da planta e pré-tratamentos da fibra, sobre o potencial de produção de etanol de segunda geração a partir do capim-elefante “BRS Canará”.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Período e local do experimento

O experimento foi instalado no Câmpus Experimental da Universidade Federal do Tocantins - UFT, situado na cidade de Palmas (TO), a 10°10' de latitude sul, 48°21' de latitude oeste e 212 metros de altitude, em solo do tipo latossolo vermelho-amarelo, textura franco arenosa, no período de dezembro de 2015 a maio de 2016. A segunda parte do estudo foi conduzida no Laboratório de Solos e Aproveitamento de Resíduos Agroindustriais da Universidade Federal do Tocantins (UFT).

### 2.2 Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos avaliados foram diferentes doses de adubação nitrogenada (0, 50, 100 e 150 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>), três idades de cortes preestabelecidas que ocorreram 100, 130, 160 dias após o plantio, respectivamente, e dois tipos de pré-tratamento da biomassa, um utilizando ataque ácido e outro utilizando ataque ácido seguido de básico. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em esquema de parcelas sub subdivididas, sendo as parcelas correspondentes aos três níveis de adubação nitrogenada e o tratamento testemunha. As subparcelas corresponderam às três idades de corte e as sub subparcelas aos dois tipos de pré-tratamento da fibra. Foram realizadas quatro repetições por tratamento, totalizando quarenta e oito parcelas experimentais em campo, com 6 m<sup>2</sup> cada, que foram submetidas a avaliações com os dois tipos de pré-tratamento, resultando em um total de noventa e seis parcelas experimentais.

### 2.3 Metodologia utilizada e parâmetros avaliados

Inicialmente, foi retirada amostragem do solo na área do plantio na profundidade de 0 – 20 cm para realização de análise química. A análise apresentou os seguintes resultados: matéria orgânica - 0,60%; pH (CaCl<sub>2</sub>) - 5,60; H+Al<sup>+3</sup> - 1,60 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>-3</sup>; Ca<sup>+2</sup> + Mg<sup>+2</sup> - 3,00

cmol<sub>c</sub>/dm<sup>-3</sup>; K<sup>+</sup> - 40 mg/dm<sup>-3</sup>; fósforo trocável (Mehlich 1) - 1,8 mg/dm<sup>-3</sup>. Antes da implantação do experimento, ocorreu o preparo convencional do solo com gradagem. Após a abertura dos sulcos, foram aplicados 100 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de cloreto de potássio e superfosfato simples, aliados ao plantio que foi feito utilizando a cultivar BRS Canará do capim-elefante através de propagação vegetativa com o uso de estacas. Foi adotado um espaçamento de meio metro entre sulcos na linha e noventa centímetros entre as linhas. A correção do solo já havia sido feita antes da data prevista para realização do experimento. Após a implantação, o experimento contou com duas capinas de manutenção, uma 30 e outra 60 dias após o plantio. A adubação nitrogenada foi feita com sulfato de amônio, aplicado aos 70 dias após o plantio.

Nas idades previamente estabelecidas para o corte, dentro das subparcelas designadas para tal idade, amostras foram coletadas aleatoriamente, na altura de aproximadamente quinze centímetros do solo, e pesadas. O material colhido foi submetido à secagem em estufa com circulação forçada de ar a 60 °C por 72 horas, após foi feita a pesagem e posteriormente a determinação dos teores de matéria seca e estimativa do rendimento de biomassa (t. de MS. ha<sup>-1</sup>). A partir desses dados, estimou-se a produção de matéria verde e de matéria seca por hectare.

Após a secagem do material em estufa ocorreu o processo de moagem utilizando moinho de facas acoplado a peneira de 30 mesh.

Foram determinados os teores de FDN (fibra em detergente neutro), FDA (fibra em detergente ácido) e Hemicelulose, seguindo o método de Van Soest, conforme citado por Silva e Queiroz (2002), que consiste na separação das várias frações da biomassa por meio de reagentes específicos denominados detergentes. Com referência à metodologia para determinação de FDN foi feita adaptação analítica onde, inicialmente, pesou-se 0,5 grama de amostra seca de cada tratamento, que passou por processo de lavagem em 15 ml de solução de fibra em detergente neutro por 120 minutos à temperatura de 90 °C no equipamento banho-maria. Após o processo, a

amostra resultante foi filtrada utilizando bomba a vácuo e, posteriormente, foi submetida à secagem em estufa de ventilação forçada a 60 °C até atingir massa constante.

Para determinação de FDA, utilizou-se a mesma marcha citada anteriormente, diferenciando apenas na quantidade de amostra de cada tratamento utilizada no processo, que passou a ser 0,2 gramas, e a solução utilizada para a lavagem, passando a ser detergente ácido. Para determinação da hemicelulose foi considerada a diferença entre os teores obtidos para FDN e FDA.

O coeficiente de hidrólise da fibra ( $CH_{\text{Fibra}}$ ) foi determinado pela diferença do peso final do material pré-tratado em relação ao inicial, sendo expresso em porcentagem.

Objetivando comparar a eficiência na melhora da capacidade de acesso das enzimas ao substrato fibroso durante a hidrólise, com a finalidade de aumentar os rendimentos desse processo, as amostras foram submetidas a dois tipos de pré-tratamento: um apenas ácido e outro ácido/básico sequencialmente.

O pré-tratamento ácido foi feito com o objetivo de impulsionar a desorganização da matriz lignocelulósica e a separação da hemicelulose da fração lignocelulose. Para isso, inicialmente foram pesados 5,0 g do material lignocelulósico para cada tratamento (totalizando 96 amostras) que posteriormente foi submetido à hidrólise ácida usando o  $H_2SO_4$  com concentração diluída de 1,0% (v/v em água) e a razão sólido/líquido de 5/77 (grama biomassa/mL solução) em autoclave à temperatura de 120 °C a 125 °C por 60 minutos. As amostras foram, então, lavadas várias vezes com água destilada quente (90 a 100 °C), usando uma quantidade próxima a 80 mL e outras duas vezes com acetona (cerca de 25 mL por lavagem), até sua clarificação. As porções sólidas recuperadas a partir de filtração a vácuo foram secas em estufa a 60 °C até terem atingido massa constante e posteriormente foram pesadas.

A partir dos resultados do processo descrito anteriormente, metade das amostras (48 amostras correspondentes às quatro repetições por cada tratamento) foram submetidas à segunda etapa de pré-tratamento, que corresponde à deslignificação do material

por meio do método alcalino. Foi usado NaOH na concentração de 4,0% (g/v em água), a razão de sólido/líquido de  $\cong 2/77$  (grama biomassa/mL solução) e foram mantidas as mesmas condições em autoclave descritas na etapa anterior. No fim do processo, as amostras foram filtradas e as frações sólidas lavadas com água destilada quente (90 a 100 °C), usando uma quantidade próxima a 80 mL e outras duas vezes com acetona (cerca de 30 mL por lavagem), até a clarificação das amostras. As porções sólidas recuperadas a partir de filtração a vácuo foram secas em estufa a 60 °C até atingirem massa constante. Posteriormente, as amostras foram pesadas e foram feitas então as estimativas dos rendimentos por esse processo (LIMA, 2013).

