



# Conversão de energia por genótipos de cana-energia em Alagoas

Pedro Luã Vieira de Souza Sarmento<sup>1</sup>, Ricardo Araujo Ferreira Junior<sup>1</sup>, José Leonaldo de Souza<sup>1</sup> (\*), Marcos Alex dos Santos<sup>1</sup>, Gustavo Bastos Lyra<sup>2</sup>, Hugo Lyra Soriano<sup>3</sup>, Adolpho Emanuel Quintela da Rocha<sup>1</sup> e Guilherme Bastos Lyra<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Alagoas. Av. Lourival Melo Mota, s/n - Tabuleiro dos Martins, CEP 57072-900 Maceió, AL, Brasil.

E-mails: pedro.agronomia\_ufal@hotmail.com, ricardo.junior@ceca.ufal.br, jls@ccen.ufal.br, marcos.santos@ceca.ufal.br, adolphoquintela@hotmail.com e gbastoslyra@gmail.com

<sup>2</sup>Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Rodovia BR 465, km 07, s/n, Zona Rural, CEP 23890-000 Seropédica, RJ, Brasil. E-mail: gblyra@ufrjr.br

<sup>3</sup>GranBio Vertis. Rodovia AL 220, km 6,5, s/n, CEP 57180-000 Barra de São Miguel, AL, Brasil. E-mail: hugo.soriano@granbio.com.br

(\*Autor para correspondência.

## INFORMAÇÕES

### História do artigo:

Recebido em 11 de abril de 2022

Aceito em 4 de julho de 2022

### Termos para indexação:

poder calorífico superior

teor de cinzas

combustibilidade

## RESUMO

O objetivo desse estudo foi avaliar o potencial energético e o teor de cinzas da cana-energia em Alagoas, Nordeste do Brasil. O experimento foi conduzido com sete genótipos de cana-energia do tipo Vertix (VX) e uma cultivar de cana-de-açúcar (RB92579). O delineamento foi em blocos casualizados com três repetições. O poder calorífico superior, a combustibilidade e o teor de cinzas foram determinados bimestralmente. A eficiência de conversão de energia foi calculada pela relação entre o conteúdo de energia da biomassa e a irradiação solar. O poder calorífico superior para cana-energia na colheita foi em média 18.876,00 ( $\pm 110,05$ ) J g<sup>-1</sup>, e mostrou diferença estatística significativa ( $p < 0,05$ ) entre os genótipos apenas aos 201 e aos 362 dias após o transplântio (DAT). A variedade RB92579 teve rendimento energético de 530 GJ ha<sup>-1</sup> e do genótipo mais produtivo de cana-energia (VX12-1744) foi 1.069 GJ ha<sup>-1</sup> (329 DAT), a média dos genótipos foi igual a 762 ( $\pm 133,92$ ) GJ ha<sup>-1</sup>. A RB92579 apresentou o menor teor de cinzas na colheita (2,4%) e o maior teor de combustibilidade (97,6%). Os genótipos apresentaram eficiência na conversão de energia, considerando a irradiação fotossintética interceptada, em média de 4,2 %. A cana-energia apresentou resultados de poder calorífico maiores que a cana-de-açúcar com teores de cinzas superiores e menor combustibilidade. Esses resultados demonstram que a cana-energia é alternativa promissora para geração de energia elétrica.

© 2022 SBAgro. Todos os direitos reservados.

## Introdução

A limitação do aumento da temperatura do ar média global em 2 °C é dependente da emissão zero de carbono até 2050. Para alcançar essa meta, a demanda por energia

de fontes renováveis deve aumentar anualmente. Dentre as fontes renováveis, a biomassa tem grande importância no Brasil, com destaque para a cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). Em 2019, a cana participava com 17,4 % da oferta interna de energia do país (EPE/BEN, 2019) e existe potencial

de crescimento dessa participação. Esse resultado é devido ao aproveitamento da sua sacarose para produção de etanol e dos seus resíduos serem utilizados como combustível para a cogeração de eletricidade e calor, produção de etanol de segunda geração, além de outros derivados (insumos orgânicos líquidos e sólidos, gás carbono, leveduras e outros). No cenário nacional de energia elétrica, em 2017 o bagaço de cana-de-açúcar gerou 35,2 TWh, dos quais 21,1 TWh foram excedentes para o mercado e 14,1 TWh para o consumo próprio na produção de açúcar e etanol (EPE/MME, 2017).

Como estratégia para atender a redução de emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) e ao mesmo tempo suprir a demanda de energia no mundo, os programas de melhoramento genético de cana-de-açúcar buscam selecionar cultivares com maior potencial para produção de biomassa para fins energéticos, sendo essas denominadas de cana-energia (Tew & Cobill, 2008; Somerville et al., 2010; Dias et al., 2011; Sordi & Manechini, 2013; Matsuoka et al., 2014; Oliver & Khanna, 2017).

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar, com produção próxima a 585 milhões de toneladas de colmos na safra 2021/2022, e com rendimento média de 70,4 t ha<sup>-1</sup> (Conab, 2022). No entanto, a cultura apresenta produzida de potencial de 381 t ha<sup>-1</sup>, que evidencia a necessidade do Brasil evoluir com genótipos de *Sacharum* spp. e avançar níveis tecnológicos para mitigar os efeitos edafoclimáticos do país e, que ofereçam capacidade em produzir biomassa com boas características energéticas.

Os países tropicais apresentam condições favoráveis para o cultivo de plantas C<sub>4</sub>, como a cana-energia (Surenbra et al., 2018). O crescimento e desenvolvimento dessa cultura dependem da interação de variáveis meteorológicas, que incluem principalmente a precipitação pluvial, radiação solar, temperatura e umidade do ar (Inman-Bamber & Smith, 2005). Porém, a ecofisiologia da cana-energia ainda é pouco estudada, de modo que pesquisas adicionais, para aumentar o conhecimento dessa cultura, ainda são necessárias (Boschiero et al., 2019). Neste sentido, melhorar o entendimento das características energéticas da biomassa para o máximo rendimento e aproveitamento das plantas nos processos industriais é imprescindível. A fibra da cana-de-açúcar é a parte sólida da planta formada por celulose, hemicelulose, ligninas, pentosanas, pectinas e outros componentes (Jenkins et al., 1998). Ogata (2013) relata que 207 clones de cana-energia, com elevados teores de fibra, apresentaram variabilidade genética para os constituintes sólidos da fibra de 26,5 a 54,2 % para celulose, 16,7 a 26 % para hemicelulose e 17,7 a 27,1 % para lignina.

O poder calorífico juntamente com densidade e composição elementar das plantas são as principais propriedades para caracterização energética da biomassa (Yin, 2011).

Outro fator importante para escolha da fonte de biomassa para fins energéticos é o teor de cinzas presente na composição da biomassa, que deve ser preferencialmente baixo, para evitar problemas de incrustações nos equipamentos e nas tubulações quando queimados em fornalhas (Yin, 2011; Protásio et al., 2019).

Assim, objetivou-se com este estudo avaliar o potencial energético, teor de cinzas e a eficiência de conversão de energia da cana-energia de diferentes genótipos em Alagoas, Nordeste do Brasil.

## Material e Métodos

O experimento foi conduzido na área comercial da empresa GranBio, situada no município de Teotônio Vilela, Alagoas, região Nordeste do Brasil (09°55'35"S; 36°17'03"W; 124 m) em uma área de aproximadamente 1 hectare. De acordo com os dados meteorológicos médios do período de 1978 a 1991, o clima da região é caracterizado, pela classificação de Thornthwaite (1948), como megatérmico (A') subúmido seco (C1), com pequeno ou nenhum excesso de água (d), e concentração de 41,5 % da evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>) no período de dezembro a março. Conforme a climatologia desse período, a precipitação pluvial (P) anual é 1.076 mm. No entanto, 58 % desse total se concentra entre os meses de abril e julho, o que caracteriza distribuição irregular ao longo do ano. O solo da área é argissolo-amarelo distrófico abrupto coeso de textura franco argilo arenoso, e relevo com declividade inferior a 2 %. A capacidade de água disponível (CAD) e a densidade do solo média na camada de 0 a 60 cm de profundidade, são de 55,4 mm e 1,48 g cm<sup>-3</sup>, respectivamente.

