

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL  
CURSO DE DOUTORADO**

**Caracterização e termoanálise de variedades de cana-de-açúcar  
no bioma Cerrado.**

**Pamela Kerlyane Tomaz**

CAMPO GRANDE, MS

2023

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL  
CURSO DE DOUTORADO**

**Caracterização e termoanálise de variedades de cana-de-açúcar  
no bioma Cerrado.**

**Pamela Kerlyane Tomaz**

**Orientador: Prof. Dr. Alexandre Menezes Dias**

**Coorientador: Prof. Dr. Luís Carlos Vinhas Ítavo**

Tese apresentada à Universidade  
Federal de Mato Grosso do Sul,  
como requisito à obtenção do  
título de Doutor em Ciência  
Animal.

Área de concentração: Produção Animal

Campo grande, MS

2023



Serviço Público Federal  
Ministério da Educação  
**Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul**



### **Certificado de aprovação**

PAMELA KERLYANE TOMAZ

**Caracterização e termoanálise de variedades de cana-de-açúcar no bioma Cerrado**  
**Characterization and thermoanalysis of sugarcane varieties in the Cerrado biome**

Tese apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como requisito para obtenção do título de Doutora em Ciência Animal. Área de concentração: Produção Animal.

Aprovado em: 28-02-2023

BANCA EXAMINADORA:

---

Dr. Alexandre Menezes Dias  
(UFMS) – (Presidente)

---

Dr. Elson Martins Coelho  
(UFMS)

---

Dr. Gelson dos Santos Difante  
(UFMS)

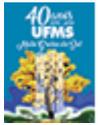
---

Dra. Joice Ferreira de Queiroz  
(UFMS)

---

Dr. Luis Carlos Vinhas Itavo  
(UFMS)

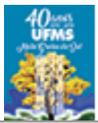
---



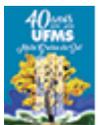
Documento assinado eletronicamente por **Gelson dos Santos Difante, Professor do Magisterio Superior**, em 28/02/2023, às 16:35, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Alexandre Menezes Dias, Professor do Magisterio Superior**, em 28/02/2023, às 17:36, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Luis Carlos Vinhas Itavo, Professor do Magisterio Superior**, em 01/03/2023, às 07:55, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Joice Ferreira de Queiroz, Usuário Externo**, em 03/03/2023, às 08:05, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufms.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufms.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **3878402** e o código CRC **02260B97**.

## COLEGIADO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL

Av Costa e Silva, s/nº - Cidade

Universitária Fone:

CEP 79070-900 - Campo Grande - MS

Referência: Processo nº 23104.001236/2021-33

## **DEDICATÓRIA**

Dedico esta tese a todas as pessoas que contribuíram para que este momento se tornasse realidade. Sobretudo, a minha filha, Sofia Tomaz Montanari e à minha mãe Quitéria Umbelina Siqueira.

**DEDICO!**

## AGRADECIMENTOS

A Deus;

A Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), em especial ao Programa de Pós-graduação em Ciência Animal (PPGCA), pela oportunidade de continuar meu aperfeiçoamento profissional e, principalmente, a todos os professores que lecionaram e contribuíram com minha formação acadêmica, pela oportunidade de realizar mais um sonho.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos;

Ao meu orientador Professor Dr. Alexandre Menezes Dias pela orientação, pelos ensinamentos técnicos e científicos, pela conduta profissional, pela amizade e toda contribuição para a minha formação profissional ao longo do curso. Gratidão!

Ao meu coorientador Professor Dr. Luís Carlos Vinhas Ítavo pela contribuição em minha formação profissional ao longo do curso. Gratidão!

Ao Professor e coordenador do programa de Pós-Graduação em Ciência Animal Dr. Gelson dos Santos Difante por todo apoio, confiança, ensinamentos ao longo do curso. Gratidão!

Aos funcionários da fazenda escola da UFMS por toda a contribuição ao longo desses anos, pela amizade construída e pelos momentos de descontração.

Ao Grupo de Pesquisa de Forragicultura e Pastagens em especial a Iesa Pereira de Andrade, Victor Cerqueira, Anderson Ramires Cândido, Juliana Batistoti e Antonio Leandro Chaves Gurgel pela dedicação e comprometimento para que o experimento pudesse ser concretizado. Muito obrigado por tornarem esses dias áridos divertidos e alegres. Sem vocês a finalização da tese não seria possível.

**A todos os citados meu muito obrigada!**

## RESUMO

Tomaz, P, K. Caracterização e termoanálise de variedades de cana-de-açúcar no bioma Cerrado. 2022. 63 f. Tese (Doutorado em Ciência Animal) - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, 2022.

O objetivo foi avaliar os caracteres agronômicos, químicos e bromatológicos de doze variedades de cana-de-açúcar (IAC: 86-2210; 86-2480; 87-3396; 93-6006, RB:72-454; 73-9735; 75-8540; 86-7515, e SP: 79-2233; 80-1842; 80-3280; 81-3250), com o intuito de auxiliar na tomada de decisão na escolha da variedade mais adequada para a alimentação de animais ruminantes. No capítulo 1, um estudo foi desenvolvido com o objetivo de caracterizar a composição química e agronômica de variedades de cana-de-açúcar para a alimentação de ruminantes durante os anos de 2018 e 2019. Foram determinadas a altura (ALT), comprimento de colmo (CC), número de nó na planta (N. NÓ), distância entrenós (DEN), diâmetro (DIÂ), número de folhas, (NF), comprimento da folha (CF), largura da folha (LF), matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), carboidratos não fibrosos (CNF), digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS), digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica (DIVMO). O experimento foi instalado em delineamento de blocos casualizados. As correlações foram obtidas pela análise de correlação de Pearson e pelo teste *t*. As variedades RB 86-7515 e RB 72-454 são as com maior viabilidade para utilização na nutrição animal. No capítulo 2 o objetivo foi determinar o comportamento térmico de doze variedades de cana-de-açúcar por meio da Termogravimetria e Termogravimetria derivada do colmo da cana-de-açúcar de interesse comercial. Realizou-se a caracterização do potencial energético do colmo por meio da Termogravimetria e Termogravimetria Derivada (TG-DTG). A degradação da variedade RB 75-8540 apresentou a menor perda de massa equivalente a 92,38 %, seguida da variedade IAC 87-3396 com uma perda de massa de 94,52 %. Comparando as curvas termogravimétricas das doze variedades a SP 81-3250 destacou-se com a maior perda de massa 97,04 %, a mesma teve um processo de queima mais lento. As variedades RB 86-7515 e RB 72-454, se destacam em seus aspectos nutricionais e a baixa perda de energia no processo de perda de massa.

**Palavras-chave:** produtividade, temperatura de decomposição, teor nutricional

## ABSTRACT

Tomaz, P, K. Characterization and thermoanalysis of sugarcane varieties in the Cerrado biome. 2022. 61 f. Thesis (Doctorate in Animal Science) - Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science, Federal University of Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, 2022.

The objective of this thesis was to evaluate the agronomic, chemical and bromatological characters of twelve sugarcane varieties (IAC: 86-2210; 86-2480; 87-3396; 93-6006, RB:72-454; 73-9735; 75-8540; 86-7515, and SP: 79-2233; 80-1842; 80-3280; 81-3250), in order to assist in decision-making in choosing the most suitable variety for feeding cattle. In chapter 1, a study was developed with the objective of characterizing the chemical and agronomic composition of sugarcane varieties for feeding ruminants during the year 2018 and 2019. (CC), node number on the plant (NODE N), distance between nodes (DEN), diameter (DIÂ), number of leaves, (NF), leaf length (CF), leaf width (LF), dry matter (DM), organic matter (OM), crude protein (CP), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), non-fiber carbohydrates (NFC), in vitro dry matter digestibility (DIVMS), digestibility in vitro of organic matter (IVMOD). The experiment was set up in a randomized block design in split plots. Correlations were obtained by Person's correlation analysis and t-test. The year 2018 was the one with the highest nutritional and productive indices. The RB 8675-15 and RB 72454 varieties showed greater viability for use in animal nutrition. Chapter 2 aimed to determine the thermal behavior of twelve varieties of sugarcane using thermogravimetry and thermogravimetry derived from the stem of commercially available sugarcane. The characterization of the energy potential of the culm was performed using thermogravimetry and derived thermogravimetry (TG-DTG). The degradation of the RB 75-8540 variety showed the lowest weight loss equivalent to 92.38%, followed by the IAC 87-3396 variety, which showed a weight loss of 94.52%. Comparing the thermogravimetric curves of the twelve varieties, SP 81-3250 stood out with the highest mass loss 97.04%, it had a slower burning process. Thus, the varieties RB 86-7515 e RB 72-454, stand out in their nutritional aspects and low energy loss in the process of weight loss.