Com o objetivo de disponibilizar os açúcares fermentescíveis, os materiais lignocelulósicos obtidos após os pré-tratamentos foram submetidos à hidrólise enzimática utilizando o complexo enzimático Cellic CTec2, batelada VCNI0013, da empresa Novozymes. O complexo citado promove a conversão do material de hidratos de carbono em açúcares simples antes da fermentação; ele é uma mistura de celulasas agressivas, com alto percentual de  $\beta$ -glucosidase e hemicelulase.

O meio reacional consistiu de 1g do substrato, 60  $\mu$ L do complexo enzimático diluído em 30 mL do tampão citrato de sódio/ácido cítrico (0,05 M, pH = 4,8) em tubos de ensaio de 20x200. As reações enzimáticas se deram no equipamento banho-maria a 48 °C, agitação de 180 rpm, durante 72 horas. A dose de Cellic CTec2 utilizada foi obtida com base no teor de fibra presente em cada substrato pré-tratado, sendo usada a dosagem correspondente a 6,0% da fibra como complexo enzimático (NOVOZYMES, 2015).

Através da diferença do peso final (após a hidrólise enzimática) e o inicial (antes da hidrólise enzimática), foi estimada a quantidade de açúcares fermentescíveis resultantes da hidrólise da celulose e hemicelulose; então levou-se em consideração para efeito de cálculo de rendimento de etanol a equação estequiométrica de Gay-Lussac que estabelece que, para cada 100 kg de açúcares redutores total, são produzidos 46,49 kg de biocombustível (FINGUERUT et al., 1985).

## 2.4 Análises estatísticas

Os resultados da pesquisa foram submetidos ao teste Shapiro-Wilk para verificação da normalidade dos dados e, posteriormente, foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 5% de significância. As

médias dos tratamentos foram comparadas através do teste Scott-Knott a 5% de significância. Os procedimentos estatísticos foram realizados através do *software* estatístico Assistat 7.7, conforme Silva e Azevedo (2016), conforme Modelo Estatístico (1):

$$(\hat{Y}_{ijkh} = \mu + N_i + \varepsilon_a + I_j + N \times I_{ij} + \varepsilon_b + P_k + N \times P_{ik} + I \times P_{jk} + N \times I \times P_{ijk} + \varepsilon_{ijkh}) \quad (1)$$

Onde:

$\hat{Y}_{ijkh}$ : valor observado na *i*-ésima repetição da parcela *i*, na subparcela *j*, na sub-subparcela *k*;

$\mu$ : média geral

$N_i$ : fator da parcela principal (Dose de Nitrogênio);

$\varepsilon_a$ : erro da parcela principal (Dose de Nitrogênio) – erro a;

$I_j$ : Fator da subparcela (Idade de Corte);

$N \times I_{ij}$ : Interação  $N \times I_{ij}$ ;

$\varepsilon_b$ : erro da subparcela (Idade de Corte) – erro b;

$P_k$ : Fator da sub-subparcela (Pré-tratamento);

$N \times P_{ik}$ : Interação  $N \times P_{ik}$ ;

$I \times P_{jk}$ : Interação  $I \times P_{jk}$ ;

$N \times I \times P_{ijk}$ : Interação  $N \times I \times P_{ijk}$ ;

$\varepsilon_{ijkh}$ : Resíduo;

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Produção de matéria seca

De acordo com os resultados obtidos no experimento, observou-se que não houve interação significativa ( $P > 0,05$ ) entre os fatores experimentais: níveis de nitrogênio e idades de corte da planta sobre a produção de matéria seca ( $t \cdot ha^{-1}$ ). Nesse contexto, conforme a Tabela 1, as médias mostram que as aplicações de doses crescentes de nitrogênio não incrementaram significativamente o rendimento de matéria seca ( $t \cdot ha^{-1}$ ), em contrapartida, o fator idade de corte influenciou de forma significativa na produção ( $P < 0,05$ ). Do mesmo modo, Magalhães et al. (2006), em seu experimento avaliando a influência da adubação nitrogenada e da idade de corte sobre o rendimento forrageiro do capim-elefante também observaram que nas diferentes doses de nitrogênio não foram detectadas diferenças significativas a partir da análise de variância, fato contrário às idades de corte que apresentaram efeitos significativos na produção de matéria seca. Contrariando tais resultados, Flores et al. (2012), em suas avaliações

constataram que a aplicação de doses crescentes de nitrogênio, juntamente com a idade de corte do capim-elefante, aumentaram significativamente a produção de matéria seca de colmos, de folhas e da parte aérea.

O rendimento médio de matéria seca da BRS Canará nas diferentes idades de corte variou de 4,83 t. de MS  $ha^{-1}$  (100 dias) até 19,23 t. de MS  $ha^{-1}$  (160 dias). Esses valores são inferiores aos obtidos por Queiroz Filho, Silva e Nascimento (2000) que, avaliando a cultivar Roxo em solo classificado como podzólico vermelho-amarelo equivalente eutrófico, textura argilosa, encontraram ganhos de 19,5, 25,7, 25,7, 30,9 t. de MS  $ha^{-1}$  em cortes realizados aos 40, 60, 80 e 100 dias respectivamente, e também aos relatados por Acunha e Coelho (1997) que, estudando a cultivar Mott em solo tipo planossolos, obtiveram ganhos médios de 16,6 (28 dias), 18,9 (56 dias), 20,1 (84 dias), 21,3 (112 dias) e 21,3 (140 dias) t. de MS  $ha^{-1}$ .

A tendência do ganho produtivo de matéria seca com idade de corte da planta mais avançada, observada neste experimento, confirma os resultados obtidos por Bhering et al. (2008), com capim-elefante cultivar Napier

roxo, Castro et al. (2010), com capim-tanzânia e Magalhães et al. (2005), com capim-elefante cultivar Pioneiro. Ainda segundo Magalhães et al. (2005), a capacidade de produção das

gramíneas forrageiras é incrementada consideravelmente com a idade de corte, com aumentos expressivos na produção de matéria seca.

**Tabela 1.** Produção de matéria seca (MS) em toneladas por hectare ( $t \cdot ha^{-1}$ ) do capim-elefante cultivar BRS Canará em função da idade de corte da planta e das doses de nitrogênio do capim-elefante cultivar BRS Canará na região central do Tocantins.

VARIÁVEIS EXPERIMENTAIS	PRODUÇÃO DE MS ( $t \cdot ha^{-1}$ )
Níveis de Nitrogênio	
0 $kg \cdot ha^{-1}$	10,3216 A
50 $kg \cdot ha^{-1}$	10,8766 A
100 $kg \cdot ha^{-1}$	12,3825 A
150 $kg \cdot ha^{-1}$	13,4616 A
CV (%)	54,65
Idade de Corte da Planta	
100 dias	4,8350 C
130 dias	11,2100 B
160 dias	19,2368 A
CV (%)	52,56

\*Médias seguidas de mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de significância. Valores correspondentes a um corte

\*CV (%): coeficiente de variação

Marafon et al. (2014), em seu experimento avaliando o potencial produtivo e qualidade da biomassa de capim-elefante para fins energéticos, observaram uma produção de matéria seca de 72,8 ( $t \cdot ha^{-1}$ ) da cultivar BRS Canará em dois cortes: o primeiro realizado 201 dias após o plantio e o segundo 178 dias após o primeiro corte. Sabendo do alto potencial produtivo da cultivar BRS Canará descrito pelo autor citado, os valores inferiores de produção de matéria seca obtidos em seu experimento podem ser justificados pela realização de apenas um corte nessa pesquisa e pela idade em que ele ocorreu, já que se sabe que a maturidade da planta influencia diretamente sobre a produtividade.