Os elementos meteorológicos temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, precipitação pluvial e irradiância solar foram medidos através de uma estação agrometeorológica automática (Datalogger, modelo CR1000, Campbell Scientific, Inc.) instalada na área experimental, programada para realizar medidas a cada 10 segundos e armazenar em médias a cada 10 minutos, com exceção de irradiância solar global que foi armazenada a cada um minuto.

O plantio (06/12/2015) das gemas ocorreu em tubetes com substratos, em casa de vegetação, e aos 60 dias (04/02/2016) após o plantio foi realizado o transplante por meio de mudas pré-brotadas (MPB). O espaçamento entre mudas foi de 0,70 m e entrelinhas foi combinado (0,90 x 1,50 m). O preparo de solo consistiu em duas gradagens pesadas, uma gradagem intermediária e subsolagem. A adubação foi realizada no sulco de plantio com 50, 150 e 50 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O. Para o controle das plantas daninhas foi aplicado Metribuzin (1.440 g ha<sup>-1</sup>) e Mesotriona (120 g ha<sup>-1</sup>). A cultura foi irrigada por um sistema mecanizado de aspersão com deslocamento linear,

aplicando-se uma lâmina de 60 mm a cada 15 dias.

O campo experimental foi composto por sete genótipos de cana-energia (VX12-1744, VX13-0222, VX13-0805, VX13-2325, VX13-3132, VX13-3450 e VX13-3714) e uma cultivar de cana-de-açúcar RB92579, a mais cultivada do Nordeste (Ridesa, 2018). A sigla VX expressa Vertex que são genótipos que pertencem a empresa GranBio, que no estudo utilizou-se seis clones em fase experimental e uma cultivar comercial de cana-energia (VX12-1744). O delineamento experimental foi em blocos casualizados com três repetições. As parcelas foram constituídas de seis linhas com 10 m. As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do programa SISVAR submetendo-se os dados à análise de variância (ANOVA), com nível de significância de 0,05 ( $p \leq 0,05$ ) e comparação de médias pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). Foram ajustadas regressões lineares para obter informações ao longo do ciclo para as variáveis analisadas de cada genótipo. Os coeficientes das equações foram submetidos ao teste t ( $p \leq 0,05$ ).

A biomassa verde (BV) foi avaliada bimestralmente até a colheita (361 dias após o transplante - DAT), por meio de amostras realizadas nas duas linhas centrais de 10 m, sendo contabilizados o número de perfilhos e colhidas três touceiras por parcela. A biomassa seca (BS) foi obtida por meio da secagem do material vegetal em estufa de ventilação forçada à 65 °C até que a massa apresentasse valor constante (Benincasa, 1988; Fernandes, 2003). A produtividade de biomassa foi realizada multiplicando-se a massa (verde ou seca) pela quantidade de perfilhos extrapolados para 1 hectare (Boschiero et al., 2019). O teor de fibra foi determinado a partir de 300 gramas da BV após ser passada na forrageira (Fernandes, 2003).

O índice de área foliar (IAF) foi determinado mensalmente por meio do equipamento LAI-2000, próximo do pôr do sol, para evitar o efeito da radiação solar direta (Li-Cor, 1992; Zhang et al., 2005). As leituras foram realizadas com a tampa de 180° em quatro repetições em cada espaçamento alternado (0,90 e 1,50 m) dentro da parcela avaliada, sempre nas fileiras centrais e nos três blocos avaliados, o que totalizou 16 medidas por tratamento. Para obter valores diários de IAF, ajustou-se o modelo log-normal de três parâmetros à variável IAF em função dos graus-dia acumulados (GDA) (Souza et al., 2012; Ferreira Junior et al., 2012; Ferreira Junior et al., 2014):

$$IAF = a_1 \exp\left\{-0,5 \left[\frac{\ln(GDA/a_2)}{a_3}\right]^2\right\} \quad (1)$$

em que:  $a_1$  é a amplitude de IAF,  $a_2$  é o grau de decaimento do IAF e  $a_3$  é o valor de GDA no qual o IAF é máximo. Os GDA foram determinados conforme Inman-Bamber (1994):

$$GDA = \sum_{i=1}^n \left[ \left( \frac{T_x + T_n}{2} \right) - T_b \right] \quad (2)$$

em que:  $T_x$  e  $T_n$  são, respectivamente, a temperatura do ar máxima e mínima do dia, e  $T_b$  (10 °C) é a temperatura-base inferior

A irradiância solar fotossintética ( $R_f$ ,  $W m^{-2}$ ) foi obtida por uma fração da irradiância solar global ( $R_g$ ,  $W m^{-2}$ ) (Ferreira Junior et al., 2014). Para os valores diários de irradiação solar global ( $H_g$ ,  $MJ m^{-2} d^{-1}$ ) e irradiação solar fotossintética ( $H_f$ ,  $MJ m^{-2} d^{-1}$ ) foi realizada a integração dos valores observados  $R_g$  e  $R_f$  ( $W m^{-2}$ ) pelo método do trapézio. As medições de  $R_f$  transmitida ( $R_{f_t}$ ,  $W m^{-2}$ ) foram realizadas em duas repetições para cada parcela em sete campanhas de medição, das 10 às 14 horas, em dias com céu claro, com o sensor linear quantum (LI-191SA, LI-COR Environmental, Lincoln, USA). Estas medidas foram realizadas na diagonal da linha da cultura, a fim de ajustar o sensor linear na entrelinha (Monteith, 1993; Maddonni et al., 2001). Os dados do sensor linear foram calibrados em relação a um sensor Quantum (LI-190SA, LI-COR Environmental, Lincoln, USA). O coeficiente de extinção de luz ( $k$ ) foi estimado pela relação da fração de  $R_{f_t}$  ( $fR_{f_t}$ ) com o IAF (Jones et al., 1986; Flénet et al., 1996; Pereira et al., 2019).

O poder calorífico superior (PCS,  $MJ kg^{-1}$ ) foi determinado bimestralmente para cada genótipo utilizando a matéria seca, nas três repetições. Para determinação do PCS foi utilizado um calorímetro (IKA C2000), seguindo método MB-2850 (ABNT, 1990; Marafon et al., 2021).

Os teores de combustibilidade (CB) e cinzas (CZ) foram determinados para todos os genótipos bimestralmente, nas três repetições. A combustibilidade da biomassa foi expressa a partir da sua degradação térmica, que indica quanto o material possui de composição química favorável à produção de energia. Para determinar o teor de cinzas, as amostras dos genótipos foram passadas na forrageira, secadas em estufa à 105 °C e trituradas no moinho de Willey. Em seguida, foi pesada uma alíquota de 2,5 gramas, e incinerada em cadinhos de porcelana de 600 °C por quatro horas em mufla. As amostras foram resfriadas a temperatura ambiente em dessecadores e pesadas novamente. O CZ foi determinado pela percentagem do material que foi incinerado e o CB foi calculado subtraindo a percentagem de cinza de 100 (Oliveira et al., 2014).

A eficiência de conversão de energia (ECE) foi calculada pela relação entre a redimento de energia na biomassa em metro quadrado [ $EB_{(MJ m^{-2})} = BS_{(kg m^{-2})} \times PCS_{(MJ kg^{-1})}$ ] ao longo do ciclo e a irradiação fotossintética interceptada pelo dossel ( $H_{f\_int}$ ,  $MJ m^{-2}$ ), irradiação fotossinteticamente ativa incidente ( $H_f$ ,  $MJ m^{-2}$ ) e irradiação solar global ( $H_g$ ,  $MJ m^{-2}$ ), conforme Ferreira Junior et al. (2015). O redimento de energia na biomassa em hectare ( $EB$ ,  $J ha^{-1}$ ) ao longo do ciclo foi determinado como produto da BS ( $g ha^{-1}$ ) e o PCS ( $J g^{-1}$ ).

## Resultados e Discussão

A irradiação solar global (Hg) média mensal variou de 15,4 (maio) a 21,2 MJ m<sup>-2</sup> (fevereiro), com média no período experimental de 18,7 (± 2,3) MJ m<sup>-2</sup>. O maior acúmulo de Hg ocorreu em dezembro (652,0 MJ m<sup>-2</sup>) e o menor acúmulo em maio (476,0 MJ m<sup>-2</sup>). O total de Hg no ciclo de cultivo foi de 6.795 MJ m<sup>-2</sup>, enquanto que a irradiação fotossintética ativa foi de 2.921 MJ m<sup>-2</sup>, com média mensal de 243,5 (± 29,2) MJ m<sup>-2</sup>.