Keywords: productivity, decomposition temperature, nutritional content

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Revisão de literatura</b> .....	15
Figura 1. Representação das curvas TG dinâmica. Fonte: Adaptado de Aragão (2006).....	21
<b>Artigo I</b> .....	28
Figura 1. Precipitação pluvial (mm) e temperaturas máxima e mínima (°C) registradas durante o período experimental junho, julho, agosto, setembro, plantada em janeiro de 2007, Fazenda Escola UFMS, Terenos – MS, 2018/2019 (Fonte: CEMTEC).....	31
<b>Artigo II</b> .....	48
<b>Figura 1.</b> Curvas TG das variedades de cana-de-açúcar estabelecidas no bioma Cerrado obtidas em atmosfera de ar com razão de aquecimento de 20°C min <sup>-1</sup> .....	54
<b>Figura 2.</b> Curvas DTG das variedades de cana-de-açúcar estabelecidas no bioma Cerrado, obtidas em atmosfera de ar com razão de aquecimento de 20°C min <sup>-1</sup> .....	55
<b>Figura 3.</b> Curvas DSC das variedades de cana-de-açúcar estabelecidas no bioma Cerrado, obtidas em atmosfera de ar com razão de aquecimento de 20°C min <sup>-1</sup> .....	56

## LISTA DE TABELAS

### Artigo I

Tabela 1. Análise química do solo.....	31
Tabela 2 Produtividade avaliadas em variedades de cana-de-açúcar estabelecidas no bioma Cerrado .....	35
Tabela 3. Características morfológicas de variedades de cana-de-açúcar estabelecidas no bioma Cerrado nos anos 2018-2019.....	36
Tabela 4. Composição químicas de variedades de cana-de-açúcar estabelecidas no bioma Cerrado nos anos.....	37
Tabela 5. Produtividade avaliadas em variedades de cana-de-açúcar estabelecidas no bioma Cerrado nos anos.....	38
Tabela 6. Coeficiente de correlação (r) entre as variáveis químicas avaliadas das variedades de cana-de-açúcar estabelecidas no bioma Cerrado .....	39
Tabela 7. Coeficiente de correlação (r) entre as variáveis agronômicas das variedades de cana-de-açúcar estabelecidas no bioma Cerrado.....	40

### Artigo II

Tabela 1 - Temperatura de decomposição máxima e percentagens de perda de massa e resíduos obtidos a partir das curvas DTG para as diferentes variedades de colmo <i>in natura</i> em razão de aquecimento °C/min.....	57
Tabela 2 - Valores médios e desvio padrão das características químicas do colmo de doze variedades de cana-de-açúcar.....	59

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ALT	Altura da planta
CNF	Carboidratos não fibrosos
CC	Comprimento do colmo
CF	Comprimento da folha
DIÂ	Diâmetro do colmo
DIVMO	Digestibilidade <i>in vitro</i> da matéria orgânica
DIVMS	Digestibilidade <i>in vitro</i> da matéria seca
DEN	Distância entrenós
DTG	Termogravimetria Derivada
EE	Extrato etéreo
FDA	Fibra em detergente ácido
FDN	Fibra em detergente neutro
LF	Largura da folha
MM	Matéria Mineral
MO	Matéria orgânica
MOC	Matéria orgânica do colmo
MOF	Matéria orgânica da folha
MS	Matéria seca
MSF	Matéria seca da folha
N. NÓ	Número de nó na planta:
NF	Número de folhas
PB	Proteína bruta
TG	Termogravimetria
DTG	Termogravimetria Derivada

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	13
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	16
2.1 Características agronômicas da cana-de-açúcar.....	16
2.2 Características químicas da cana-de-açúcar.....	17
2.3 Utilização da cana-de-açúcar para fins forrageiros.....	18
2.4 A escolha da variedade.....	18
2.5 Análise Térmica .....	19
<b>3. REFERÊNCIAS</b> .....	24
<b>ARTIGO I- Caracterização química e agronômica de doze variedades de cana-de-açúcar</b>	
Introdução.....	29
Material e métodos.....	30
Resultados.....	34
Discussão.....	40
Conclusão.....	43
Referências.....	44
<b>ARTIGO II- Avaliação do comportamento termogravimétrico de variedades de cana-de-açúcar</b>	
Introdução.....	49
Material e métodos.....	50
Resultados.....	52
Discussão.....	59
Conclusão.....	61
Referências.....	62

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum L.*) é uma das mais importantes culturas do Brasil. A área colhida para a safra de 2021/22 foi estimada em 8,3 milhões de hectares, com produção de 568.430,2 milhões de toneladas (Conab, 2022).

No Brasil, a produção da cultura da cana-de-açúcar destina-se principalmente para produção de açúcar e etanol, podendo ser obtidos outros produtos, tais como a cachaça artesanal, doces e forragens para tratar animais, sendo estas, realizadas em sua maioria por pequenos agricultores (Pereira et al., 2020).

A cana-de-açúcar tem sido uma forrageira bastante utilizada nas pequenas propriedades rurais do centro-sul do Brasil, principalmente durante os meses mais secos do ano. Dentre os principais fatores que contribuem para o uso da cana-de-açúcar na alimentação dos ruminantes podem-se citar: grande produção de forragem por unidade de área; facilidade de cultivo, pois quando está madura, mantém sua qualidade bromatológica; tem baixo custo relativo por unidade de matéria seca produzida; apresenta maior flexibilidade quanto às épocas de plantio e de corte, em comparação com as culturas anuais, o que facilita o gerenciamento da atividade, podendo ser uma das fontes de energia de menor custo. Devido a essas características essa forrageira é um volumoso de grande interesse, para a alimentação dos ruminantes (Oliveira et al., 2007; Valadares Filho et al., 2008; Oliveira et al., 2021).

A alta produtividade da cana-de-açúcar é impulsionada pela tecnologia empregada no cultivo, neste aspecto, podemos citar a irrigação e os programas de melhoramento. A produção de biomassa, o rápido crescimento e a tolerância a pragas e doenças são fatores almejados por melhoristas na elaboração de novas variedades. Contudo, as respostas das mesmas, quando submetidas a determinadas condições climáticas, podem revelar diferentes respostas de crescimento e produção (Barros et al., 2018; Leal et al., 2017).

Nesse sentido, torna-se importante identificar cultivares promissoras por meio da expressão do potencial genético que pode ser avaliado por meio de caracteres morfológicos e produtivos, além do conhecimento das correlações desses caracteres, sendo de fundamental importância para os melhoristas na identificação e organização dos recursos genéticos disponíveis, uma vez que a utilização de cultivares adequadas possibilita aumentos de produtividade (Capone et al., 2011).

Atualmente, a produtividade por área, o teor de FDN e sua relação com os carboidratos solúveis são parâmetros mais adequados para indicação de materiais genéticos com potencial forrageiro. A resistência a doenças e pragas, tombamento, rebrota, tolerância a seca também são características avaliadas na escolha de uma variedade de cana-de-açúcar para alimentação animal. A partir destas características, tem se intensificado o número de trabalhos com avaliação nutricional e agrônômica de variedades de cana-de-açúcar destinadas a alimentação animal (Gooding, 1982).

A análise de crescimento de cana-de-açúcar por meio de parâmetros morfológicos, como altura de plantas, diâmetro de colmo, perfilhamento, área foliar, produção de colmos, massa seca, permite identificar eventuais potencialidades produtivas entre diferentes cultivares evidenciando, portanto, a importância do estudo dessas características como parâmetro indicativo do potencial de produção (Capone et al., 2011).

A técnica de análise Termogravimétrica, permite a determinação aproximada dos teores dos principais componentes da biomassa lignocelulósica. Em uma análise termogravimétrica, a amostra é submetida a uma programação controlada de temperatura, registrando simultaneamente a taxa de perda de massa (Galina et al., 2019). A partir da curva TG é possível obter a curva de Termogravimetria derivada (DTG), que representa a derivada a primeira ordem da curva TG em função do tempo (Rego et al., 2019).

Dentre os métodos descritos na literatura, a termogravimetria tem se mostrado eficaz na determinação composicional, quando aplicado para diferentes espécies de gramíneas (Carrier et al., 2011).

Assim, em função da determinação da melhor cultivar como forrageira, esse trabalho teve por objetivos:

- 1) Avaliar as características agronômicas e químicas de doze variedades de cana-de-açúcar para a alimentação de ruminantes;
- 2) Avaliar o comportamento térmico de doze variedades de cana-de-açúcar por meio da Termogravimetria e Termogravimetria Derivada (TG/DTG) e da Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC).

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Características morfológicas da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) é uma planta que possui alta capacidade para realização de fotossíntese, característica de plantas com metabolismo C4, ou seja, com alto poder de concentração de CO<sub>2</sub> em função da redução da fotorrespiração, atingindo altas taxas de fotossíntese em elevada intensidade de radiação solar (Lucena et al., 2020).

Por pertencer à família *Poaceae*, tem como principais características: inflorescência em forma de espiga, crescimento do caule em colmos, folhas com lâminas de sílica em suas bordas e bainhas abertas.

O perfilhamento começa a ocorrer de forma abundante logo após a emergência das plântulas, é de hábito ereto e levemente decumbente, esse dá início às touceiras. A partir desse momento, a cultura começa a se estabelecer em campo, há também a eliminação de alguns perfilhos devido ao auto sombreamento. No período de estabelecimento ou crescimento de colmos, as plantas precisam de maior quantidade de água e nutrientes exigida em todo o ciclo (Diola & Santos, 2010).