### 3.2 Fibra em detergente neutro (fdn), fibra em detergente ácido (fda) e hemicelulose

Os componentes que estruturam a fração fibrosa da biomassa são responsáveis pela forma das células e por grande parte das propriedades químicas e físicas da planta. São classificados como principais constituintes dos materiais lignocelulósicos: celulose, hemicelulose e lignina. A caracterização da fração fibrosa entre tratamentos com doses de nitrogênio e idades de corte da planta estão expressos na Tabela 2. De acordo com a análise de variância, pode-se observar que as variáveis experimentais não interagiram entre si significativamente ( $P > 0,05$ ), e que os níveis de adubação nitrogenada não incrementaram de forma significativa ( $P > 0,05$ ) nos teores de FDN, FDA e hemicelulose do capim-elefante cultivar BRS Canará. Por outro lado, a idade de corte da planta influenciou de forma significativa ( $P < 0,05$ ) nos teores de FDN e FDA, porém não causou influência nos teores de hemicelulose.

**Tabela 2.** Teores de fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e hemicelulose, expressos em % da MS (matéria seca) original do capim-elefante cultivar BRS Canará submetido a diferentes doses de adubação nitrogenada e diferentes idades de corte da planta.

<b>VARIÁVEIS EXPERIMENTAIS</b>	<b>FDN (% MS)</b>	<b>FDA (% MS)</b>	<b>Hemicelulose (% MS)</b>
<b>Níveis de Nitrogênio</b>			
0 kg ha <sup>-1</sup>	73,66 A	45,35 A	28,30 A
50 kg ha <sup>-1</sup>	72,24 A	46,90 A	25,33 A
100 kg ha <sup>-1</sup>	72,29 A	45,97 A	26,32 A
150 kg ha <sup>-1</sup>	74,29 A	45,79 A	28,49 A
CV (%)	3,82	5,29	14,84
<b>Idade de Corte da Planta</b>			
100 dias	69,83 C	41,74 C	28,09 A
130 dias	72,41 B	46,55 B	25,85 A
160 dias	77,12 A	49,72 A	27,39 A
CV (%)	4,54	4,46	14,49

\*Médias seguidas de mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de significância. Valores correspondentes a um corte

\*CV (%): coeficiente de variação

O corte realizado aos 160 dias após o plantio gerou a concentração significativamente mais elevada ( $P < 0,05$ ) para FDN e FDA, o que pode ser atribuído ao aumento no teor de celulose e lignina com o avanço da maturidade da planta. Segundo Lima et al. (2010), com a maturação da planta elevam-se os teores de matéria seca, parede celular, celulose e lignina enquanto diminuem os teores de proteína bruta e a digestibilidade. Os autores justificam que a principal razão dessa diminuição da digestibilidade está no decréscimo da relação folha/colmo. Concordando, Cedeño et al. (2003), também relatam que na medida em que ocorre o desenvolvimento da planta, aumentam os teores de carboidratos estruturais e lignina.

Os resultados da Tabela 2 também concordam com os encontrados por Costa et al. (2008) que, avaliando o efeito de diferentes idades de corte da planta no valor nutritivo do capim-elefante, observaram que com avanço das idades aumentaram os teores de FDN e FDA, atingindo 78,85 e 47,81% respectivamente no último corte aos 105 dias após o plantio. Queiroz Filho, Silva e Nascimento (2000), avaliando o mesmo capim cultivar Roxo em diferentes idades de corte, relataram o mesmo efeito no incremento dos

teores de FDN e FDA com o avanço da maturidade da planta, atingindo 77% de FDN e 48,8% de FDA no corte mais tardio (100 dias após o plantio). As porcentagens médias obtidas nesse experimento aproximam-se das citadas.

Os teores de hemicelulose não apresentaram diferença significativa ( $P > 0,05$ ) para as diferentes doses de adubação nitrogenada e idades de corte da planta. As médias expressas na Tabela 2 estão próximas às encontradas por Santos et al. (2012) que, observando os efeitos das mesmas variáveis experimentais na palha de cana-de-açúcar, encontraram uma média geral 31,4% de hemicelulose.

### 3.3 Coeficiente de digestibilidade e rendimento dos pré-tratamentos

Segundo Santos et al. (2012), a variabilidade de características como o grau de cristalinidade da celulose, área superficial específica, grau de polimerização, proteção da celulose pela lignina e hemicelulose, explicam o grau de digestibilidade enzimática da biomassa lignocelulósica.

A partir dos resultados obtidos (Tabela 3), observou-se que não ocorreu interação

significativa ( $P>0,05$ ) entre variáveis avaliadas (níveis de adubação nitrogenada, idades de corte da planta e pré-tratamento), no entanto, as diferentes idades de corte da planta, assim como os diferentes tipos de pré-tratamento influenciaram significativamente ( $P<0,05$ ) no coeficiente de hidrólise da fibra (que

corresponde ao percentual da fibra passível de digestão enzimática) e sobre o rendimento dos pré-tratamentos (correspondente ao percentual restante de fibra pré-tratada após o processo de pré-tratamento). Os diferentes níveis de adubação nitrogenada não influenciaram ( $P>0,05$ ) os parâmetros avaliados.

**Tabela 3.** Coeficiente de hidrólise da fibra ( $CH_{\text{Fibra}}$ ) e Rendimento do Pré-Tratamento do capim - elefante cv BRS Canará na região central do Tocantins.

VARIÁVEIS EXPERIMENTAIS	Rendimento Pré-Tratamento (%)	$CH_{\text{Fibra}}$ (%)
Adubação Nitrogenada		
0 kg ha <sup>-1</sup>	37,25 A	60,56 A
50 kg ha <sup>-1</sup>	36,52 A	59,45 A
100 kg ha <sup>-1</sup>	36,26 A	58,90 A
150 kg ha <sup>-1</sup>	37,72 A	58,56 A
CV(%)	4,09	4,29
Idades de Corte da Planta		
100 dias	35,16 A	68,13 A
130 dias	37,13 B	59,35 B
160 dias	38,52 C	50,61 C
CV(%)	3,54	4,73
Pré-Tratamento		
Ácido	49,18 A	35,52 B
Ácido/Base	24,70 B	83,22 A
CV(%)	4,21	6,28

\*Médias seguidas de mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de significância. Valores correspondentes a um corte

\*CV (%): coeficiente de variação

Vale ressaltar que as médias apresentadas são referentes aos teores de biomassa restantes após cada processo. No corte realizado aos 100 dias após o plantio, a eficiência do pré-tratamento foi superior, apresentando média de 35,16% da matéria seca original. O corte realizado aos 130 dias apresentou 37,13% da matéria seca original, já o corte realizado aos 160 dias resultou na menor eficiência do pré-tratamento com média de 38,52% da matéria seca original.