A temperatura do ar média durante o ciclo da cultura variou de 22,8 (agosto) a 27,5 °C (março), enquanto a mínima e a máxima da temperatura do ar alcançou valores de 16,8 (julho) e 35,4 °C (outubro). A umidade relativa do ar média foi 79 %, com mínima e máxima de 72 e 88 %, em fevereiro e julho, respectivamente. Apesar da temperatura do ar exercer influência no metabolismo das plantas, a temperatura durante o ciclo não foi um fator limitante para o crescimento e desenvolvimento da cultura (Ebrahim et al., 1998; Guerra et al., 2014).

A Hf<sub>int</sub> acumuladas pelos genótipos variaram de 1.921 MJ m<sup>-2</sup> (VX13-0222) a 2.271 MJ m<sup>-2</sup> (VX13-0805), com média de 2.103 (± 129,1) MJ m<sup>-2</sup> para os genótipos de cana-energia e 1.939 MJ m<sup>-2</sup> para a variedade RB92579. Ferreira Junior et al. (2015) encontraram valores com acúmulo máximo de Hf<sub>int</sub> igual a 2.776 MJ m<sup>-2</sup>, na região de Rio Largo, Alagoas.

O PCS para os genótipos de cana-energia variou de 18.039 J g<sup>-1</sup> (VX13-2325 aos 328 DAT) a 19.387 J g<sup>-1</sup> (VX13-3450 aos 266 DAT), com média de 18.628 (± 347,52) J g<sup>-1</sup> (Tabela 1). A cana-de-açúcar apresentou média de 18.518 J g<sup>-1</sup> e variou de 17.991 J g<sup>-1</sup> (328 DAT) a 19.422 J g<sup>-1</sup> (266 DAT). De acordo com a ANOVA, para os genótipos, apenas aos 201 e aos 362 DAT os materiais genéticos mostraram diferença estatísticas significativas entre eles. O coeficiente de variação das análises foi entre 0,49 (201 DAT) e 2,29 % (266 DAT), o que caracterizou elevada precisão experimental.

Conforme o teste de Tukey (p<0,05), aos 201 DAT, o genótipo VX13-3132 apresentou o maior PCS (18.912 J g<sup>-1</sup>) e

diferiu dos genótipos VX13-3714 e RB92579, que apresentaram os menos valores, 18.622 e 18.631 J g<sup>-1</sup>, respectivamente. Os demais clones não diferiram entre si. Aos 362 DAT, o clone VX13-0805 apresentou o maior PCS (19.006 J g<sup>-1</sup>) e diferiu da RB92579 que apresentou o menor PCS (18.318 J g<sup>-1</sup>). Os demais clones não diferiram estatisticamente entre si (p < 0,05).

No geral, os genótipos apresentaram maior média de PCS aos 266 DAT. Porém, de acordo com a regressão em função dos DAT, apenas os genótipos RB92579, VX13-0805, VX13-3132 e VX13-3450 apresentaram diferenças significativas para função quadrática pelo teste F ao nível de 1 % de probabilidade de erro, com coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) variando de 0,31 a 0,52 (Figura 1). Os demais genótipos não apresentaram ajustes ao longo do ciclo, o que indicou que o PCS não é influenciado pelo DAT. Para os genótipos que apresentaram ajustes significativos, o melhor ponto para análise foi aos 249, 280, 255 e 258 DAT, para os genótipos RB92579, VX13-0805, VX13-3132 e VX13-3450, respectivamente. De acordo com a ANOVA, os coeficientes de variação foram entre 0,59 (VX13-0805) a 1,74 % (VX-132325), que demonstrou novamente elevada precisão experimental.

Jenkins et al. (1998) encontraram valores de 19.590 J g<sup>-1</sup> para bagaço de cana-de-açúcar, 18.060 J g<sup>-1</sup> para uma forrageira (switchgrass) cultivada nos EUA, 15.090 J g<sup>-1</sup> para palha de arroz, 15.840 J g<sup>-1</sup> para casca de arroz, 17.940 J g<sup>-1</sup> para palha de trigo, 18.670 J g<sup>-1</sup> para parte vegetativa de alfafa e 19.590 J g<sup>-1</sup> para madeira de salgueiro. Desta forma, conforme indicado por Mckendry (2002a), o conteúdo energético da biomassa, em base seca e isenta de cinzas, é semelhante para todas as espécies vegetais, situado na faixa 17.000 a 21.000 J g<sup>-1</sup>.

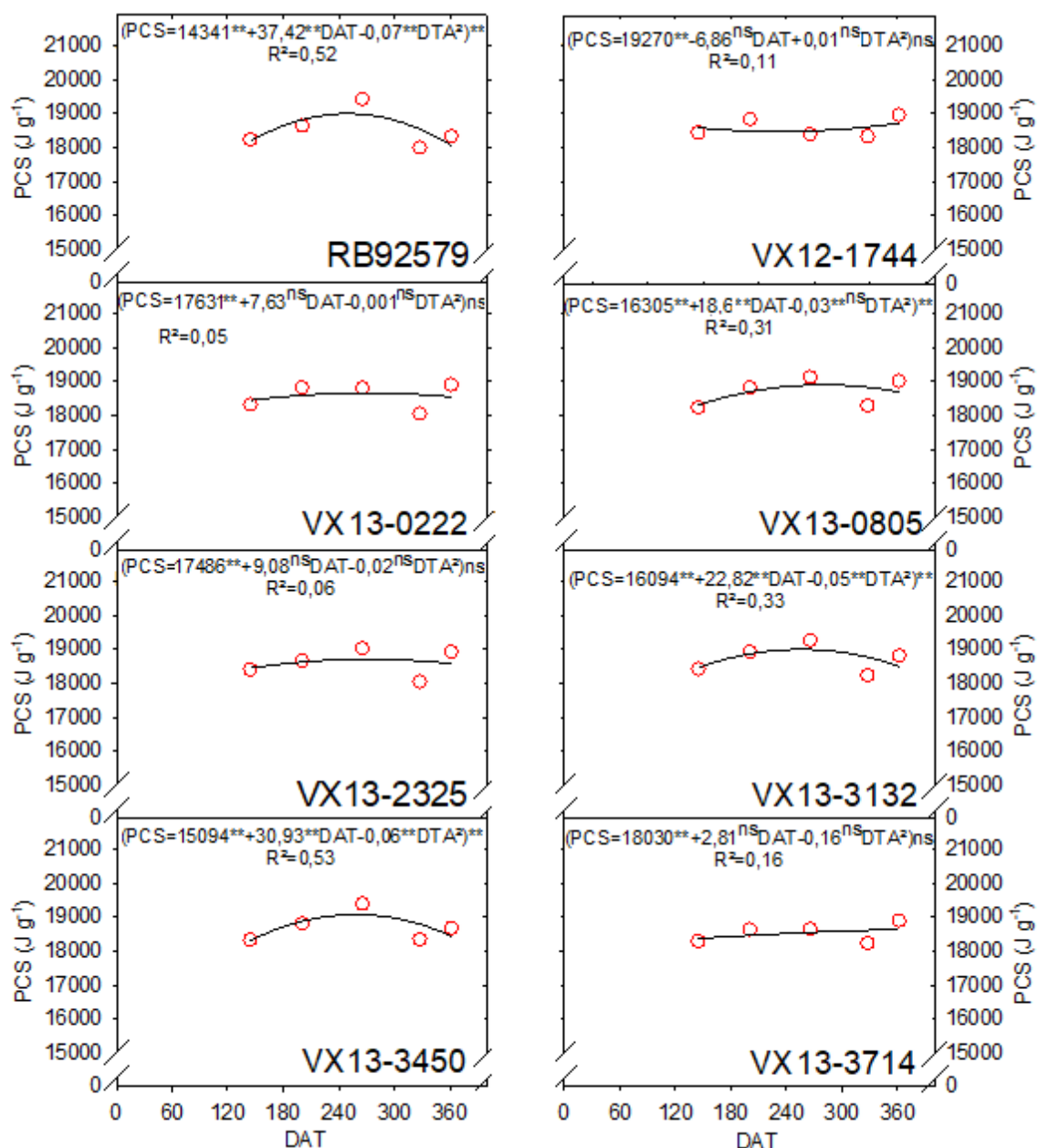
A variedade RB92579 apresentou média de 2,9 % de cinzas (CZ) na biomassa, com variação durante o ciclo de 2,3 (266 DAT) a 3,5 % (145 DAT). Enquanto isso, os clones de cana-energia variaram entre 3,0 (VX13-3132 aos 266 DAT) a 5,4 % (VX13-3714 aos 145 DAP), com média de 4,2 % (Tabela 2). De forma geral, os genótipos apresentaram maior teor

**Tabela 1.** Teste de média dos genótipos de cana para poder calorífico superior (PCS) ao longo do ciclo. Teotônio Vilela, AL, 2016.