Como características morfológicas a cana-de-açúcar apresenta a folha com formato laminar, uma bainha que envolve o colmo e distribui-se de forma alternada e oposta. O colmo com formato cilíndrico, ereto, fibroso e constituído de nós e internódios, com altura que varia entre 1,0 e 5,0 m, e o diâmetro pode variar entre menor que 1,0 cm a 5,0 cm. É considerado o fruto agrícola da cana-de-açúcar por acumular, no processo de maturação, a sacarose (Taupier & Rodrigues, 1999).

O sistema radicular é do tipo fasciculado e pode atingir até 5 m de profundidade. De acordo com Doorenbos & Kassan (1979), atinge, no máximo, 1,2 a 2,0 m em áreas com irrigação plena. Quanto à distribuição, 50% do peso do sistema radicular pode ser encontrado nos primeiros 20 cm de solo.

O ciclo fenológico dessa cultura pode durar de 12 (cana de ano) a 18 (cana de ano e meio) meses na primeira folha (cana planta); a partir da segunda folha, após o primeiro corte, o ciclo dura 12 meses e a denominação muda para cana-soca. Segundo Machado (1982), o ciclo pode ser dividido em três fases: a fase inicial de crescimento lento (surgimento das plântulas, perfilhamento e estabelecimento da touceira), a fase intermediária (crescimento total dos colmos) e a fase final (maturação/acúmulo máximo de sacarose).

Alfonsi et al. (1987), afirmam que os fatores abióticos que interferem diretamente na produção da cana-de-açúcar são temperatura, luz, disponibilidade de nutrientes e água.

## **2.2 Características químicas da cana-de-açúcar**

O valor nutritivo de uma planta forrageira deve ser considerado não como fator isolado, mas como um complexo formado por composição química, digestibilidade e constituintes secundários que, em conjunto, podem interferir na ingestão e utilização da forragem consumida pelos ruminantes (Bonomo et al. 2009).

As características químicas e bromatológicas são as que conferem a qualidade à determinado alimento. A cana é um alimento caracterizado por apresentar dois componentes em maiores proporções: açúcares, que são os carboidratos não fibrosos, e material fibroso, representados pela celulose, hemicelulose e lignina, formando cerca de 90% dos constituintes da sua matéria seca, que estão correlacionados com a degradabilidade e a digestibilidade em ruminantes (Klein, 2010).

A cana-de-açúcar apresenta características que limitam a sua utilização por animais de elevado potencial genético, dentre as quais destacam-se o baixo teor de proteína bruta (PB), fibra de lenta degradação ruminal e elevado teor de fibra não-degradável, o que limita a ingestão de alimentos. A principal limitação da cana-de-açúcar é a redução de consumo, ocasionada principalmente pela baixa digestibilidade da fibra, por isso a relação FDN/açúcares é uma variável importante na escolha de variedades de cana-de-açúcar para alimentação dos ruminantes, sendo sugerida uma baixa relação FDN/açúcares, ou seja, baixo conteúdo de FDN e alto conteúdo de açúcar (Bonomo et al. 2009).

### **2.3 Utilização da cana-de-açúcar para fins forrageiros**

Conceitos mais antigos recomendavam a opção por variedades de cana-de-açúcar que apresentassem alta proporção de folhas e palmitos em relação à massa verde total, o que aproximava o ideótipo dessa espécie a outras forrageiras comumente utilizadas como pastagem (Boin et al., 1987).

Em face dos novos conhecimentos na área de nutrição de ruminantes, verificou-se que os açúcares presentes na cana são os principais responsáveis pelo fornecimento de energia e, conseqüentemente, pelo desempenho animal (Rodrigues et al., 2002). A seleção de cana para essa finalidade considera, além do teor de açúcares e da produtividade de massa verde, o teor de FDN. Outras características adicionais são desejadas, tais como: porte ereto de touceiras; uniformidade biométrica dos colmos; período de utilização mais longo; resistência às doenças e pragas de importância econômica.

## **2.4 A escolha da variedade**

A definição estratégica, na escolha da variedade de cana-de-açúcar, representa a possibilidade de uso desse volumoso, com qualidade adequada, durante todo o período de entressafra das pastagens. As variedades de cana são agrupadas em função da época de maturação, isto é, classificam-se em precoce, média e tardia. Fazendas pecuárias raramente utilizam o conceito de maturação para determinar sua colheita.

A escolha correta da variedade é fundamental para o sucesso da lavoura e deve ser plantada uma ou mais variedades de cana-de-açúcar adaptadas às condições locais. Deve-se considerar a fertilidade do solo, o clima da região, e características desejáveis da cana, tais como alta produtividade, alto teor de açúcar, baixo teor de fibra em detergente neutro (FDN), boa rebrota e resistência a pragas e doenças. As atuais variedades de cana são formadas, na maioria, por híbridos interespecíficos, aos quais foram incorporadas características de tolerância a doenças e à seca (Gonçalves, 2008).

A escolha da variedade assume papel decisivo na produtividade da cultura e, conseqüentemente, possibilita produzir cana-de-açúcar de qualidade e com menor custo (Silveira et al., 2002).

## **2.5 Análise Térmica**

A Confederação Internacional de Análise Térmica e Calorimetria (ICTAC) define a Análise Térmica como “um grupo de técnicas nas quais uma propriedade física de uma substância, e/ou seus produtos de reação, é medida como função da temperatura, enquanto a substância é submetida a um programa controlado de temperatura”. Segundo esta definição para que uma técnica possa ser considerada como termoanalítica, é necessário satisfazer os seguintes

critérios: a medição efetuada tem de envolver uma propriedade física (entalpia, massa, temperatura, dimensão, características dinâmicas, entre outras), cuja medida deve ser expressa (direta ou indiretamente) em função da temperatura (ou do tempo) e realizar esta medição sob um programa controlado de temperatura (Forte, 2010).

A Análise Térmica não pode ser considerada apenas como um método qualitativo, pois proporciona resultados quantitativos termodinâmicos e cinéticos quanto às propriedades dos materiais com a vantagem do tempo reduzido de ensaio e a utilização de pequenas quantidades de amostras (Forte, 2010).

Segundo Ionashiro (2004) foram muitos anos de pesquisa em tentativas para se chegar a um conhecimento detalhado sobre as alterações que o aquecimento pode provocar na massa das substâncias, a fim de se poder estabelecer a faixa de temperatura em que se começa a decompor, bem como para se seguir o andamento de reações de desidratação, oxidação, decomposição, entre outros.

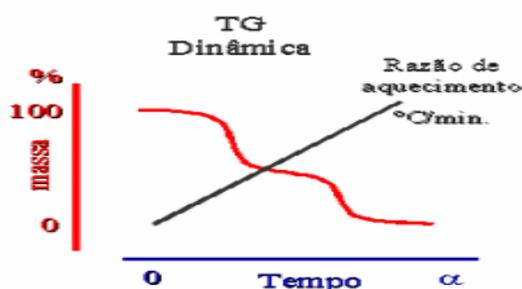
Os métodos termogravimétricos, Figura 1, podem ser classificados como: dinâmico (ou não-isotérmico) em que a perda de massa é registrada continuamente à medida que a temperatura aumenta a uma razão de aquecimento linear ou isotérmico, quando a variação de massa da amostra é registrada em função do tempo mantendo-se a temperatura constante; e quasi-isotérmico a medida que consiste, inicialmente em uma rampa de aquecimento e no momento em que a amostra começa a perder massa a temperatura é mantida constante até que a massa se estabilize, quando isto ocorre, o aquecimento é retomado, este procedimento pode se repetir em cada etapa da decomposição térmica (Lopes, 2005).

Alguns fatores podem influenciar o aspecto das curvas TG, estes podem ser instrumentais e/ou ligados às características da amostra. Dentre os fatores instrumentais, tem-se a razão de aquecimento do forno, atmosfera do forno, geometria do suporte de amostras e do forno. Já os fatores relacionados às características da amostra são: tamanho de partículas;

quantidade de amostra; solubilidade dos gases liberados na própria amostra; calor de reação; compactação da amostra; natureza da amostra; e condutividade térmica da amostra. É muito importante o conhecimento detalhado, por parte do operador, da ação destes fatores, para que se possa tirar o máximo proveito das curvas obtidas (Matos, 2009).

Nas curvas TG, a perda de massa (expressa no eixo vertical em percentagem) é caracterizada por duas temperaturas (no eixo horizontal)  $T_i$  e  $T_f$ . De acordo com Giolito e Ionashiro (1980),  $T_i$  é a temperatura inicial de decomposição e  $T_f$  é a temperatura final. A temperatura inicial de decomposição é a temperatura na qual a variação de massa acumulada atinge o valor que a termobalança é capaz de detectar. A temperatura final é a temperatura na qual a variação de massa acumulada atinge seu valor máximo de degradação, correspondendo ao término da reação. A diferença entre essas duas temperaturas ( $T_f - T_i$ ) é chamada de intervalo de reação.