O pré-tratamento ácido seguido do básico garantiu uma maior eficiência na desorganização dos componentes estruturais da fibra (restando 24,70% de média da matéria seca original), já o pré-tratamento com ataque ácido atuou de forma inferior (restando 49,18 % de média da matéria seca original), fato intimamente relacionado à diferença de atuação de cada um sobre a fibra. Segundo Chang

(1999), enquanto o pré-tratamento básico atua removendo os grupos acetis da hemicelulose, reduzindo os impedimentos contra a ação das enzimas hidrolíticas, o pré-tratamento ácido atua na solubilização da fração hemicelulose da biomassa com a finalidade de melhorar a acessibilidade da celulose ao ataque enzimático (ALVIRA et al., 2010).

Nas avaliações correspondentes ao efeito das diferentes idades de corte sobre o coeficiente de hidrólise da fibra, observou-se que no corte realizado aos 100 dias após o plantio, a porcentagem média de fibra suscetível à hidrólise enzimática foi superior às encontradas nos demais cortes, alcançando 68,13% de hidrólise da fibra. Já aos 130 e 160 dias, verificou-se 59,35 e 50,61% respectivamente. O decréscimo da fração passível de digestão enzimática pelo aumento da idade da planta pode ser explicado de acordo

com Van Soest (1983), que relata que, na medida em que ocorre o aumento da idade da planta, consequentemente cresce o teor de FDN, fato intimamente ligado ao aumento na porcentagem de lignina que está associada a celulose e hemicelulose da parede celular, resultando na diminuição do ataque de enzimas que atuam na digestão e por consequência reduzindo o grau de hidrólise da fibra. Segundo Fernandes et al. (2003), em seu trabalho avaliando a composição química e bromatológica de variedades de cana-de-açúcar com diferentes ciclos de produção e três idades de corte, o avanço da idade de corte da planta levou a uma diminuição da fibra potencialmente digestível. Yeo (1977), relata que o coeficiente de digestibilidade da biomassa é afetado na medida em que a planta envelhece; fato que ocorre pelo aumento da lignina na parede celular que atua como uma barreira física entre a celulose e hemicelulose e as enzimas celulolíticas. Viera et al. (1980), comprovaram tal fato em seu experimento avaliando a produção, coeficiente de digestibilidade da matéria seca e concentração de nutrientes em *Panicum maximum* Jacq., em função dos cortes aos 30, 45, 60 e 75 dias de idade, no qual concluíram que o coeficiente de digestibilidade diminuía na medida em que a idade da planta aumentava.

Outro fator que influenciou significativamente ( $P < 0,05$ ), de acordo com as avaliações, foi o tipo de pré-tratamento da fibra (ácido e ácido/base). Observou-se que nas estimativas de coeficiente de hidrólise da fibra, os melhores resultados foram obtidos a partir do material pré-tratado com ácido/base (83,22%), fato que mostrou que o pré-tratamento associado promoveu uma maior desorganização nas estruturas que compõem a fibra, aumentando seu potencial digestível e facilitando a atuação das enzimas durante o processo de hidrólise. Tais resultados concordam com os encontrados por Souza Filho (2014), que avaliando diferentes tipos de pré-tratamento (peróxido alcalino, alcalino e ácido/alcalino) pôde observar que o material pré-tratado pela rota ácida/alcalina apresentou a maior digestibilidade. Mendes et al. (2012), avaliando os efeitos de diferentes tipos de pré-tratamentos sobre a desconstrução da biomassa

lignocelulósica, também concluíram que o pré-tratamento ácido seguido do básico conseguiu alcançar os melhores resultados dentre os avaliados.

### 3.4 Rendimento de etanol

Segundo Van Soest (1994), as características qualitativas das forrageiras dependem basicamente dos seus componentes químicos que, por sua vez, sofrem influência, dentro de uma dada espécie, pela idade da planta, pelo seu porte, fertilidade do solo, fertilização utilizada e outros. De acordo com Fischer (2014), produzir etanol a partir de materiais lignocelulósicos compreende alguns processos principais: um pré-tratamento da biomassa com a finalidade de tornar acessível a celulose e a hemicelulose durante o processo de hidrólise; hidrólise do material pré-tratado em hexoses (geradas a partir da hidrólise da celulose e em menores quantidades da hemicelulose) e pentoses (oriundas da hemicelulose); fermentação etílica do hidrolisado através da ação de leveduras; destilação do fermentado. De acordo com Silva (2012), um dos maiores percalços ligados à biomassa lignocelulósica para produção de etanol está em torno da necessidade de se encontrar um processo de pré-tratamento mais adequado, que consiga atuar de forma eficaz na desorganização da estrutura da biomassa (celulose, hemicelulose e lignina) a fim de possibilitar de forma efetiva a ação de ácidos ou enzimas na conversão de carboidratos em açúcares fermentescíveis.

Sabendo que o potencial de materiais lignocelulósicos para se converter em etanol está intimamente relacionado à quantidade de açúcares presentes em seus componentes fibrosos apresentados na fração celulose e hemicelulose e que esses componentes podem ser influenciados pela idade da planta e pela aplicação de nitrogênio e, ainda, que a produção de etanol 2G é fortemente influenciada pelo tipo de pré-tratamento que a biomassa recebe, a Tabela 4 mostra a estimativa de rendimento de etanol pela hidrólise da fibra para o capim-elefante cultivar BRS Canará submetido a diferentes idades de corte da planta, níveis de

adubação nitrogenada e tipos de pré-tratamento (ácido e ácido/base).

**Tabela 4.** Rendimento em etanol estimado a partir da fração fibrosa hidrolisada do capim - elefante cultivar BRS Canará na região central do Tocantins. Estimativa em litros por tonelada de matéria seca com material pré-tratado (ETANOL Hidrólise Pré-Trat L.t<sup>-1</sup> de MS), estimativa em litros por tonelada de matéria seca com o material original (ETANOL Hidrólise MS original L.t<sup>-1</sup> de MS) e estimativa em litros por hectare com material pré-tratado (ETANOL Hidrólise Pré-Trat L ha<sup>-1</sup>).

VARIÁVEIS EXPERIMENTAIS	ETANOL Hidrólise Pré-Trat L.t <sup>-1</sup> de MS	ETANOL Hidrólise MS original L.t <sup>-1</sup> de MS	ETANOL Hidrólise Pré-Trat L ha <sup>-1</sup>
<b>Adubação Nitrogenada</b>			
0 kg ha <sup>-1</sup>	83,25 A	26,92 A	262,96 A
50 kg ha <sup>-1</sup>	81,73 A	25,55 A	258,55 A
100 kg ha <sup>-1</sup>	80,97 A	25,56 A	316,41 A
150 kg ha <sup>-1</sup>	80,51 A	25,91 A	312,58 A
CV(%)	4,30	6,15	58,65
<b>Idades de Corte da Planta</b>			
100 dias	93,67 A	-	139,52 C
130 dias	81,59 B	-	297,27 B
160 dias	69,58 C	-	426,09 A
CV(%)	4,73	-	49,84
<b>Pré-Tratamento</b>			
Ácido	48,82 B	-	282,64 A
Ácido/Base	114,41 A	-	292,61 A
CV(%)	6,28	-	61,12

\*Médias seguidas de mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de significância. Valores correspondentes a um corte

\*CV (%): coeficiente de variação

\*Células assinaladas com traço (-) apresentaram interação significativa (P<0,05) entre os fatores

De acordo com os resultados obtidos para rendimento de etanol (com biomassa pré-tratada), não foi observada interação significativa (P>0,05) entre os fatores experimentais testados. As diferentes idades de corte da planta influenciaram de forma significativa (P<0,05) no rendimento de etanol, já os diferentes tipos de pré-tratamento influenciaram significativamente apenas na estimativa em L.t<sup>-1</sup> de MS. As doses crescentes de nitrogênio não incrementaram significativamente (P>0,05). Observou-se, de acordo com os dados da Tabela 4, que para o material pré-tratado, o corte realizado aos 100 dias após o plantio apresentou as melhores médias de rendimento de etanol em L.t<sup>-1</sup> de MS, já o corte realizado aos 160 dias mostrou os piores rendimentos. Esse fato ocorre, segundo

Costa et al. (2008), em consequência do avanço da idade da planta acarretar em um maior espessamento e lignificação da parede celular. Nesse sentido, a digestibilidade declina de maneira drástica com a maturidade da planta por ocorrer o aumento dos teores de carboidratos estruturais (VAN SOEST, 1994).