Tratamentos	PCS (145) J g <sup>-1</sup>	PCS (201) J g <sup>-1</sup>	PCS (266) J g <sup>-1</sup>	PCS (328) J g <sup>-1</sup>	PCS (362) J g <sup>-1</sup>	Média
RB92579	18.227a	18.631a	19.422a	17.991a	18.318a	18.518
VX12-1744	18.429a	18.831ab	18.386a	18.322a	18.953ab	18.584
VX13-0222	18.311a	18.808ab	18.790a	18.044a	18.892ab	18.569
VX13-0805	18.225a	18.811ab	19.114a	18.275a	19.006 b	18.867
VX13-2325	18.393a	18.654ab	19.021a	18.038a	18.922ab	18.606
VX13-3132	18.405a	18.912 b	19.252a	18.225a	18.801ab	18.719
VX13-3450	18.320a	18.800ab	19.387a	18.335a	18.672ab	18.703
VX13-3714	18.279a	18.622a	18.646a	18.220a	18.887ab	18.531
Média	18.324	18.759	19.002	18.182	18.806	18.614

Notas: Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).

Figura 1. Poder calorífico superior (PCS) ao longo do ciclo para os genótipos de cana-energia e cana-de-açúcar. Teotônio Vilela, AL, 2016.



Notas: ns, dentro do parêntese, o coeficiente não é significativo pelo teste t, p<0,05 e fora do parêntese, a equação não significativa pelo teste F, p<0,05; \*\*, dentro do parêntese, o coeficiente da equação é significativo pelo teste t, p<0,01 e fora do parêntese a equação é significativa pelo teste F, p<0,01; \*, dentro do parêntese, o coeficiente da equação é significativo pelo teste t, p<0,05 e fora do parêntese a equação é significativa pelo teste F, p<0,01.

de cinzas no início do ciclo, aos 145 DAT. De acordo com a ANOVA (p<0,05), para as variáveis em função dos DAT, apenas os genótipos VX13-0805, VX13-3450 e VX13-3714 não foram significativos. O CV ficou entre 6,01 (VX13-0222) a 14,78 % (VX13-3132). Os demais genótipos apresentaram tendência linear decrescente (Figura 2).

A combustibilidade (CB) no decorrer do ciclo variou de 96,5 a 97,7%, com média de 97,1% para a variedade RB92579 e para os clones de cana-energia variaram de 94,6 a 97,0%, com média de 95,8% (± 0,70). No geral, os clones de cana-energia apresentaram teor de cinzas maior do que a variedade RB92579 e para o teor de combustibilidade a RB92579

foi 1,3% mais combustível do que os clones de cana-energia (Tabela 3). Os genótipos que apresentaram diferença significativa, de acordo com teste F (p < 0,05) para cinzas foram os mesmos que apresentaram para combustibilidade, porém com tendência linear positiva ao longo do ciclo. Os valores de R<sup>2</sup> para combustibilidade e cinzas variaram de 0,38 a 0,66. Para os genótipos que apresentaram ajustes significativos, todos os coeficientes da equação apresentaram diferença significativa, pelo teste-t, com p < 0,01. O CV da ANOVA foi abaixo de 0,66%.

Para os genótipos, o teor de cinzas e combustibilidade apresentaram diferença significativa para todas as épo-

**Tabela 2.** Efeito dos genótipos de cana para cinzas (CZ), ao longo do ciclo. Teotônio Vilela, AL, 2016.

Tratamentos	CZ (%) (145)	CZ (%) (201)	CZ (%) (266)	CZ (%) (328)	CZ (%) (362)	Média
RB92579	3,5 a	3,4 a	2,3 a	3,1 a	2,4 a	2,9
VX12-1744	4,8bc	5,2b	3,5 bc	4,0ab	3,3 ab	4,1
VX13-0222	4,7 abc	4,7 ab	3,8 bc	4,7ab	3,4 ab	4,3
VX13-0805	4,9 bc	4,0 ab	3,7 bc	4,7ab	3,6ab	4,2
VX13-2325	5,2bc	4,9 b	3,3bc	4,1 ab	3,5ab	4,2
VX13-3132	4,1 ab	4,1 ab	3,0 ab	3,4ab	3,2ab	3,5
VX13-3450	4,6 abc	5,2b	4,0c	4,8ab	3,9ab	4,5
VX13-3714	5,4c	5,0 b	4,1 c	5,1 b	4,4b	4,8
Média	4,7	4,6	3,5	4,3	3,5	4,1

Notas: Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

cas analisadas, pelo teste F, com exceção aos 362 DAT que não apresentou pela ANOVA, mas para o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ), os genótipos diferiram entre si. O CV variou de 8,93 (266 DAT) a 18,40 % (362 DAT). Para combustibilidade CV variou de 0,32 a 0,68 %.

Aos 145 DAT, a variedade RB92579 apresentou o menor valor de cinzas e maior de combustibilidade (3,5 e 96,5 %) e diferiu pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) do VX13-3714. Aos 201 DAT, RB92579 apresentou o menor valor de cinzas (3,4 %) e o maior combustibilidade (96,6 %), mas não diferiu dos genótipos VX0222-13, VX0805-13, VX3132-13. Aos 266 DAT, os genótipos VX3450-13 e VX3714-13 apresentaram os maiores valores de CZ e o menor de CB e diferiram dos genótipos VX3132-13 e RB92579. Aos 328 e 362 DAT, RB92579 apresentou o menor valor de CZ e maior de CB e diferiu do VX3714-13.

Singh et al. (2015) em estudo sobre a composição mineral de culturas com potencial para bioenergia, em três locais distintos na Flórida, encontraram valores com interação entre as espécies e o local. Similar ao presente trabalho, os autores observaram também que a cana-de-açúcar apresentou menor teor de cinzas, e justificou que poderia ser devido à diluição mineral por hidratos de carbono solúveis relativamente elevados nos tecidos, com valores médios 2,8 % para cana-de-açúcar e 4,2 % para outras espécies, incluindo cana-energia.