A temperatura em que se inicia a perda de massa é a temperatura inicial do evento, ou seja, o ponto onde a amostra deixou de ser estável termicamente e iniciou a liberação de substâncias voláteis. A temperatura onset ( $T_{onset}$ ) corresponde ao início extrapolado do evento térmico, e na prática é utilizada nas análises das curvas, pois é mais fácil de ser determinada que a temperatura inicial. Já a temperatura de pico (ponto de inflexão da curva TG) é o momento em que a massa está variando mais rapidamente. A temperatura final, indica o final da etapa de perda de massa (liberação total das substâncias voláteis), e a temperatura endset ( $T_{endset}$ ) será o final do evento térmico extrapolado (Matos et al. 2009).



**Figura 1** - Representação das curvas TG dinâmica. Fonte: Adaptado de Aragão (2006).

Nas curvas termogravimétricas, os degraus em relação ao eixo das ordenadas, representam às variações de massa sofridas pela amostra e permitem a obtenção de dados que podem ser utilizados com finalidades quantitativas (Alves, 2007).

A TG é uma técnica analítica quantitativa e qualitativa, capaz de produzir resultados rápidos e reprodutíveis. Ela pode ser usada no controle de qualidade de medicamentos e no melhoramento do produto final (Aragão et al., 2006).

Outro dado importante obtido através da curva TG é a curva Termogravimétrica Derivada (DTG) que expressa a derivada primeira da variação de massa ( $m$ ) em relação ao tempo ( $dm/dt$ ), sendo registrada em função do tempo ou temperatura. Na curva DTG são obtidos picos cujas áreas são proporcionais a variação de massa da amostra, apresentando informações mais facilmente visualizadas (como eventos sobrepostos) em uma curva TG (Matos et al. 2009).

Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) é uma técnica na qual se mede a diferença de energia fornecida à substância e a um material de referência, termicamente inerte, em função da temperatura enquanto a substância e o material de referência são submetidos a uma programação controlada de temperatura (Ionashiro, 2004). As curvas DSC podem ser obtidas em dois diferentes tipos de equipamentos o DSC de compensação de potência e o DSC de fluxo de calor.

Na DSC de compensação de potência um calorímetro mede diretamente a energia envolvida nos eventos térmicos e a amostra e a referência sofrem resfriamento ou aquecimento em fornos idênticos, mas separados. Quando a amostra sofre alteração temperatura (evento endotérmico ou exotérmico) os termopares detectam esta diferença entre ela e a referência e o equipamento, automaticamente, modificam a potência de entrada de um dos fornos de modo a igualar a temperatura de ambos (Junior, 2004). Quando uma amostra sofre algum tipo de

mudança de estado físico ou químico, ocorre a liberação ou absorção de calor. A DSC mede as variações de energia térmica para manter em equilíbrio as temperaturas da amostra e do material de referência, durante o evento térmico (Souza, 2011).

Visando explorar o potencial químico e agrônômico de 12 variedades de cana-de-açúcar, foram escritos dois artigos, o artigo 1: Caracterização química e agrônômica de variedades de cana-de-açúcar estabelecidas no bioma Cerrado, redigido na norma da revista *Biomass & Bioenergy*. O artigo 2: Termografia de variedades de cana-de-açúcar estabelecidas no bioma cerrado, redigido nas normas da revista *Industrial Crops and Products*.

### 3. REFERÊNCIAS

ALVES, R. Estudo termoanalítico e compatibilidade fármaco-excipientes de rifampicina e alguns medicamentos utilizados na terapêutica da tuberculose. 2007. 90p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

ALFONSI, R. R.; PEDRO, M. J.; BRUNINI, O.; BARBIERI, V. (1987). Condições climáticas para a cana-de-açúcar. In: Paranhos, S. B (Ed.). Cana-de-açúcar: cultivo e utilização. São Paulo: Fundação Cargill. cap.1, v.1, p. 42-87.

ARAGÃO, C. F. S.; MACEDO, R. O.; MEDEIROS, M. A. P.; VIANA, F. L. M.; SILVA, I. D. D.; MIRANDA, N. A. **Estudo do comportamento termogravimétrico da Aloe barbadensis Mill (Liliaceae) e da Conyza bonariensis I (Compositae)**. Bio Farma – Rev. Téc. Cient. Farm. Bioquím. Anál. Clín. Toxicol., v. 1, n. 3, p. 172-180, 2006.

BARROS, T. H.S.; PEREIRA, A. P. A.; SOUZA, A. J.; RIBEIRO, N. L.; CARDOSO, E. J. B. N.; COELHO, R. D. **Influence of Sugarcane Genotype and Soil Moisture Level on the Arbuscular Mycorrhizal Fungi Community**. Sugar Tech, v. 20, p. 1-9, 2018. 10.1007/s12355-018-0640-0

BOIN, C.; MATTOS, W.R.S.; D'ARCE, R.D. **Cana-de-açúcar e seus subprodutos na alimentação de ruminantes**. In: PARANHOS, S.B. Cana-de-açúcar, cultivo e utilização. Campinas, Fundação Cargill. 1987. v.2, p.805-856.

BONOMO, P.; CARDOSO, C. M. M, Pedreira, M. S.; Santos, C. C.; Pires, A. J. V., & Silva, F.F, 2009. **Potencial forrageiro de variedades de cana-de-açúcar para alimentação de ruminantes**. Acta Scientiarum. Animal Sciences. 31, 53-59. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v31i1.498>

CAPONE, A.; LUIZ, J. J.; SILVA, T. R.; DIAS, M. A. R.; MELO, A. V. **Avaliação do comportamento de quinze cultivares de cana-de-açúcar na Região Sul do Tocantins**.

Journal of Biotechnology and Biodiversity, 2011, 2, 3, 72-80.  
<https://doi.org/10.20873/jbb.uft.cemaf.v2n3.capone>

CARRIER, M. ; LOPPINET-SERANI, A. ; DENUX, D. ; LASNIER, J. M. ; HAMPICHAVANT, F. ; CANSELL, F. ; AYMONIER, C. **Thermogravimetric analysis as a new method to determine the lignocellulosic composition of biomass.** Biomass and Bioenergy, v. 35, n. 1, p. 298–307, 2011. 10.1016/j.biombioe.2010.08.067

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Histórico da Safra de cana-de-açúcar 2021/22. SUREG: Espírito Santo, 2022. CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de cana.

GALINA, N. R.; LUNA, C. M. R.; ARCE, G. L. A. F.; ÁVILA, I. **Comparative study on combustion and oxy-fuel combustion environments using mixtures of coal with sugarcane bagasse and biomass sorghum bagasse by the thermogravimetric analysis.** Journal of the Energy Institute, v. 92, n. 3, p. 741–754, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.joei.2018.02.008>

DIOLA, V.; SANTOS, F. Fisiologia. In: SANTOS, F. et al. (Eds.). Cana-de-açúcar: bioenergia, açúcar e álcool – Tecnologias e perspectivas. Viçosa: UFV, 2010. p.25-49.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Yield response to water.** Rome: FAO, 1979. 197p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 33).

FORTE, C. A. D. Estudos de formação de co-cristais do Diflunisal com isômeros de piridina-carboxamida. [Dissertação]. Coimbra: Controle de Qualidade e Ambiente, Universidade de Coimbra, 2010.

GOODING, E. G. B. **Effect of quality of cane on its value as livestock feed.** Tropical Animal Production, Santo Domingo, v. 7, n. 1, p. 72-91, 1982.

GONÇALVES, E.R. Fotossíntese, osmorregulação e crescimento inicial de quatro variedades de cana-de-açúcar submetida à deficiência hídrica. 2008. 66 p. Dissertacao (Mestrado em Agronomia: Producao Vegetal) – Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, AL.

IONASHIRO, M.A. (2004). Fundamentos da termogravimetria análise térmica diferencial, calorimetria exploratória diferencial. (1ªed). Araraquara: Giz Editorial (Capítulo 1).

IONASHIRO, M.A.; GIOLITO, I. Nomenclatura, padrões e apresentação dos resultados em análise térmica. *Cerâmica*, São Paulo, v.26, n.121, p.17-24, 1980.

KLEIN, V. Características agronômicas, químicas, e bromatológicas de variedades de cana-de-açúcar para uso forrageiro. Dissertação (mestrado) – UFG, Jataí, Goiás. 39f, 2010.

LEAL, D. P. V.; COELHO, R. D.; BARBOSA, F. S.; FRAGA JÚNIOR, E. F.; MAURI, R.; SANTOS, L. C. Water productivity for sugar and biomass of sugarcane varieties. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Impresso)*, v. 21, p. 618-622, 2017. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n9p618-622>

ALVES, L. Q., FRANCO, P. N., ZANETTI, W. A. L., & GÓES, B. C. (2021). PERFORMANCE OF SUGARCANE CULTURE PRODUCTION IN THE MAIN PRODUCING STATES . **Revista Brasileira De Engenharia De Biosistemas**, 15(2), 303–317. <https://doi.org/10.18011/bioeng2021v15n2p303-3174>

LOPES, W. S. Síntese, caracterização e cinética da decomposição térmica de complexos de lantanídeos. 2005. 160p. Tese (doutorado) Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2005.

MACHADO, E. C.; PEREIRA, A. R.; FAHL, J. I.; ARRUDA, H. V.; CIONE, C. **Índices biométricos de duas variedades de cana-de-açúcar**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 17, n. 9, p. 1323-1329, set. 1982.