Ciente de que o aumento da idade de corte da planta afeta negativamente o rendimento de etanol em L.t<sup>-1</sup> de MS em biomassa pré-tratada, e que os cortes mais tardios proporcionaram um maior rendimento de MS em t.ha<sup>-1</sup>, foi observado que, apesar da queda na digestibilidade em decorrência das mudanças estruturais que ocorrem na fibra com o aumento da idade, o ganho de produção de biomassa em cortes mais tardios proporcionaram um maior rendimento

médio de etanol em  $L\ ha^{-1}$ . Foi observado que o corte aos 100 dias apresentou o melhor rendimento médio em  $L.t^{-1}$  de MS (93,67 litros com material pré-tratado), já o corte realizado aos 160 dias resultou nos piores rendimentos (69,58 litros com material pré-tratado). A estimativa da produção de etanol em  $L\ ha^{-1}$  foi maior no corte realizado aos 160 dias (426,09 litros com material pré-tratado) e inferior no corte realizado aos 100 dias (139,52 litros com material pré-tratado).

Dentre as variáveis avaliadas no experimento, como citado anteriormente, verificou-se de modo geral que os melhores resultados em rendimento de etanol estimado por tonelada de matéria seca foram os obtidos no corte realizado aos 100 dias após o plantio a partir da biomassa pré-tratada. De acordo com a Tabela 4, os valores obtidos ficaram próximos aos encontrados por Grasel et al. (2016), que avaliando a produção de etanol de segunda geração a partir de capim-elefante e bagaço de cana-de-açúcar conseguiram resultados de  $79\ L.t^{-1}$  de MS e  $96\ L.t^{-1}$  de MS respectivamente. Siqueira et al. (2016), encontraram valores superiores estudando a produção de etanol lignocelulósico a partir de biomassa de capim-elefante, atingindo  $175,9\ L.t^{-1}$  de MS, valor este próximo ao encontrado por Usberti Filho et al. (1988), que obtiveram rendimento de 185,3 e  $205,5\ L.t^{-1}$  de MS para as cultivares Taiwan e Mineiro de capim-elefante.

Os pré-tratamentos avaliados não mostraram diferença significativa ( $P>0,05$ ) para rendimento de etanol em  $L\ ha^{-1}$ , entretanto, na estimativa em  $L.t^{-1}$  de MS houve diferença significativa ( $P<0,05$ ). O pré-tratamento químico intercalado por ataque ácido e básico apresentou maior efetividade na desestruturação das moléculas que compõem a fibra (celulose, hemicelulose e lignina), melhorando o processo de hidrólise o que, conseqüentemente, resultou em um rendimento de etanol superior ao encontrado no pré-tratamento com ataque ácido. Esse fato pode ser justificado de acordo com Silva (2012), que relata que pré-tratamentos químicos (ácidos, alcalinos e oxidativos) diferenciam entre si nos mecanismos responsáveis pelas transformações estruturais e químicas da parede celular. O autor ainda cita que, enquanto nos pré-tratamentos

utilizando ataque ácido, a fração de hemicelulose é hidrolisada, nos ataques utilizando bases, parte da lignina é retirada e a hemicelulose necessita de hemicelulases para ser hidrolisada. Nesse contexto, intercalar o pré-tratamento com catalisador ácido e básico proporcionou uma melhora na acessibilidade da enzima durante a hidrólise, aumentando os rendimentos de etanol.

Concordando com os resultados desta pesquisa, de acordo com Assumpção (2015), em seu estudo avaliando pré-tratamentos químicos na produção de etanol de segunda geração a partir do bagaço da cana-de-açúcar, foi possível verificar que apesar do alto teor de celulose contido no material (38%), o pré-tratamento com ácido mostrou baixa eficiência na remoção da lignina (17%), além de solubilizar mais a fração hemicelulose (44%) e uma parte da fração celulósica. Entretanto, o pré-tratamento combinado (ácido e base) atuou de forma seletiva na remoção da lignina e da hemicelulose remanescente, tornando a biomassa susceptível à hidrólise e garantindo maiores resultados. Souza Filho (2014) também observou em sua avaliação com duas espécies de palma forrageira que os testes de hidrólise enzimática resultaram em alta conversão da celulose para o material pré-tratado em meio ácido-básico. Vasconcelos (2015), comparando pré-tratamentos químicos, um com peróxido de hidrogênio e outro combinado com ácido/base no bagaço de cana-de-açúcar, também observou uma maior quantidade de celulose (62,5%) no material que passou por pré-tratamento combinado, melhorando o rendimento da hidrólise enzimática.

Além das estimativas de rendimento de etanol avaliadas a partir de biomassa pré-tratada, o presente estudo também contou com a estimativa de etanol pela hidrólise da fibra a partir da biomassa original, ou seja, levou-se em consideração para estimativa de rendimento a matéria seca *in natura* (antes de ser pré-tratada), isso porque sabe-se que durante o processo de pré-tratamento químico parte da matéria é perdida. Nessas avaliações, as variáveis experimentais idades de corte da planta e diferentes tipos de pré-tratamento interagiram entre si significativamente ( $P<0,05$ ), já a variável correspondente às

diferentes doses de nitrogênio, além de não interagir com as demais também não influenciou significativamente ( $P>0,05$ ) o

rendimento de etanol. Conforme mostra a Tabela 5, é possível observar a interação entre as variáveis citadas.

**Tabela 5.** Rendimento em etanol em litros por tonelada de matéria seca original ( $L.t^{-1}$  de MS original) para idade de corte da planta e o tipo de pré-tratamento.

ETANOL Dig. MS original $L.t^{-1}$ de MS	Idades de Corte da Planta	Pré-Tratamento	
		Ácido	Ácido/Básico
	100 dias	29,51 Aa	28,63 Aa
	130 dias	23,66 Bb	28,68 Aa
	160 dias	18,31 Cb	27,12 Aa

\*Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância

O corte realizado aos 100 dias após plantio foi mais eficiente com pré-tratamento por ataque ácido para rendimento potencial de etanol. Com avanço da idade de corte (130 e 160 dias após o plantio), decresceram significativamente ( $P<0,05$ ) os rendimentos utilizando ataque ácido. Entretanto, o pré-tratamento com ataque ácido/base não mostrou diferença significativa ( $P>0,05$ ) com os avanços das idades de corte, porém quando comparado ao pré-tratamento ácido em cortes realizados aos 130 e 160 dias após o plantio foi significativamente diferente ( $P<0,05$ ), apresentando maior rendimento de etanol.