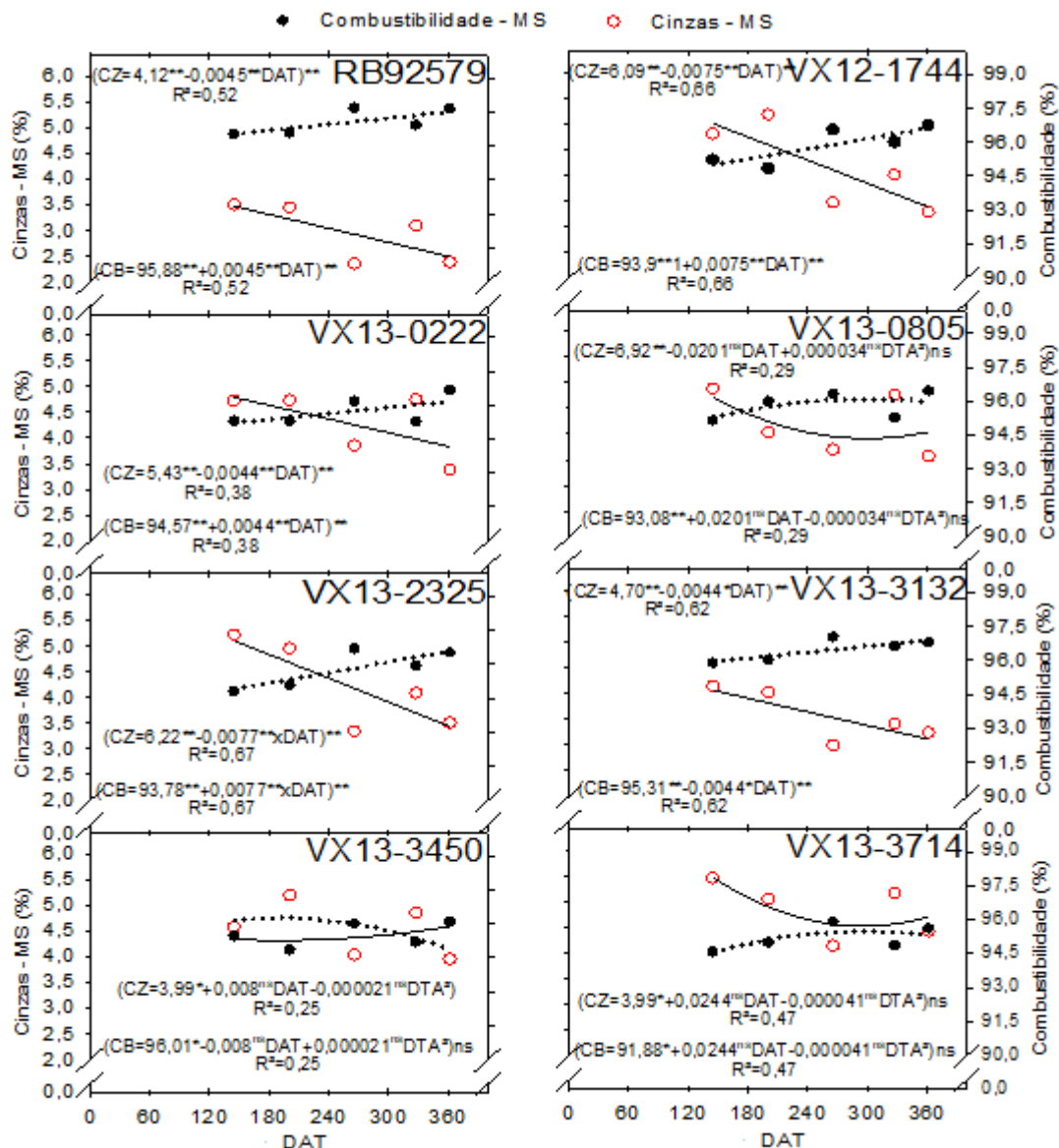
Irvine & Benda (1979) determinaram a composição do bagaço da fibra de cana-de-açúcar e encontraram o valor de 2 % de cinzas e 98 % de combustibilidade, com base na massa seca. Oliveira (2014) encontrou valores superiores a esses autores trabalhando com amostra de biomassa de bagaço de cana-de-açúcar em Mato Grosso do Sul, os valores do teor de cinzas variaram de 1,4 a 4,0 %, o que indicou que o bagaço possuía o potencial de geração de calor entre 96,0 e 98,6 %. Jenkins et al. (1998) encontraram valores de 2,4 % de cinza no bagaço de cana-de-açúcar, em comparação com 9 % para uma forrageira cultivada nos Estados Unidos (switchgrass), 18,7 % para palha de arroz, 20,3 para casca

de arroz, 7 % para palha de trigo, 5,7 % para parte vegetativa de alfafa e 1,7 % para madeira de salgueiro (1,7 %). As culturas analisadas pelos autores possuem de 79,7 % (palha de trigo) a 98,3 % (madeira de salgueiro) de combustibilidade, o bagaço da cana-de-açúcar apresentou 97,6 % de conversão de calor. Bizzo et al. (2014) encontraram em sua pesquisa com bagaço de cana-de-açúcar, valor de cinza variando de 2,9 a 7,5 % e em sua revisão apresentam valores de 2,0; 2,4; 3,6; 4,0; 5,0 e 7,4 %, o que corrobora com esse trabalho. De acordo com Jacome (2014), os teores de cinzas são variados e podem estar associados com as técnicas de colheita da biomassa, limpeza ou lavagem ou composição da própria biomassa. O autor ressalta ainda que as causas devem ser investigadas pois o teor de cinzas está diretamente ligado aos problemas de incrustações nas caldeiras. Conforme Mckendry (2002b), concentração de cinzas acima de 50 g kg<sup>-1</sup> é geralmente inaceitável para os processos termoquímicos como gaseificação. Em outras pesquisas, os resíduos de cinzas estão sendo estudados como aditivo em cimentos e em construção civil (Paula et al., 2009; Nunes et al., 2010; Lima et al., 2011; Martins Filho et al., 2017).

A eficiência de conversão de energia (ECE) em biomassa utilizando a Hf<sub>int</sub> variou de 4,01 % (VX13-0222) a 6,05 % (VX12-1744) para os genótipos de cana-energia, com média de 4,16 %. Os clones de cana-energia foram 32 % mais eficientes em converter a energia fotossintética interceptada em energia da biomassa do que a RB92579 (3,41 %) e quando comparada com o genótipo mais eficiente de cana-energia, a variedade de cana-de-açúcar foi superada em aproximadamente 77% (Figura 3).

Quando a ECE é realizada pela Hf (ECE<sub>Hf</sub>), a RB92579 apresentou 2,15 % de eficiência, enquanto os genótipos de cana-energia variaram de 2,47 % (VX13-0222) a 4,13 % (VX12-1744), com média de 3,17 %. Em média os genótipos de cana-energia foram 48 % mais eficientes e quando comparados com VX12-1744 foi 92 % mais do que a RB92579. Desta forma, a diferença foi ainda maior, pois a ECE<sub>Hf, int</sub>, leva em consideração os parâmetros de coeficiente de ex-

Figura 2. Cinzas e combustibilidade ao longo do ciclo para os genótipos de cana-energia e cana-de-açúcar. Teotônio Vilela, AL, 2016.



Notas:ns, dentro do parêntese, o coeficiente não é significativo pelo teste t, p<0,05 e fora do parêntese, a equação não é significativa pelo teste F, p<0,05; \*\*, dentro do parêntese, o coeficiente da equação é significativo pelo teste t, p<0,01 e fora do parêntese a equação é significativa pelo teste F, p<0,01; \*, dentro do parêntese, o coeficiente da equação é significativo pelo teste t, p<0,05 e fora do parêntese a equação é significativa pelo teste F, p<0,01.

tinção de luz e IAF, e como os genótipos de cana-energia pela sua arquitetura eles interceptam maior quantidade de radiação e a diferença da ECE torna-se menor quando comparado com a irradiação fotossintética interceptada. A eficiência na conversão de energia pela irradiação solar global foi 43 % da  $ECE_{Hf}$ , pois na região do estudo a relação entre  $H_f$  e  $H_g$  é de 43 %.

De acordo com Tew & Cobill (2008), a máxima eficiência líquida teórica do processo fotossintético de conversão de energia solar em biomassa em plantas C4 é estimada de 6 a 7 %. O autor ainda faz analogia as plantas C3 e afirma que devido à fotorrespiração em C3, o valor de referência para estas plantas é de aproximadamente 3 %. A vantagem relativa das plantas C4 sobre as C3 depende da altitude e

quanto mais tropical o ambiente maior será a vantagem. Corroborando com os resultados desse trabalho, Ferreira Junior et al. (2015) encontraram valores variando de 4,4 a 4,5 % para dois espaçamentos com a variedade RB98710, utilizando poder calorífico superior e a irradiação fotossintética interceptada. Quando comparado com a irradiação global os valores variam entre 2,4 e 2,5 %.