MATOS, J. R.; MERCURI, L.; BARROS, G. Análise térmica aplicada a fármacos e medicamentos. In: STORPIRTIS, S. et al. Biofarmacotécnica. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2009. cap. 4, p. 32 – 65.

OLIVEIRA, M. W. et al. Nutrição mineral e adubação da cana-de-açúcar. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.28, n.239, p.30-43, 2007.

OLIVEIRA, M.W. et al. Produção de cana-de-açúcar para a alimentação de bovinos. Alimentos

e alimentação animal. Guarujá –SP, Editora Científica Digital, cap.6, p. 82-114, 2021b.

PEREIRA, M. J.; SANTOS, R. L. dos; SILVA, C. J. C. da; ATAIDE, L. dos S. C.; SANTOS, R. V. de S.; MONTE, I. R. do; SILVA, I. C. da; SANTOS, J. A. dos; SANTOS, M. B. da. C. Development of sugarcane varieties under foliar application of Nitrogen. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 8, p. 1-18, 2020.

RODRIGUES A. de A.; CRUZ, G. M; BATISTA, L.A.R.; LANDELL, M.G. de A. **Efeito da qualidade de quatro variedades de cana-de-açúcar no ganho de peso de novilhas canchim.** In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 39., 2002. Recife. Anais...Recife: 2002.

REGO, F. et al. **Fast determination of lignocellulosic composition of poplar biomass by thermogravimetry.** *Biomass and Bioenergy*, v. 122, p. 375–380, mar. 2019.

SILVEIRA, L.C.I.; BARBOSA, M.H.P.; OLIVEIRA, M.W. **Manejo de variedades de cana-de-açúcar predominantes nas principais regiões produtoras de cachaça de Minas Gerais.** *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 23, n. 217, p. 25-32, 2002.

TAUPIER, L. O. G.; RODRIGUES, G. G. A cana-de-açúcar. In: CIDCA. *Manual dos derivados da cana-de-açúcar: diversificação, matérias primas, derivados do bagaço, derivados do melaço, outros derivados, resíduos, energia.* Brasília: ABIPTI, 1999. v. 1, cap. 2, p. 21-27.

VALADARES FILHO, S. C. et al. Otimização de dietas à base de cana-de-açúcar. In: *Simpósio de Produção de Gado de Corte*, 6. Anais. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2008. p.121-182.

## ARTIGO I

### **Caracterização química e agronômica de variedades de cana-de-açúcar estabelecidas no bioma Cerrado**

#### **Resumo**

O objetivo foi avaliar as características agronômicas, químicas e bromatológicas de 12 variedades de cana-de-açúcar para uso na alimentação de animais ruminantes. As variedades avaliadas foram: IAC: 86-2210; 86-2480; 87-3396; 93-6006, RB:72-454; 73-9735; 75-8540; 86-7515, e SP: 79-2233; 80-1842; 80-3280; 81-3250. Foram determinadas a altura (ALT), comprimento de colmo (CC), número de nó na planta (N. NÓ), distância entre nós (DEN), diâmetro (DIÂ), número de folhas, (NF), comprimento da folha (CF), largura da folha (LF), matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), carboidratos não fibrosos (CNF), digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS), digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica (DIVMO). O experimento foi instalado em delineamento de blocos casualizados em parcelas subdivididas. As correlações foram obtidas pela análise de correlação de Pearson e pelo teste *t*. A variedade RB 86-7515 apresentou o menor teor de FDN 43,68%, já a variedade IAC 93-6006 apresentou o maior teor com 50,21%. A ALT x CC apresentaram uma forte correlação ( $r = 0,727^{**}$ ). As variedades RB 86-7515 e RB 72-454 apresentaram maior viabilidade para utilização na alimentação de animais ruminantes.

**Palavras-chave:** cana-de-açúcar, massa seca de forragem, digestibilidade *in vitro*

## 1. Introdução

O bioma Cerrado possui um clima sazonal, com uma redução drástica na produção e qualidade da forragem no período da seca, sendo essa insuficiente para alimentação dos ruminantes, necessitando ser complementada com outras fontes de alimentos (D'Ottavio et al. 2018). Dessa forma a produtividade animal nos sistemas extensivos, varia de acordo com a oferta de pasto, permitindo ganhos razoáveis numa época e perda de peso em outra, resultando em baixos índices zootécnicos (Fernandes et al. 2003).

A cana-de-açúcar como opção forrageira tem sido utilizada como forma de minimizar os prejuízos enfrentados durante esse período, e é baseada no alto potencial de produção de matéria seca em um único corte durante o ano, facilidade de cultivo, baixo custo por unidade de matéria seca produzida, capacidade de manutenção do valor nutritivo por longo período de tempo e auto armazenamento no campo (Landell et al. 2002; França et al. 2005).

Outra característica relevante é que essa cultura possui alta produtividade de carboidratos que é armazenada naturalmente com o avanço do seu desenvolvimento, porém, com máximo de acúmulo ao final de sua maturação, esse processo está relacionado com o déficit hídrico que é acentuado na época da seca, o que favorece a utilização dessa espécie como volumoso de alto valor energético na época da entressafra de forragem nas pastagens (Da Cruz et al. 2014).

Apesar do elevado teor energético que essa forrageira disponibiliza para o animal, e da sua grande capacidade produtiva, trata-se de uma forrageira com baixos teores de PB, de lipídeos, minerais, alto teor de carboidratos de rápida fermentação no rúmen, ausência de amido, fibra de baixa digestibilidade e baixo consumo de matéria seca (Vilela et al. 2003).

Algumas características agronômicas relacionadas ao colmo, como altura, diâmetro produção e proporção desse componente na planta, permite identificar eventuais potencialidades produtivas entre diferentes cultivares, sendo importante o estudo dessas características como parâmetros indicativo do potencial de produção (Maia Júnior et al. 2018).

Apesar do alto investimento na cultura, em busca da aplicação de novas tecnologias visando o aumento da produtividade, ainda são poucos os trabalhos desenvolvidos com as variedades mais modernas e em diferentes ciclos de cultivo (Costa et al. 2011), sendo assim é de extrema importância conhecer as características da cana-de-açúcar em ciclos mais duradouros, para dessa forma viabilizar sua introdução na propriedade.

O estudo foi desenvolvido com o objetivo de caracterizar a composição química e agrônômica de variedades de cana-de-açúcar para a alimentação de ruminantes.

## **2. Material e Métodos**

### *2.1 Área experimental*

O experimento foi conduzido na Fazenda Escola da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, localizada no município de Terenos - MS, definidos pelas coordenadas geográficas de 20°26'46' de latitude Sul e 54°50'39' de longitude Oeste. Foram utilizadas doze variedades de cana-de-açúcar estabelecidas há dois anos na área, sendo as variedades utilizadas: (IAC: 86-2210; 86-2480; 87-3396; 93-6006, RB:72-454; 73-9735; 75-8540; 86-7515, e SP: 79-2233; 80-1842; 80-3280; 81-3250). O período experimental foi de setembro de 2017, com o corte de uniformização, a setembro de 2018.

### *2.2 Precipitação Pluviométrica*

Os dados mensais de precipitação e temperatura mínima, média e máxima durante o período experimental foram coletados no Centro de Monitoramento do Tempo, Clima e Recursos Hídricos de Mato Grosso do Sul (CEMTEC) (Figura 1).

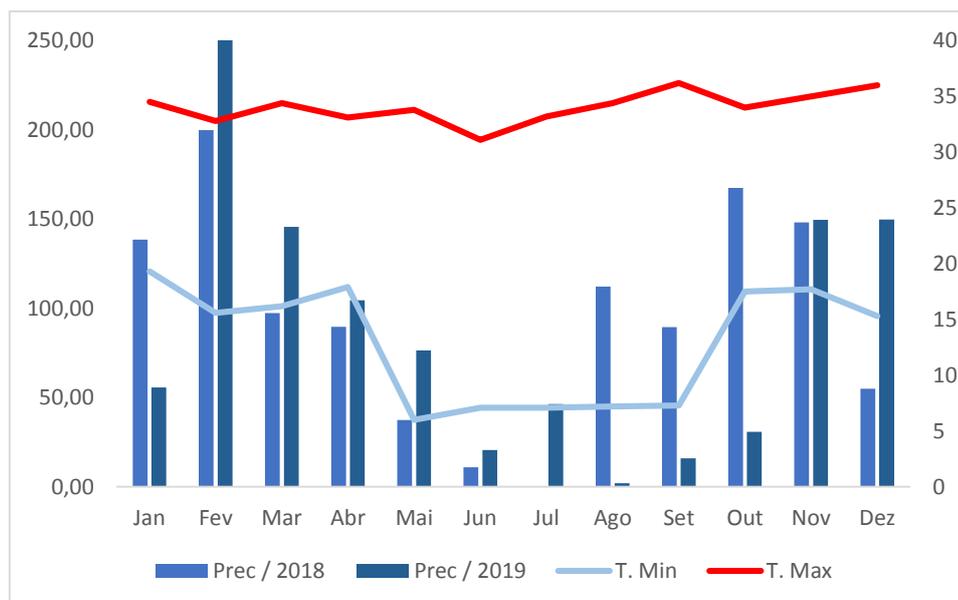


Figura 1 Precipitação pluvial (mm) e temperaturas máxima e mínima (°C) registradas durante o período experimental junho, julho, agosto, setembro, Fazenda Escola UFMS, Terenos – MS, 2018/2019 (Fonte: CEMTEC).