Com o aumento da idade da planta, a acessibilidade das enzimas hidrolíticas é comprometida pelo incremento dos constituintes da fibra, principalmente a lignina, resultando numa menor conversão em açúcares e solúveis e, assim, afetando o rendimento de etanol. Segundo Lima et al. (2010), a importância dada ao teor de lignina não se refere apenas à baixa na digestibilidade, mas principalmente pela sua ligação aos demais componentes da fibra. Por atuar como uma espécie de cimentante nas ligações dos componentes da parede celular, a lignina se entrelaça na celulose e hemicelulose indisponibilizando estas à ação das enzimas hidrolíticas. Nesse sentido, o fato do rendimento de etanol estimado pela hidrólise da fibra decrescer com o avanço das idades de corte utilizando pré-tratamento com ataque ácido pode ser justificado pelo incremento nos teores de lignina com o avanço da maturidade

da planta e pela baixa eficiência do pré-tratamento ácido na quebra das barreiras desse componente da fibra e no não rompimento da cristalinidade da celulose para torná-la mais acessível à ação de enzimas.

Como não foi observada influência significativa ( $P>0,05$ ) das idades de corte junto ao pré-tratamento ácido/base no rendimento de etanol estimado pela hidrólise da fibra, subentendesse que a associação de ácido com base para pré-tratar a biomassa analisada em diferentes idades de maturação gerou uma maior eficiência na redução da recalcitrância do material lignocelulósico, aumentando sua digestibilidade e facilitando o acesso das enzimas sobre a celulose e hemicelulose, promovendo uma maior conversão em açúcares fermentescíveis. Esse fato também foi observado por Mendes et al. (2012), que avaliando diferentes tipos de pré-tratamentos na desconstrução da biomassa lignocelulósica, observaram que o ácido seguido do alcalino, além de disponibilizar uma maior quantidade de celulose, garantiu uma maior velocidade de conversão da celulose em glicose em razão da alteração causada na estrutura do material. Souza Filho (2014), avaliando diferentes pré-tratamentos aplicados em duas espécies da palma forrageira, também observou que o mesmo pré-tratamento foi responsável pela maior liberação de glicose após a hidrólise.

Apesar dos resultados desta pesquisa serem promissores e mostrarem potencial para produção de etanol 2G a partir do capim-elefante cultivar BRS Canará, o etanol 1G

obtido a partir de matérias-primas como a cana-de-açúcar e o milho ainda apresenta superioridade de rendimento por hectare. De acordo com Peduzzi (2019), a partir da cana-de-açúcar é possível produzir mais de 6 mil litros de etanol por hectare, já a partir do milho é possível produzir cerca de 2,5 mil litros por hectare. A maior produtividade alcançada nessa pesquisa com capim-elefante cultivar BRS Canará foi de 426,09 litros por hectare, mas ressalta-se que essa estimativa foi alcançada com apenas um corte realizado os 160 dias após o plantio e, como a cultura possibilita sucessivos cortes, a tendência é uma produção de etanol mais elevada, diminuindo a diferença em relação à produção do etanol 1G de culturas anuais.

De acordo com Veigas (2010), o custo da produção do etanol de cana-de-açúcar é de US\$ 0,22/L, já o de milho é de US\$ 0,35/L. Para Senna e Ansanelli (2016), as principais vantagens do etanol 1G em relação ao 2G é que o primeiro apresenta tecnologia madura e custo de produção inferior ao segundo, entretanto, Pacheco (2011) afirma que matérias-primas como o capim-elefante, braquiárias, panicuns e outras representam fontes alternativas eficientes e competitivas para locais onde não é possível o cultivo da cana-de-açúcar e outras culturas que visam a produção de etanol 1G.

## 6 REFERÊNCIAS

- ACUNHA, J. B. V.; COELHO, R. W. Efeito da altura e intervalo de corte do capim-elefante-anão. I. Produção e qualidade da forragem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 1, p. 117-122, 1997. Disponível em: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/4613>. Acesso em: 27 mar. 2017.
- ALVIRA, P.; TOMAS-PEJÓ, E.; BALLESTEROS, M.; NEGRO, M. J. Pretreatment technologies for an efficient bioethanol production process based on enzymatic hydrolysis: A review. **Bioresource Technology**, Madri, v. 101, n. 13, p. 4851 – 4861, 2010.
- ANDRADE, A. C.; FONSECA, D. D.; QUEIROZ, D. S.; SALGADO, L. T.; CECON, P. R. Adubação nitrogenada e potássica em capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum. cv. Napier). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, Edição Especial, p. 1643-1651, 2003. Disponível em: [https://scholar.google.com.br/scholar?q=ADUBA%C3%87%C3%83O+NITROGENADA+E+POT%C3%81SSICA+EM+CAPIM-ELEFANTE+%28Pennisetum+purpureum+Schum.+cv.+Napier%29&btnG=&hl=pt-BR&as\\_sdt=0%2C5](https://scholar.google.com.br/scholar?q=ADUBA%C3%87%C3%83O+NITROGENADA+E+POT%C3%81SSICA+EM+CAPIM-ELEFANTE+%28Pennisetum+purpureum+Schum.+cv.+Napier%29&btnG=&hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5). Acesso em: 16 mar. 2017.

## 4 CONCLUSÃO

As doses crescentes de nitrogênio não tiveram influência significativa sobre o rendimento de etanol, em virtude de a produção de matéria seca não ter sido incrementada significativamente por esse nutriente.

Nas diferentes idades de corte da planta, a produtividade de etanol em L.t<sup>-1</sup> de matéria seca decresceu com o avanço das idades, entretanto, como cortes mais tardios proporcionaram maiores rendimentos de matéria seca, conseqüentemente obteve-se um resultado em L ha<sup>-1</sup> superior no corte mais tardio.

Para o coeficiente de hidrólise e estimativa de produção de etanol foi observada diferença nos pré-tratamentos analisados (ácido e ácido/base), sendo o ataque ácido seguido do básico o mais eficiente na desorganização da estrutura da biomassa (celulose, hemicelulose e lignina) na estimativa em L.t<sup>-1</sup> de MS, porém não houve diferença significativa entre os pré-tratamentos pela estimativa em L ha<sup>-1</sup>.

## 5 AGRADECIMENTOS

A Deus e ao Programa de Pós-Graduação em Agroenergia da Universidade Federal do Tocantins.

ASSUMPCÃO, S. M. N. **Pré-tratamento químico combinado do bagaço da cana visando a produção de etanol de segunda geração**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/19146>. Acesso em: 04 abr. 2017.

BHERING, M.; CABRAL, L. S.; ABREU, J. G.; SOUZA, A. L.; ZERVOUDAKIS, J. T.; RODRIGUES, R. C.; PEREIRA, G. A. C.; REVERDITO, R.; OLIVEIRA, Í. S. Características agronômicas do capim-elefante roxo em diferentes idades de corte na Depressão Cuiabana. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 9, n. 3, p. 384-396, 2008. Disponível em: <http://revistas.bvsvet.org.br/rbspa/article/view/13295>. Acesso em: 27 mar. 2017.