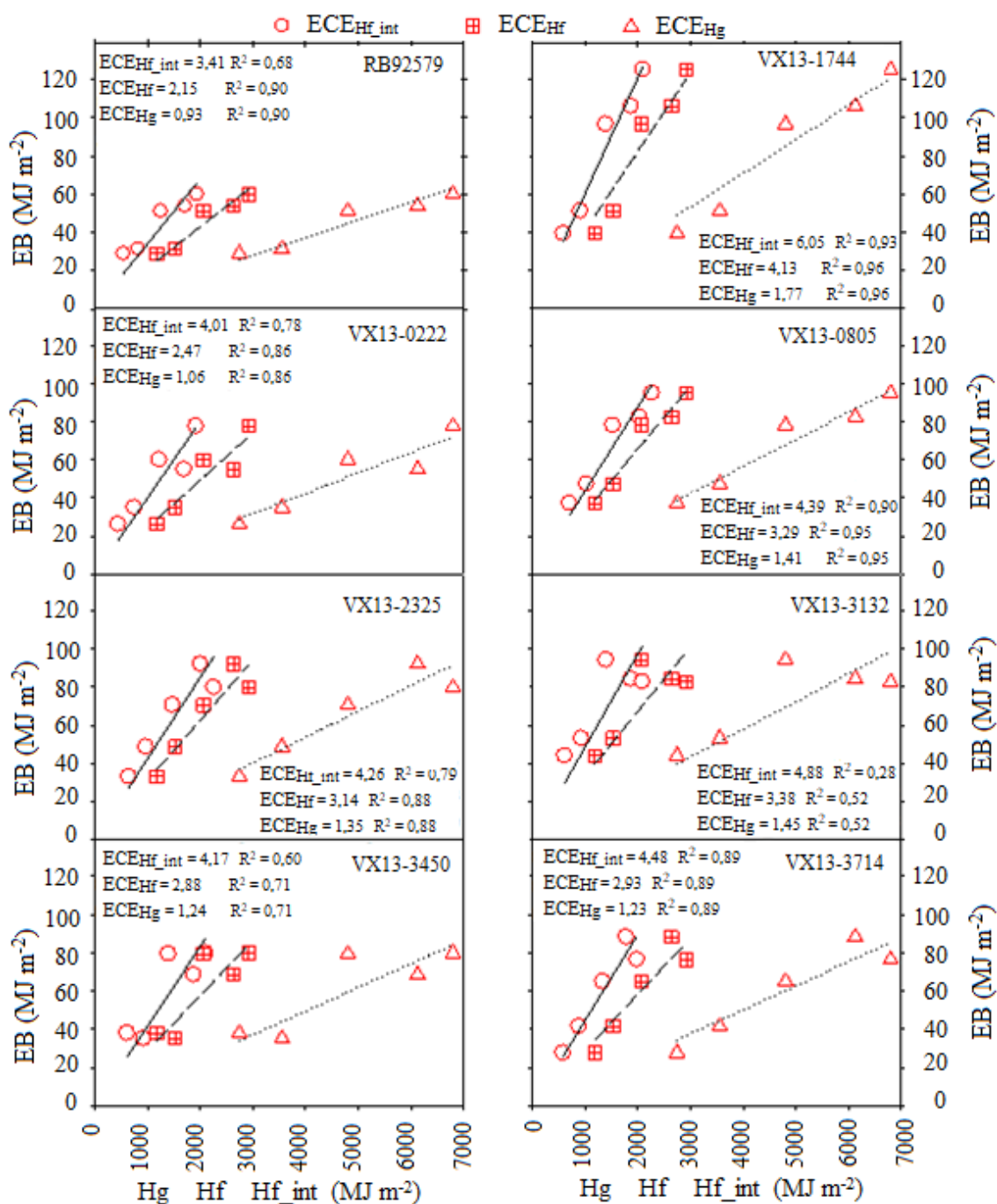
Em relação ao rendimento de energia na biomassa (EB), conforme a ANOVA (p < 0,05) apenas as épocas 329 e 362 DAT foram estatisticamente significativas. Os valores de CV variaram de 12,50 (329 DAT) a 18,66 % (266 DAT). Aos 145, 201 e 266 DAT, os genótipos não apresentaram diferenças estatísticas pelo teste de Tukey (p < 0,05), as médias de EB no decorrer das épocas foram crescentes, 308,51; 452,26 e

Tabela 3. Efeito dos genótipos de cana para combustibilidade (CB) ao longo do ciclo. Teotônio Vilela, AL, 2016.

Tratamentos	CB (%) (145)	CB (%) (201)	CB (%) (266)	CB (%) (328)	CB (%) (362)	Média
RB92579	96,5 a	96,6 a	97,7 a	96,9 a	97,6 a	97,1
VX12-1744	95,2bc	94,8 b	96,5bc	96,0ab	96,7ab	95,9
VX13-0222	95,3abc	95,3ab	96,2 bc	95,3ab	96,6 ab	95,7
VX13-0805	95,1bc	96,0 ab	96,3bc	95,3ab	96,4ab	95,8
VX13-2325	94,8bc	95,1b	96,7bc	95,9ab	96,5ab	95,8
VX13-3132	95,9 ab	95,9ab	97,0ab	96,6ab	96,8ab	96,5
VX13-3450	95,4abc	94,8b	96,0c	95,2ab	96,1ab	95,5
VX13-3714	94,6 c	95,5 b	95,9c	94,9 b	95,6 b	95,2
Média	95,3	95,4	96,5	95,7	96,5	95,9

Notas: Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).

Figura 3. Eficiência na conversão de energia solar em biomassa (ECE) para irradiação fotossintética interceptada (Hf\_int), irradiação solar fotossintética (Hf) e irradiação solar global (Hg), para os genótipos de cana-energia e cana-de-açúcar. Teotônio Vilela, AL, 2016.





689,67 GJ ha<sup>-1</sup>. Aos 329 DAT a RB92579 apresentou o menor valor (514,29 GJ ha<sup>-1</sup>) e diferiu pelo teste Tukey (p < 0,05) do VX12-1744 (1.069,21 GJ ha<sup>-1</sup>), esse foi estatisticamente igual ao VX13-0805 (821,35 GJ ha<sup>-1</sup>) e VX13-2325 (843,40 GJ ha<sup>-1</sup>). Na colheita a RB92579 apresentou o menor rendimento de EB (530,20 GJ ha<sup>-1</sup>), mas não diferiu do VX13-3450 (628,92 GJ ha<sup>-1</sup>), esses dois diferiram do VX13-0805 (985,33 GJ ha<sup>-1</sup>), que apresentou o maior rendimento de EB, os demais materiais não apresentaram diferença estatística entre eles (Tabela 4).

Tew & Cobill et al. (2008) citam valores de rendimento de EB para a cultura da cana-de-açúcar variando de 220,9 a 626,3 GJ ha<sup>-1</sup> na Tailândia e nos USA, respectivamente. A melhor eficiência energética (3,4) ocorreu no Brasil. No Marrocos, onde foi conduzida a pesquisa, o valor foi de 359,0 GJ ha<sup>-1</sup>. Esses valores ficaram próximos ao dessa pesquisa, quando comparados com cana-de-açúcar. Para cana-energia não foram encontrados dados na literatura para fazer a comparação.

### Conclusões

O poder calorífico dos genótipos de cana-energia na colheita é superior ao da cana-de-açúcar. Os genótipos VX13-3132 e VX13-0805 apresentam valores mínimos e máximos de poder calorífico superior, respectivamente, aos demais genótipos de VX. O genótipo VX12-1744 produz aproximadamente o dobro de energia por hectare quando comparado com a variedade de cana-de-açúcar. A cana-de-açúcar apresenta o menor teor de cinzas na colheita e o maior teor de combustibilidade em relação aos genótipos de cana-energia.

Os genótipos de cana-energia têm maior eficiência de converter a energia solar em energia da biomassa. Portanto, a cana-energia apresenta-se como alternativa para geração de energia ou produção de etanol de segunda geração devido à sua elevada eficiência em produzir biomassa e suas características energéticas.

### Contribuição dos autores

J. L. SOUZA, G. B. LYRA, H.L. SORIANO: concepção e orientação do projeto. P. L. V. S SARMENTO, A. E. Q ROCHA e G. B LYRA: condução do experimento e coleta dos dados. P. L. V. S SARMENTO e A. E. Q ROCHA: realização das análises estatísticas e análise dos dados. P. L. V. S SARMENTO, R. A. FERREIRA JUNIOR, M. A SANTOS, G. B LYRA e J. L. SOUZA: redação e revisão do manuscrito.

### Referências

ABNT. **NBR 11956**: coque: determinação do poder calorífico superior: método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 1990. 6 p.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. Funep, 1988.