### 2.3 Caracterização química do solo

Antes da implantação da cana-de-açúcar na área experimental foi realizada a caracterização química de solo, sendo o solo coletado com o auxílio de um trado em 20 pontos amostrais em zigue - zague na camada de 0-20cm e encaminhado para o laboratório SIAL SOLO- Análises Laboratoriais Ltda. O solo da área experimental é caracterizado como Latossolo Vermelho Distrófico.

A cana-de-açúcar foi plantada em setembro de 2016, após o preparo solo com uma aração, duas gradagens e posterior abertura dos sulcos com 0,9 m entre linhas. O solo da área experimental apresentou na camada de 0 a 20 cm de profundidade.

Tabela 1 Análise química do solo

Camada	pH	P	MO	K	Ca	Mg	Al	H+Al	S	T
(cm)	(CaCl <sub>2</sub> )	Mg/dm <sup>3</sup>	g/kg				cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>			
0-20	5,9	8,3	33,5	0,11	5,9	4	0	5,7	9,98	15,68

CTC: capacidade de troca de cations.

Aos 30 e 60 dias após o plantio da cana-de-açúcar foram realizadas capinas com enxada para o controle das plantas daninhas. No plantio foi aplicado  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  no fundo do sulco, usando como fonte o superfosfato simples. Aos 90 dias após o plantio realizou-se a adubação de cobertura com  $90 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ , com cloreto de potássio, e  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de N na forma de ureia.

Em setembro de 2017 foi realizado o corte de uniformização e em outubro foi realizado adubação de cobertura com o formulado 8-20-20, sendo aplicado  $400 \text{ kg ha}^{-1}$ .

#### *2.4 Caracterização morfológica*

Para a caracterização agrônômica das doze variedades da cana-de-açúcar foram realizadas quatro coletas durante os meses de junho, julho, agosto e setembro por dois anos consecutivos 2018 e 2019.

Foram coletadas duas amostras de planta inteira de duas touceiras de forma aleatória para a separação morfológica, separando em folha, colmo e material morto, mensurando a altura da planta, altura do último entre nó exposto, número de entre nós, distância entre nós, diâmetro do colmo, número de folhas, comprimento de folha, largura da folha.

#### *2.5 Altura da planta*

A altura foi determinada por meio de medição, com trena graduada em metros, da distância entre o solo até a ponta da folha mais alta. Comprimento do colmo foi medido com fita métrica (no campo) da base até o último entrenó. Para o diâmetro de colmos foi utilizada uma fita métrica, sendo realizada as medidas no meio, base, ápice da planta. Os valores de número de entrenós foram obtidos por meio da contagem de entrenós do colmo durante a biometria do experimento.

O comprimento médio (cm) do entrenó foi calculado através da divisão do comprimento do colmo pelo número de entrenó. A contagem foi efetuada de maneira direta nos colmos utilizados

para a contagem do número de perfilhos no metro linear. As folhas foram selecionadas para a avaliação biométrica, sendo medidas com o auxílio de uma trena ao comprimento da folha, desde a ponta até a bainha da folha.

### *2.6 Análise bromatológica*

Após a separação morfológica as amostras foram pesadas e colocadas para a secagem em estufa de ventilação forçada, a 55°C por 72 horas, posteriormente, moídas em moinho de facas tipo Willey e destinadas para determinação dos teores de matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), matéria mineral (MM), proteína bruta (PB) e fibra em detergente neutro (FDN) conforme procedimentos descritos por AOAC (1996).

### *2.7 Digestibilidade in vitro*

A digestibilidade *in vitro* foi realizada utilizando-se técnica modificada de Tilley e Terry (1963) adaptada ao Sistema Ankom DaisyII (Ankom Technology Corp., Macedônia, NY, EUA) como descrito por Holden (1999), por meio do equipamento DAISY.

### *2.8 Carboidratos não fibrosos*

As frações que compõem os carboidratos não fibrosos foram estimadas conforme Sniffen et al. (1992), em que foram obtidos pela fórmula:  $CNF = 100 - (PB + FDN + MM + EE)$ .

### *2.9 Análise Estatística*

Os dados foram submetidos à análise de variância levando em consideração um delineamento em blocos casualizados em parcela subdividida. O efeito das cultivares foi alocado na parcela e o dos anos de avaliação (1 e 2) na subparcela. Utilizou-se o seguinte

modelo:  $Y_{ijk} = \mu + B_j + C_i + \alpha_{ij} + A_k + (C \cdot D)_{ik} + \beta_{ijk}$ ;  $Y_{ijk}$  = valor observado na cultivar  $i$ , bloco  $j$ , dia  $k$ ;  $\mu$  = efeito médio geral;  $B_j$  = efeito do bloco  $J$ ;  $i$  = efeito da cultivar  $i$ ,  $\alpha_{ij}$  = efeito do erro aleatório atribuído à parcela;  $A_k$  = efeito do ano de avaliação  $k$ ,  $(CD)_{ik}$  = efeito da interação entre a cultivar e o ano;  $\beta_{ijk}$  = erro aleatório atribuído à subparcela. Quando significativos pelo teste  $F$ , as cultivares foram comparadas pelo teste de Scott-Knott a um nível de significância de 5%.

As variáveis foram submetidas a análise de variância de acordo com o seguinte modelo:  $Y_{ij} = \mu + C_i + B_j + \alpha_{ij}$ , em que:  $Y_{ij}$  = valor observado na cultivar  $i$ , bloco  $j$ ;  $\mu$  = efeito médio geral;  $C_i$  = efeito da cultivar  $i$ ;  $B_j$  = efeito do bloco  $j$ ;  $\alpha_{ij}$  = efeito do erro aleatório. Quando significativos pelo teste  $F$ , as cultivares foram comparadas pelo teste de Scott-Knott a um nível de significância de 5%.

As correlações foram obtidas pela análise de correlação de Pearson e pelo teste  $t$ , considerando significância em  $P \leq 0,05$ .

## **Resultados**

Com relação a produtividade notou-se que o rendimento de Matéria Seca (MS) da cana-de-açúcar apresentou resultado condicionado à produção de matéria natural (MN), conforme a (tabela 2). Sobretudo houveram quatro variedades que se destacaram apresentando produção acima de 30 toneladas de MS por hectare, sendo elas as variedades SP 80-3280, SP 79-2233, IAC 93-6006, IAC 86-2480, com 37,71, 35,5, 33,57 e 31,38 t/MS/ha respectivamente.

Tabela 2 Produtividade avaliadas em variedades de cana-de-açúcar estabelecidas no bioma Cerrado.

Variedades	MN	MS
	t/ha	
IAC 86-2210	107,17	24,11
IAC 86-2480	117,34	31,38
IAC 87-3396	97,20	26,23
IAC 93-6006	125,24	33,57
RB 72-454	82,18	21,37
RB 73-9735	85,72	18,65
RB 75-8540	84,73	18,72
RB 86-7515	92,81	22,02
SP 80-1842	79,58	21,42
SP 81-3250	105,47	25,90
SP 80-3280	145,23	37,71
SP 79-2233	139,53	35,50
Média	105,18	26,38
Desvio-padrão	17,73	5,13

Médias e desvio padrão; MN= produção de matéria natural; MS= produção de matéria seca.

A Alt diferiu entre os anos ( $P < 0,0001$ ) variando de 3,91m em 2018 a 3,49m em 2019 (Tabela 3). Para os dados de DIÂ (Tabela 3) houve diferença entre os anos ( $P < 0,0001$ ) apresentando médias de 9,78 cm para o ano de 2018 e 8,94 cm em 2019. Apresentando uma moderada redução no diâmetro de um ano para o outro.

O NF (Tabela 3) apresentou diferença entre os anos ( $P = 0,0009$ ), apresentando médias de 9,47 em 2018 e 8,67 em 2019 no qual foi observada uma redução no NF em 2019.

Tabela 3 Características morfológicas de variedades de cana-de-açúcar estabelecidas no bioma Cerrado nos anos 2018-2019.

Variáveis	2018	2019	EMP
Alt (cm)	391 <sup>a</sup>	349 <sup>b</sup>	0,0423
CC (cm)	187 <sup>a</sup>	144 <sup>b</sup>	0,0336
N. Nó	14,5 <sup>a</sup>	10,6 <sup>b</sup>	0,4126
DEN (cm)	13,6 <sup>a</sup>	14,0 <sup>a</sup>	0,3281
DIA (cm)	9,7 <sup>a</sup>	8,9 <sup>b</sup>	0,1382
NF	9,4 <sup>a</sup>	8,6 <sup>b</sup>	0,1676
CF(cm)	1,4 <sup>a</sup>	1,4 <sup>a</sup>	0,0171
LF(cm)	3,5 <sup>a</sup>	3,6 <sup>a</sup>	0,0656

ALT: Altura (m); CC: Comprimento de colmo (m); N. NÓ: Número de nó na planta; DEN: Distância entrenós (cm); DIA: Diâmetro (cm); NF: Número de folhas; CF: Comprimento da folha (cm), LF: Largura da folha (cm). Médias seguidas por letras distintas na linha diferem ( $P < 0,05$ ) pelo teste de Scott-Knott.