CARVALHO, L. L. M. **Estudo da hidrólise e fermentação dos resíduos de milho (Zeamays) para produção de etanol de segunda geração**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2016. Disponível em: <http://www.repositorio.ufal.br/bitstream/riufal/1362/1/Estudo%20da%20hidr%C3%B3lise%20e%20fermenta%C3%A7%C3%A3o%20dos%20res%C3%ADduos%20de%20milho....pdf>. Acesso em: 15 mar. 2017.

CASTRO, G. H. F.; RODRIGUEZ, N. M.; GONÇALVES, L. C.; MAURÍCIO, R. M. Características produtivas, agronômicas e nutricionais do capim Tanzânia em cinco diferentes idades ao corte. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v.62, n.3, p.654-666, 2010. Disponível em: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XS2010D00092>. Acesso em: 28 mar. 2017.

CEDEÑO, J. A. G.; ROCHA, G. P.; PINTO, J. C.; MUNIZ, J. A.; GOMIDE, E. M. Efeito da idade de corte na performance de três forrageiras do gênero *Cynodon*. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 2, p. 462-470, 2003. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Muniz\\_Augusto/publication/237510199\\_Efeito\\_da\\_idade\\_de\\_corte\\_na\\_performance\\_de\\_tres\\_forrageiras\\_do\\_genero\\_Cynodon/links/56af12fe08aeaa696f2f8194.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Muniz_Augusto/publication/237510199_Efeito_da_idade_de_corte_na_performance_de_tres_forrageiras_do_genero_Cynodon/links/56af12fe08aeaa696f2f8194.pdf). Acesso em: 12 abr. 2017.

CHANG, S. **Lime pretreatment of lignocellulosic biomass**. 1999. 290 p. Thesis (Ph.D. in Philosophy) – Texas A&M University, College Station, 1999.

COSTA, R. H. A. M.; CABRAL, L. S.; BHERING, M.; ABREU, J. G.; ZERVOUDAKIS, J. T.; RODRIGUES, R. C.; OLIVEIRA, I. S. Valor nutritivo do capim-elefante obtido em diferentes idades de corte. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 9, n. 3, p. 397-406, 2008. Disponível em: <http://www.rbspa.ufba.br/index.php/rbspa/article/viewArticle/1397>. Acesso em: 21 jun. 2017.

FERNANDES, A. M.; QUEIROZ, A. C.; PEREIRA, J. C.; LANA, R. P.; BARBOSA, M. H. P.; FONSECA, D. M.; DETMANN, E.; CABRAL, L. S. PEREIRA, E. S.; VITTORI, A. Composição químico-bromatológica de variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum spp L.*) com diferentes ciclos de produção (precoce e intermediário) em três idades de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 977-985, 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/0D/rbz/v32n4/17877.pdf>. Acesso em: 06 abr. 2017.

FINGUERUT, J.; LUCREDI, H. A.; LEIMER, K. H.; ROSSEL, C. E. V. Estequiometria da fermentação alcoólica a partir do caldo de cana. **Boletim Técnico Opersucar**, São Paulo, v. 33, n. 12, p. 45-48, 1985.

FISCHER, J. **Produção de etanol de segunda geração pelo uso de complexo enzimático de cepas selecionadas do ecossistema do cerrado**. 2014. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014. Disponível em: <http://repositorio.ufu.br/handle/123456789/15079>. Acesso em: 02 abr. 2017.

FLORES, R. A.; URQUIAGA, S. S.; ALVES, B. J. R.; COLLIER, L. S.; MORAIS, R. F.; PRADO, R. M. Adubação nitrogenada e idade de corte na produção de matéria seca do capim-elefante no Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 12, p. 1282-1288, 2012. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Rilner\\_Flores/publication/262744490\\_Effect\\_of\\_nitrogen\\_fertilizer\\_and\\_cutting\\_age\\_on\\_the\\_dry\\_matter\\_production\\_of\\_elephant\\_grass\\_in\\_Savana/links/00b7d53b14aa71f7b0000000.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Rilner_Flores/publication/262744490_Effect_of_nitrogen_fertilizer_and_cutting_age_on_the_dry_matter_production_of_elephant_grass_in_Savana/links/00b7d53b14aa71f7b0000000.pdf). Acesso em: 20 mar. 2017.

GRASEL, F. D. S.; STIEHL, A. C. R.; BERNARDI, L. P.; HERPICH, T.; BEHRENS, M. C.; ANDRADE, J. B.; SCHULTZ, J.; MANGRICH, A. S. Inovação em Biorrefinarias I. Produção de Etanol de Segunda Geração a partir de Capim-Elefante (*Pennisetum purpureum*) e Bagaço de Cana-de-Açúcar (*Saccharum officinarum*). **Revista Virtual de Química**, Curitiba, v. 9, n. 1, p. 4-14, 2016. Disponível em: <http://rvq.s bq.org.br/imagebank/pdf/GraselNoPrelo.pdf>. Acesso em: 16 mar. 2017.

LEITE, G. R. **Processos de pré-tratamentos hidrolíticos para obtenção de etanol de segunda geração: avaliação do efeito da granulometria do bagaço de cana-de-açúcar sobre o fracionamento da celulose**. 2016. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2016. Disponível em: [https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/144504/leite\\_gr\\_me\\_araiq\\_par.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/144504/leite_gr_me_araiq_par.pdf?sequence=3&isAllowed=y). Acesso em: 07 mar. 2017.

LIMA, E. S.; SILVA, J. F. C.; VÁSQUEZ, H. M.; ANDRADE, E. N.; DEMINICIS, B. B.; MORAIS, J. P. G.; COSTA, D. P. B.; ARAÚJO, S. A. C. Características agronômicas e nutritivas das principais cultivares de capim-elefante do Brasil. **Veterinária e Zootecnia**, Botucatu, v. 17, n. 3, p. 324-334, 2010. Disponível em: <http://revistas.bvsvet.org.br/rvz/article/view/17007>. Acesso em: 13 abr. 2017.

LIMA, M. A. **Caracterização bioquímica e biofísica da enzima  $\beta$ -glicosidase Bgl1 de *Aspergillus niger* e avaliação de potenciais biomassas para produção de bioetanol**. 2013. Tese (Doutorado em Física Aplicada Biomolecular) – Instituto de Física de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/76/76132/tde-10102013-112701/pt-br.php>. Acesso em: 16 mar. 2017.

MAGALHÃES, J. A.; LOPES, E. A.; RODRIGUES, B. H. N.; COSTA, N. L.; BARROS, N. N.; MATTEI, D. A. Influência da adubação nitrogenada e da idade de corte sobre o rendimento forrageiro do capim-elefante. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 37, n. 1, p. 91-96, 2006. Disponível em: <http://ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/213/208>. Acesso em: 17 mar. 2017.

MAGALHÃES, J. A.; LOPES, E. A.; RODRIGUES, B. H. N.; COSTA, N. L.; BARROS, N. N.; NETTO, R. B. A. Efeito do nitrogênio e da idade de corte na produção de matéria seca do capim-elefante cultivar Pioneiro irrigado no Piauí. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ZOOTECNIA, 7., 2005, Campo Grande. **Anais Zootec** [...]. Campo Grande: Embrapa, 2005. p. 1-5. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/35199/1/AAC-Efeito-do-nitrogenio.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2017.