BIZZO, W. A.; LENÇO, P.C.; CARVALHO, D.J.; VEIGA, J.P.S. The generation of residual biomass during the production of bio-ethanol from sugarcane, its characterization and its use in energy production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.29, p.589-603, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.056>.

BOSCHIERO, B.N.; DE CASTRO, S.G.Q.; DA ROCHA, A.E.Q.; FRANCO, H.C.J.; CARVALHO, J.L.N.; SORIANO, H.L.; DOS SANTOS, J.A.; BRESSIANI, J.A.; KÖLLN, O.T. Biomass Production and Nutrient Removal of Energy Cane Genotypes in Northeastern Brazil. **Crop Science**, v.59, n.1, p.379-391, 2019. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci2018.07.0458>.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar, Brasília, DF, v.8, n.4 abril 2022.

DIAS, M.O.S.; CUNHA, M.P.; JESUS, C.D.F.; ROCHA, G.J.M.; PRADELLA, J.G.C.; ROSSELL, C.E.V.; FILHO, R.M.; BONOMI, A. Second generation ethanol in Brazil: can it compete with electricity production? **Bioresource technology**, v. 102, n. 19, p. 8964-8971, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.06.098>.

EBRAHIM, M. K.; ZINGSHEIM, O.; EL-SHOUBAGY, M.N.; MOORE, P.H.; KOMOR, E. Growth and sugar storage in sugarcane grown at temperatures below and above optimum. **Journal of Plant Physiology**, v. 153, n. 5-6, p. 593-602, 1998. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(98\)80209-5](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(98)80209-5).

EPE/BEN - Empresa de Pesquisa Energética, Balanço Energético Nacional. Ano base 2018. Relatório Final. Rio de Janeiro: EPE; 2019.

EPE/MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (a). **Resenha Energética Brasileira**. Exercício de 2016. 32f. Ed. JUN 2017. Brasília, 2017.

FERNANDES, A. C. Cálculos na agroindústria de cana-de-açúcar. 2nd ed. Soc. Téc. Açucareiros Bras. Piracicaba, São Paulo, Brasil, 2003.

**Tabela 4.** Redimento de energia na biomassa potencial de cana-energia ao longo do ciclo. Teotônio Vilela, AL, 2016.

Tratamentos	GJ ha <sup>-1</sup> (145)	GJ ha <sup>-1</sup> (201)	GJ ha <sup>-1</sup> (266)	GJ ha <sup>-1</sup> (328)	GJ ha <sup>-1</sup> (362)	Média
RB92579	272,22a	392,04a	503,75a	514,29a	530,20a	442,50
VX12-1744	343,72a	479,21a	859,07a	1.069,21c	869,11ab	724,06
VX13-0222	250,50a	382,20a	663,03a	697,02ab	606,93a	519,94
VX13-0805	301,48a	541,44a	698,90a	821,35bc	985,33b	669,70
VX13-2325	307,15a	426,55a	741,43a	843,40bc	801,56ab	624,02
VX13-3132	372,67a	550,51a	807,95a	772,38ab	732,20ab	647,14
VX13-3450	298,88a	370,94a	626,93a	614,10ab	628,92a	507,95
VX13-3714	321,48a	474,62a	616,31a	708,89ab	716,68ab	567,60
Média	308,51	452,26	689,67	755,08	733,86	587,86

Notas: Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

- FERREIRA JUNIOR, R.A.; DE SOUZA, J.L.; ESCOBEDO, J.F.; TEODORO, I.; LYRA, G.B.; ARAÚJO NETO, R.A. Cana-de-açúcar com irrigação por gotejamento em dois espaçamentos entrelinhas de plantio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, p.798-804, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n08p798-804>.
- FERREIRA JUNIOR, R. A.; DE SOUZA, J.L.; LYRA, G.B.; TEODORO, I.; SANTOS, M.A.; PORFIRIO, A.C.S. Crescimento e fotossíntese de cana-de-açúcar em função de variáveis biométricas e meteorológicas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.1229-1236, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012001100012>.
- FERREIRA JUNIOR, R. A.; DE SOUZA, J.L.; LYRA, G.B.; ESCOBEDO, J.F.; SANTOS, V.C. Energy conversion efficiency in sugarcane under two row spacings in northeast of Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 8, p. 741-747, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n8p741-747>.
- FLÉNET, F.; KINIRY, J.; BOARD, J.; WESTGATE, M.; REICOSKY, D.C. Row spacing effects on light extinction coefficients of corn, sorghum, soybean, and sunflower. **Agronomy Journal**, v. 88, n. 2, p. 185-190, 1996. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj1996.00021962008800020011x>.
- GUERRA, A.; BARBOSA, A.M.; GUIDORIZI, K.A.; SOUZA, G.M. Efeitos da temperatura do ar na fotossíntese da cana-de-açúcar na fase inicial do desenvolvimento. **Agrarian**, v. 7, n. 24, p. 211-217, 2014. DOI: 10.30612/agrarian.v7i24.2565.
- INMAN-BAMBER, N. G. Temperature and seasonal effects on canopy development and light interception of sugarcane. **Field Crops Research**, v. 36, n. 1, p. 41-51, 1994. DOI: [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(94\)90051-5](https://doi.org/10.1016/0378-4290(94)90051-5).
- INMAN-BAMBER, N. G.; SMITH, D. M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field crops research**, v. 92, p. 185-202, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.01.023>.
- IRVINE, J.E.; BENDA, G.T.A. (1979) **Genetic potential and restraints in Saccharum as an energy source**. Symposium on Alternate Uses of Sugarcane for Development in Puerto Rico. San Juan, P.R. (26 Mar 1979).
- JACOME, D. F. **Caracterização físico-química das cinzas da palha de cana-de-açúcar através de análises térmicas simultâneas (STA)**. 2014. 132p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- JENKINS, B.M.; BAXTER, L.L.; MILES JR, T.R.; MILES, T.R. Combustion properties of biomass. **Fuel processing technology**, v. 54, n. 1-3, p. 17-46, 1998. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-3820\(97\)00059-3](https://doi.org/10.1016/S0378-3820(97)00059-3).
- JONES, C. A.; KINIRY, J. R.; DYKE, P. T. **CERES-Maize: A simulation model of maize growth and development**. Texas AM University Press, 1986.
- LI-COR. LAI-2000 plant canopy analyzer: Instruction manual (Nebraska-Li-Cor). 1992. 166 p.
- LIMA, S.A.; SALES, A.; ALMEIDA, F.C.R.; MORETTI, J.P.; PORTELLA, K.F. Concretos com cinza do bagaço da cana-de-açúcar: avaliação da durabilidade por meio de ensaios de carbonatação e abrasão. **Ambiente Construído**, v. 11, n. 2, p. 201-212, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-86212011000200014>.
- MARAFON, A.C.; AMARAL, A.F.C.; MACHADO, J.C.; CARNEIRO, J.C.; BIERHALS, A.N.; GUIMARÃES, V.S. Chemical composition and calorific value of elephant grass varieties and other feedstocks intended for direct combustion. **Grassland Scienc**, v.67, p.241-249, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1111/grs.12311>.
- MARTINS FILHO, S.T.; HUMBERTO M.C. Utilização da cinza leve e pesada do bagaço de cana-de-açúcar como aditivo mineral na produção de blocos de concreto para pavimentação. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v. 10, n. 4, 2017. DOI: <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2017v10n4p1205-1224>.
- MATSUOKA, S.; Kennedy, A.J.; Santos, E.G.; Tomazela, A. L.; Rubio, L.C.S. Energy cane: its concept, development, characteristics, and prospects. **Advances in Botany**, v. 2014, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1155/2014/597275>.
- McKENDRY, P. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. **Bioresource technology**, v. 83, n. 1, p. 37-46, 2002a. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00118-3](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00118-3).
- McKENDRY, P. Energy production from biomass (part 2): conversion technologies. **Bioresource technology**, v. 83, n. 1, p. 47-54, 2002b. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00119-5](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00119-5).
- MONTEITH J. L. **Using tube solarimeters to measure radiation interception by crop canopies and to analyse stand growth**. Pub. Delta-T Devies, document code TSL – AW-4-1, 1993, 11p.
- NUNES, I.H.S.; VANDERLEI, R.D.; SECCHI, M.; ABE, M.A.P. Estudo das características físicas e químicas da cinza do bagaço de cana-de-açúcar para uso na construção. **Revista Tecnológica**, v. 17, n. 1, p. 39-48, 2010. DOI: <https://doi.org/10.4025/revtecnol.v17i1.8728>.
- OGATA, B.H. **Caracterização das frações celulose, hemicelulose e lignina de diferentes genótipos de cana-de-açúcar e potencial de uso em biorrefinarias**. 2013. 108p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- OLIVEIRA, S.F.D.A. **Avaliação Energética da Biomassa do Bagaço de Cana de Açúcar em Diferentes Indústrias Sucroenergéticas**. 2014. 80p. Dissertação (Mestrado) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos. São Paulo.
- OLIVER, A.; KHANNA, M. Demand for biomass to meet renewable energy targets in the United States: Implications for land use. **GCB Bioenergy**, v. 9, n. 9, p. 1476-1488, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcbb.12437>.
- PAULA, M.O.; TINÔCO, I.F.F.; RODRIGUES, C.S.; SILVA, E.N.; SOUZA, C.F. Potencial da cinza do bagaço de cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 3, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662009000300019>.
- PEREIRA, M.O.; LYRA, G.B.; LYRA, G.B.; SILVA, L.D.B.; DE SOUZA, J.L.; PEREIRA, C.R.; JORGE, M.F. Extinction coefficient and interception efficiency of the photosynthetic photon flux density in cherry tomato under levels of nitrogen in greenhouse conditions. **Australian Journal of Crop Science**, v.13, n.11, p.1749-1755, 2019. DOI: <https://doi.org/10.21475/ajcs.19.13.11.p1497>.
- PROTÁSIO, T. P.; SCATOLINO, M.V.; DE ARAÚJO, A.C.C. Assessing Proximate Composition, Extractive Concentration, and Lignin Quality to Determine Appropriate Parameters for Selection of Superior Eucalyptus Firewood. **BioEnergy Research**, v. 12, p. 626-641, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12155-019-10004-x>.
- RIDESA. Censo varietal Brasil, Safra 2016/2017, região Nordeste. Rede Interuniversitária Desenvolvimento Setor Sucroenergético. Disponível em <https://www.ridesa.com.br/censo-varietal>, 2018).
- SINGH, M.P.; ERICKSON, J.E.; SOLLENBERGER, L.E.; WOODARD, K.R.; VENDRAMINI, J.M.B.; GILBERT, R.A. Mineral composition and removal of six perennial grasses grown for bioenergy. **Agronomy Journal**, v.107, n.2, p.466-474, 2015. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj14.0339>.
- SOMERVILLE, C.; YOUNGS, H.; TAYLOR, C.; DAVIS, S.C.; LONG, S.P. Feedstocks for lignocellulosic biofuels. **science**, v.329, n.5993, p.790-792, 2010. DOI: 10.1126/science.1189268.
- SORDI, R. A.; MANECHINI, C. Utilization of trash: a view from the agronomic and industrial perspective. **Scientia Agrícola**, v.70, n.5, p.2-2, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162013000500002>.
- SOUZA, R.C.; DIAS, A.C.; FIGUEIREDO, M.R.A.; OBARA, F.E.B. CHRISTOFFOLETI, P.J. Growth of the crabgrass species *Digitariaciliaris* and *Digitaria nuda*. **Planta Daninha**, v.30, p.317-325, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582012000200010>.
- SURENDRA, K.C.; OGOSHI, R.; ZALESKI, H.M.; HASHIMOTO, A.G.; KHANAL, S.K. High yielding tropical energy crops for bioenergy production: Effects of plant components, harvest years and locations on biomass composition. **Bioresource technology**, v.251, p.218-229, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.12.044>.
- TEW, T. L.; COBILL, R.M. Genetic improvement of sugarcane (*Saccharum spp.*) as an energy crop. In: **Genetic improvement of bioenergy crops**. Springer, New York, NY, 2008. p. 273-294. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-0-387-70805-8\\_9](https://doi.org/10.1007/978-0-387-70805-8_9).
- THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, v.38, n. 1, p.55-94, 1948. DOI: <https://doi.org/10.2307/210739>.