A altura da planta diferiu ( $P > 0,0001$ ) entre as variedades (Tabela 3) destacando-se a variedade RB 86-7515 que apresentou a maior altura com 4,10m, a variedade SP 80-1842 apresentou a menor média com 3,36m. O NF e o CF diferiu entre as variedades, destacando a variedade SP 79-2233 que apresentou a maior média com 10,43 para o NF e 1,57cm para o CF na variedade RB 75-8540.

Resultados obtidos para a PB da folha (Tabela 4) diferiram entre as variedades, variando de 5,52% para a variedade SP 81-3250 a 7,31% para a variedade SP 79-2233.

Os teores de FDN da folha (Tabela 4) apresentaram resultados que oscilaram de 71,91% para a variedade RB 72-454 a 78,20% para a variedade IAC 86-2210. Para a variável FDA do colmo (Tabela 4) os resultados oscilaram de 32,10% para a variedade RB 75-8540 a 38,85% para a variedade IAC 93-6006.

Tabela 4 Composição químicas de variedades de cana-de-açúcar

	IAC 86- 2210	IAC 86- 2480	IAC 87- 3396	IAC 93- 6006	RB 72- 454	RB 73- 9735	RB 75- 8540	RB 86- 7515	SP 81- 3250	SP 80-3280	SP 79- 2233	SP 80- 1842	EPM
	Folha												
MS	29,31	30,76	25,51	26,78	26,04	28,54	24,75	25,50	27,69	28,74	27,11	24,93	
PB	6,13 <sup>c</sup>	5,52 <sup>d</sup>	6,10 <sup>c</sup>	6,27 <sup>c</sup>	6,84 <sup>b</sup>	6,50 <sup>b</sup>	6,43 <sup>b</sup>	7,31 <sup>a</sup>	5,79 <sup>d</sup>	6,24 <sup>c</sup>	6,73 <sup>b</sup>	5,72 <sup>d</sup>	0,2057
FDN	76,56 <sup>b</sup>	75,46 <sup>b</sup>	71,91 <sup>c</sup>	78,20 <sup>a</sup>	75,25 <sup>b</sup>	74,64 <sup>c</sup>	73,28 <sup>c</sup>	74,56 <sup>c</sup>	76,14 <sup>b</sup>	75,79 <sup>b</sup>	73,36 <sup>c</sup>	77,58 <sup>a</sup>	0,7115
FDA	55,25 <sup>a</sup>	51,34 <sup>b</sup>	47,93 <sup>c</sup>	53,90 <sup>a</sup>	49,08 <sup>c</sup>	48,14 <sup>c</sup>	53,13 <sup>a</sup>	48,09 <sup>c</sup>	50,67 <sup>b</sup>	50,84 <sup>b</sup>	50,58 <sup>b</sup>	46,62 <sup>c</sup>	1,1866
DIVMS	39,78 <sup>a</sup>	42,96 <sup>a</sup>	44,74 <sup>a</sup>	39,25 <sup>a</sup>	44,70 <sup>a</sup>	41,94 <sup>a</sup>	42,44 <sup>a</sup>	42,55 <sup>a</sup>	43,12 <sup>a</sup>	42,53 <sup>a</sup>	39,20 <sup>a</sup>	41,59 <sup>a</sup>	1,4051
DIVMO	96,54 <sup>b</sup>	96,61 <sup>b</sup>	96,87 <sup>a</sup>	96,80 <sup>a</sup>	96,59 <sup>b</sup>	96,50 <sup>b</sup>	97,01 <sup>a</sup>	96,29 <sup>b</sup>	97,09 <sup>a</sup>	96,92 <sup>a</sup>	96,63 <sup>b</sup>	97,03 <sup>a</sup>	0,1451
CNF	10,65 <sup>b</sup>	11,25 <sup>b</sup>	14,98 <sup>a</sup>	8,46 <sup>b</sup>	11,24 <sup>b</sup>	11,27 <sup>b</sup>	12,04 <sup>b</sup>	9,58 <sup>b</sup>	10,75 <sup>b</sup>	9,63 <sup>b</sup>	11,37 <sup>b</sup>	9,56 <sup>b</sup>	0,9790
	Colmo												
MS	26,31 <sup>a</sup>	25,88 <sup>a</sup>	25,54 <sup>a</sup>	23,55 <sup>b</sup>	24,23 <sup>b</sup>	23,09 <sup>b</sup>	23,50 <sup>b</sup>	24,58 <sup>b</sup>	26,20 <sup>a</sup>	24,01 <sup>b</sup>	23,92 <sup>b</sup>	24,53 <sup>b</sup>	0,8121
PB	1,87 <sup>b</sup>	1,88 <sup>b</sup>	2,46 <sup>a</sup>	2,20 <sup>b</sup>	2,11 <sup>b</sup>	2,42 <sup>a</sup>	2,46 <sup>a</sup>	2,14 <sup>b</sup>	2,08 <sup>b</sup>	2,01 <sup>b</sup>	2,36 <sup>a</sup>	2,05 <sup>b</sup>	0,0990
FDN	48,32 <sup>a</sup>	49,62 <sup>a</sup>	45,20 <sup>c</sup>	49,40 <sup>a</sup>	47,43 <sup>b</sup>	51,13 <sup>a</sup>	45,64 <sup>c</sup>	49,82 <sup>a</sup>	48,88 <sup>a</sup>	47,52 <sup>b</sup>	48,27 <sup>a</sup>	47,36 <sup>b</sup>	0,7197
FDA	35,01 <sup>b</sup>	37,88 <sup>a</sup>	33,66 <sup>b</sup>	36,96 <sup>a</sup>	32,86 <sup>b</sup>	38,85 <sup>a</sup>	32,10 <sup>b</sup>	36,53 <sup>a</sup>	36,90 <sup>a</sup>	35,55 <sup>a</sup>	36,54 <sup>a</sup>	33,57 <sup>b</sup>	0,9282
DIVMS	62,63 <sup>a</sup>	61,21 <sup>b</sup>	63,97 <sup>a</sup>	60,56 <sup>b</sup>	64,32 <sup>a</sup>	61,53 <sup>b</sup>	61,66 <sup>b</sup>	63,42 <sup>a</sup>	62,72 <sup>a</sup>	63,04 <sup>a</sup>	59,89 <sup>b</sup>	62,87 <sup>a</sup>	0,9067
DIVMO	96,95 <sup>a</sup>	96,52 <sup>b</sup>	96,62 <sup>b</sup>	97,24 <sup>a</sup>	96,25 <sup>c</sup>	96,59 <sup>b</sup>	95,94 <sup>c</sup>	95,89 <sup>c</sup>	96,30 <sup>c</sup>	96,50 <sup>b</sup>	96,68 <sup>b</sup>	96,59 <sup>b</sup>	0,1836
CNF	50,07 <sup>a</sup>	48,51 <sup>b</sup>	53,03 <sup>a</sup>	48,77 <sup>b</sup>	50,78 <sup>a</sup>	46,99 <sup>b</sup>	53,11 <sup>a</sup>	44,28 <sup>c</sup>	49,20 <sup>b</sup>	50,41 <sup>a</sup>	49,20 <sup>b</sup>	52,73 <sup>a</sup>	1,1121

MS: matéria seca (%); MO: matéria orgânica, PB: proteína bruta (% MS); FDN: fibra em detergente neutro (% MS); FDA: fibra em detergente ácido (% MS); CNF: carboidratos não fibrosos (% MS); DIVMS: digestibilidade *in vitro* da matéria seca (% MS); DIVMO: digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica (% MS). Médias seguidas por letras distintas na linha diferem ( $P < 0,05$ ) pelo teste de Scott-Knott.

Tabela 5 Produtividade avaliadas em variedades de cana-de-açúcar estabelecidas no bioma Cerrado.