MARAFON, A. C.; SANTIAGO, A. D.; CÂMARA, T. M. M.; RANGEL, J. H. A.; AMARAL, A. F. C.; LÉDO, F. J. S.; BIERHALS, A. N.; PAIVA, H. L. **Potencial Produtivo e Qualidade da Biomassa de Capim-elefante para fins Energéticos**. Aracaju: Embrapa, 2014. (Circular Técnica, 68). Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1014374/potencial-produtivo-e-qualidade-da-biomassa-de-capim-elefante-para-fins-energetico>. Acesso em: 16 mar. 2017

MARTELLI, F. H. **Determinação e caracterização físico-química e espectroscópica de gramíneas para obtenção de etanol de segunda geração**. 2014. Dissertação (Mestrado em Química Analítica e Inorgânica) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/75/75135/tde-07052015-092948/en.php>. Acesso em: 15 mar. 2017.

MENDES, T. D.; PACHECO, T. F.; CARVALHO, F. B. P.; NAKAI, D. K.; RODRIGUES, D. S.; MACHADO, C. M. M.; AYRES, M. Avaliação de diferentes pré-tratamentos para desconstrução da biomassa lignocelulósica. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 19., 2012, Búzios. Anais [...]* Búzios: Embrapa, 2012. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/68501/1/Cobeq2012-Avaliacao-de-diferentes-pre-tratamentos-para-desconstrucao-da-biomassa-lignocelulosica.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2017.

NOVOZYMES. **Novozymes Cellic® CTec2 and HTec2: Enzymes for hydrolysis of lignocellulosic**. Bagsværd: NOVOZYMES, 2015. Disponível em: [www.bioenergy.novozymes.com](http://www.bioenergy.novozymes.com). Acesso em: 17 mar. 2017.

PACHECO, T. F. **Produção de Etanol: Primeira ou Segunda Geração?** Brasília, DF: Embrapa, 2011. (Circular Técnica, 04). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/886571/1/CITE04.pdf>. Acesso em: 28 jan. 2020.

PALACIO, J. C. E.; LORA, E. E. S.; VENTURINI, O. J.; OLMO, O. A. Biocombustíveis, meio ambiente, tecnologia e segurança. *In: LORA, E. E. S.; VENTURINI, O. J. Biocombustíveis*. Rio de Janeiro: Interciência, 2012. v. 1, cap. 1, p. 2-46.

PEDUZZI, P. **Conab: produção de etanol a partir do milho é tendência cada vez mais**. Brasília, DF: Agência Brasil, 2019. Disponível em: <http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2019-05/producao-de-etanol-partir-do-milho-e-tendencia-maior-diz-conab>. Acesso em: 28 jan. 2020.

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**, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 69-74, 2000. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1516-35982000000100010](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-35982000000100010). Acesso em: 20 mar. 2017.

SANTOS, F. A.; QUEIRÓZ, J. H.; COLODETTE, J. L.; FERNANDES, S. A.; GUIMARÃES, V. M.; REZENDE, S. T. Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. **Química Nova**, São Paulo, v. 35, n. 5, p. 1004-1010, 2012. Disponível em: [http://quimicanova.s bq.org.br/imagebank/pdf/Vol35No5\\_1004\\_24-RV11835\\_cor.pdf](http://quimicanova.s bq.org.br/imagebank/pdf/Vol35No5_1004_24-RV11835_cor.pdf). Acesso em: 09 abr. 2017.

SENNA, P. P.; ANSANELLI, S. L. M. Etanol de primeira ou de segunda geração? Uma comparação entre os ciclos produtivos. **Blucher Engineering Proceedings**, São Paulo, v. 3, n. 4, p. 1497-1510, dez. 2016. Anais do 1º Encontro da Nacional de Economia Industrial e Inovação, 2016, São Paulo. Disponível em: <https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/etanol-de-primeira-ou-de-segunda-gerao-uma-comparao-entre-os-ciclos-produtivos-25356>. Acesso em: 28 jan. 2020.

SILVA, A. A. **Otimização do pré-tratamento ácido de torta de caroço de algodão e bagaço de malte com farinha de pupunha para produção de bioetanol de segunda geração**. 2012. Dissertação (Mestrado em Química) – Faculdade de Ciências Exatas, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2012. Disponível em: <http://acervo.ufvjm.edu.br/jspui/handle/1/507>. Acesso em: 03 abr. 2017.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análise de alimentos** (métodos químicos e biológicos). 3. ed. Viçosa: Imprensa Universitária da UFV, 2002.

SILVA, F. A. S. E.; AZEVEDO, C. A. V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**, Nairóbi, v. 11, n. 39, p. 3733-3740, 2016. Disponível em: <http://www.assistat.com/indexp.html>. Acesso em: 21 jun. 2017.

SIQUEIRA, L. N.; GUARDA, E. A.; GUARDA, P. M.; SILVA, R. B. R.; BARBOSA, R. S. Rendimento de hidrólise e produção de etanol lignocelulósico a partir de biomassa de capim elefante. **Journal of Bioenergy and Food Science**, Macapá, v. 3, n. 4, p. 191-196, 2016. Disponível em: <http://periodicos.ifap.edu.br/index.php/JBFS/article/view/112>. Acesso em: 09 abr. 2017.

SOUZA FILHO, P. F. **Palma forrageira (*Opuntia ficus indica* e *Nopalea cochenillifera*) como matéria-prima para produção de etanol celulósico e enzimas celulolíticas**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014. Disponível em: <http://repositorio.ufrn.br:8080/jspui/handle/123456789/15853>. Acesso em: 04 abr. 2017.

USBERTI FILHO, J. A.; TEIXEIRA, J. P. F.; GALLO, P. B.; PEREIRA, C. A. Produção de etanol de gramíneas forrageiras tropicais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 2, p. 175-187, 1988. Disponível em: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/13796>. Acesso em: 09 abr. 2017.

VAN SOEST, P. J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2.ed. Ithaca: Cornell University Press, 476 p. 1994.

VAN SOEST, P. J. **Nutritional ecology of the ruminant**. Oregon: O & Books.374p. 1983.

VASCONCELOS, S. P. V. **Hidrólise enzimática do bagaço de cana de açúcar para posterior obtenção de álcool de segunda geração**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2015. Disponível em: <http://dspace2.ufes.br/handle/10/4020>. Acesso em: 06 abr. 2017.

VIEGAS, T. **Competitividade internacional do etanol brasileiro: oportunidades e ameaças**. Rio de Janeiro: Infopetro, 2010. Disponível em:

<https://infopetro.wordpress.com/2010/12/13/competitividade-internacional-do-etanol-brasileiro-oportunidades-e-ameacas/>. Acesso em: 27 jan. 2020.

VIEIRA, J. D.; HAAG, H. P.; CORSI, M.; BOSE, M. L. V. Produção, coeficiente de digestibilidade da matéria seca e concentração de nutrientes em *Panicum maximum* Jacq., em função dos cortes aos 30, 45, 60 e 75 dias de idade. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, Piracicaba, v. 37, n. 1, p. 419-441, 1980. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/aesalq/v37n1/27.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2017.

YEO, Y. **Efeito da maturidade do capim elefante (*Pennisetum purpureum*, Scum), variedade Napier, sobre a sua produção e o seu valor nutritivo**. 1997. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.