YIN, C.-Y. Prediction of higher heating values of biomass from proximate and ultimate analyses. **Fuel**, v.90, p.1128-1132, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2010.11.031>.

ZHANG, Y.; CHEN, J. M.; MILLER, J. R. Determining digital hemispherical photograph exposure for leaf area index estimation. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.133, n.1-4, p.166-181, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2005.09.009>.

#### REFERENCIAÇÃO

SARMENTO, P. L. V. S.; FERREIRA JUNIOR, R. A.; SOUZA, J. L.; SANTOS, M. A.; LYRA, G. B.; SORIANO, H. L.; ROCHA, A. E. Q.; LYRA, G. B.. Conversão de energia por genótipos de cana-energia em Alagoas. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v.30, e027030, 2022.



# Energy conversion by energy cane genotypes in Alagoas, Brazil

Pedro Luã Vieira de Souza Sarmento<sup>1</sup>, Ricardo Araujo Ferreira Junior<sup>1</sup>, José Leonaldo de Souza<sup>1 (\*)</sup>, Marcos Alex dos Santos<sup>1</sup>, Gustavo Bastos Lyra<sup>2</sup>, Hugo Lyra Soriano<sup>3</sup>, Adolpho Emanuel Quintela da Rocha<sup>1</sup> and Guilherme Bastos Lyra<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Alagoas. Av. Lourival Melo Mota, s/n - Tabuleiro dos Martins, CEP 57072-900 Maceió, AL, Brazil.

E-mails: pedro.agronomia\_ufal@hotmail.com, ricardo.junior@ceca.ufal.br, jls@ccen.ufal.br, marcos.santos@ceca.ufal.br, adolphoquintela@hotmail.com and gbastoslyra@gmail.com

<sup>2</sup>Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Rodovia BR 465, km 07, s/n, Zona Rural, CEP 23890-000 Seropédica, RJ, Brazil. E-mail: gblyra@ufrj.br

<sup>3</sup>GranBio Vertis. Rodovia AL 220, km 6,5, s/n, CEP 57180-000 Barra de São Miguel, AL, Brazil. E-mail: hugo.soriano@granbio.com.br

(\*)Corresponding author.

## ARTICLE INFO

### Article history:

Received 11 April 2021

Accepted 4 July 2022

### Index terms:

higher calorific value

ash content

combustibility

## ABSTRACT

In this paper, we aimed at assessing the energy potential and ash content of cane energy of several genotypes in northeastern Brazil. The experiment was carried out with seven genotypes of energy cane from Vertix (VX) and one sugarcane cultivar in a randomized block design with three replications. The higher calorific value (HCV), combustibility index, and ash content were evaluated every two months. The energy conversion efficiency was obtained by the relationship between the biomass energy content and solar irradiance. The higher calorific value for energy cane was on average 18716.00 ( $\pm 110.05$ ) J g<sup>-1</sup>, and statistically significant differences ( $p < 0.05$ ) among the genotypes occurred at only 201 and 362 days after planting. The RB92579 cultivar had an energy yield of 530 GJ ha<sup>-1</sup>, and the most productive cane energy genotype (VX12-1744) yielded 1069 GJ ha<sup>-1</sup> (329 DAT), and the average among the genotypes was equal to 762 ( $\pm 133.92$ ) GJ ha<sup>-1</sup>. The RB92578 cultivar had the lowest ash content at harvest (2.4%) and the highest combustibility index (97.6 %). The conversion energy efficiency from the genotypes by taking into account the intercepted photosynthetically active irradiance was on average 4.2%. The energy cane showed higher HCV than the sugarcane with higher ash content and lower combustibility. These results indicate that energy cane is a promising alternative to electrical energy generation.

© 2022 SBAgro. All rights reserved.

## CITATION

SARMENTO, P. L. V. S.; FERREIRA JUNIOR, R. A.; SOUZA, J. L.; SANTOS, M. A.; LYRA, G. B.; SORIANO, H. L.; ROCHA, A. E. Q.; LYRA, G. B.. Conversão de energia por genótipos de cana-energia em Alagoas. *Agrometeoros*, Passo Fundo, v.30, e027030, 2022.