Variedades	Alt (cm)	CC (cm)	N. Nó	DEN (cm)	DIÂ (cm)	NF	CF (cm)	LF (cm)
IAC 86-2210	352 <sup>b</sup>	11,8 <sup>a</sup>	11,8 <sup>a</sup>	12,9 <sup>b</sup>	9,2 <sup>a</sup>	7,8 <sup>b</sup>	154 <sup>a</sup>	3,6 <sup>a</sup>
IAC 86-2480	372 <sup>a</sup>	12,6 <sup>a</sup>	12,6 <sup>a</sup>	14,1 <sup>a</sup>	9,6 <sup>a</sup>	8,6 <sup>b</sup>	145 <sup>b</sup>	3,6 <sup>a</sup>
IAC 87-3396	379 <sup>a</sup>	12,1 <sup>a</sup>	12,1 <sup>a</sup>	14,7 <sup>a</sup>	9,5 <sup>a</sup>	8,1 <sup>b</sup>	148 <sup>b</sup>	3,7 <sup>a</sup>
IAC 93-6006	358 <sup>b</sup>	11,4 <sup>a</sup>	11,4 <sup>a</sup>	14,5 <sup>a</sup>	9,4 <sup>a</sup>	8,9 <sup>b</sup>	143 <sup>b</sup>	3,5 <sup>a</sup>
RB 72-454	378 <sup>a</sup>	12,5 <sup>a</sup>	12,5 <sup>a</sup>	14,6 <sup>a</sup>	8,8 <sup>a</sup>	8,8 <sup>b</sup>	154 <sup>a</sup>	3,4 <sup>a</sup>
RB 73-9735	391 <sup>a</sup>	13,6 <sup>a</sup>	13,6 <sup>a</sup>	13,9 <sup>a</sup>	9,2 <sup>a</sup>	9,4 <sup>a</sup>	139 <sup>b</sup>	3,6 <sup>a</sup>
RB 75-8540	348 <sup>b</sup>	11,6 <sup>a</sup>	11,6 <sup>a</sup>	11,8 <sup>b</sup>	9,4 <sup>a</sup>	9,5 <sup>a</sup>	157 <sup>a</sup>	3,4 <sup>a</sup>
RB 86-7515	410 <sup>a</sup>	14,0 <sup>a</sup>	14,0 <sup>a</sup>	13,8 <sup>a</sup>	9,5 <sup>a</sup>	9,5 <sup>a</sup>	152 <sup>a</sup>	3,3 <sup>a</sup>
SP 80-1842	336 <sup>b</sup>	13,5 <sup>a</sup>	13,5 <sup>a</sup>	11,4 <sup>b</sup>	9,4 <sup>a</sup>	9,1 <sup>a</sup>	143 <sup>b</sup>	3,2 <sup>a</sup>
SP 81-3250	369 <sup>a</sup>	12,5 <sup>a</sup>	12,5 <sup>a</sup>	15,3 <sup>a</sup>	9,5 <sup>a</sup>	8,8 <sup>b</sup>	145 <sup>b</sup>	3,9 <sup>a</sup>
SP 80-3280	375 <sup>a</sup>	12,4 <sup>a</sup>	12,4 <sup>a</sup>	14,2 <sup>a</sup>	8,7 <sup>a</sup>	9,6 <sup>a</sup>	147 <sup>b</sup>	3,4 <sup>a</sup>
SP 79-2233	376 <sup>a</sup>	13,3 <sup>a</sup>	13,3 <sup>a</sup>	14,3 <sup>a</sup>	9,8 <sup>a</sup>	10,4 <sup>a</sup>	136 <sup>b</sup>	3,8 <sup>a</sup>
EPM	0,1037	10,107	10,107	0,8038	0,3387	0,4106	0,0418	0,1606
<i>P</i>	0,0001	0,7573	0,7573	0,0194	0,5284	0,0014	0,015	0,0805

ALT: Altura da planta (m); CC: Comprimento de colmo (cm); N. NÓ: Número de nó na planta; DEN: Distância entrenós (cm); DIÂ: Diâmetro do colmo (cm); NF: Número de folhas; CF: Comprimento da folha (cm), LF: Largura da folha (cm). Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem ( $P < 0,05$ ) pelo teste de Scott-Knott.

A MS da folha apresentou correlação significativa entre a MO ( $r = 0,258$ ) e PB ( $-0,288$ ) (Tabela 6), no qual a correlação é considerada fraca. Correlacionando o par FDN x FDA do colmo, observou-se uma forte correlação entre as duas variáveis apresentando ( $r = 0,810$ ).

As correlações entre os pares FDN x DIVMS; FDA x DIVMS da folha e do colmo se correlacionaram negativamente (Tabela 6).

Tabela 6 Coeficiente de correlação (r) entre as variáveis químicas avaliadas das variedades de cana-de-açúcar estabelecidas no bioma Cerrado nos anos.

Item	Coeficiente de Correlação					
	MS	MO	PB	FDN	FDA	DIVMS
<i>Folha</i>						
MS	-	-	-	-	-	-
MO	0,258*	-	-	-	-	-
PB	-0,288**	-0,480**	-	-	-	-
FDN	-0,144 <sup>ns</sup>	-0,182 <sup>ns</sup>	0,238 <sup>ns</sup>	-	-	-
FDA	0,047 <sup>ns</sup>	-0,120 <sup>ns</sup>	0,241 <sup>ns</sup>	0,438**	-	-
DIVMS	0,013 <sup>ns</sup>	0,214 <sup>ns</sup>	-0,264*	-0,380**	-0,637**	-
DIVMO	-0,029 <sup>ns</sup>	0,145 <sup>ns</sup>	-0,171 <sup>ns</sup>	0,047 <sup>ns</sup>	-0,125 <sup>ns</sup>	0,137 <sup>ns</sup>
<i>Colmo</i>						
MS	-	-	-	-	-	-
MO	0,657**	-	-	-	-	-
PB	-0,513**	-0,264*	-	-	-	-
FDN	-0,431**	-0,534**	0,083 <sup>ns</sup>	-	-	-
FDA	-0,299**	-0,416**	-0,053 <sup>ns</sup>	0,810**	-	-
DIVMS	0,416**	0,443**	-0,145 <sup>ns</sup>	-0,642**	-0,710**	-
DIVMO	-0,001 <sup>ns</sup>	0,00075 <sup>ns</sup>	-0,158 <sup>ns</sup>	0,109 <sup>ns</sup>	0,138 <sup>ns</sup>	-0,094 <sup>ns</sup>

MS: matéria seca (%); MO: matéria orgânica, PB: proteína bruta (% MS); FDN: fibra em detergente neutro (% MS); FDA: fibra em detergente ácido (% MS); CNF: carboidratos não fibrosos (% MS); DIVMS: digestibilidade *in vitro* da matéria seca (% MS); DIVMO: digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica (% MS); (\*>0,0001); (\*\*<0,0001).

A altura das plantas é uma das principais variáveis indicadoras de produtividade na cultura da cana-de-açúcar. Dentre as correlações dos atributos da Alt (Tabela 7), foram significativos os pares Alt x CC ( $r = 0,727^{**}$ ), Alt x N. Nó ( $r = 0,417^{**}$ ), Alt x DIÂ ( $r = 0,273^{**}$ ), Alt x NF ( $r = 0,409^{**}$ ). As variáveis Alt x CC foram as que apresentaram forte correlação, mostrando que conforme aumenta a Alt aumenta o CC.

O DIÂ apresentou uma correlação positiva com a Alt, porém a correlação foi fraca (Tabela 7). Houve correlação significativa entre CC x N. Nó ( $r = 0,737^{**}$ ) e CC x NF ( $r = 0,252^*$ ) (Tabela 7). Assim como o diâmetro do colmo, o número de entrenós das cultivares de cana-de-açúcar pode estar relacionado às características inerentes a cultivar.

Tabela 7 Coeficiente de correlação (r) entre as variáveis agronômicas das variedades de cana-de-açúcar estabelecidas no bioma Cerrado.

Coeficiente de Correlação							
Variáveis	Alt	CC	N. NÓ	DEN	DIÂ	NF	CF
Alt	-	-	-	-	-	-	-
CC	0,727**	-	-	-	-	-	-
N. Nó	0,417**	0,737**	-	-	-	-	-
DEN	0,150 <sup>ns</sup>	0,104 <sup>ns</sup>	-0,580**	-	-	-	-
DIÂ	0,273**	0,059 <sup>ns</sup>	-0,098 <sup>ns</sup>	0,330**	-	-	-
NF	0,409**	0,252*	0,080 <sup>ns</sup>	0,116 <sup>ns</sup>	0,297**	-	-
CF	0,184 <sup>ns</sup>	0,179 <sup>ns</sup>	-0,175 <sup>ns</sup>	0,140 <sup>ns</sup>	-0,029 <sup>ns</sup>	0,062 <sup>ns</sup>	-
LF	0,119 <sup>ns</sup>	0,009 <sup>ns</sup>	-0,199 <sup>ns</sup>	0,314**	0,454**	0,192 <sup>ns</sup>	-0,080 <sup>ns</sup>

ALT: Altura da planta (m); CC: Comprimento de colmo (m); N. NÓ: Número de nó na planta; DEN: Distância entrenós (cm); DIÂ: Diâmetro do colmo (cm); NF: Número de folhas; CF: Comprimento da folha (cm), LF: Largura da folha (cm); (\*>0,0001); (\*\*<0,0001).

#### 4. Discussão

As cultivares (tabela 2) IAC 86-2210, IAC 86-2480, IAC 93-6006 obtiveram produtividade maior do que em estudo realizado por Abreu et al. (2014), onde essas variedades apresentaram uma produção de menos de 100t/ha de MN, no entanto a cultivar IAC 86-2480 em estudo realizado por Cruz et al. (2014) também obteve produção acima de 100 ton/há de matéria verde.

Comparando os resultados encontrados com a variedade IAC 862480 *in natura*, Oliveira et al. (2002), encontrou média de (52,3%; 64,2%) para a DIVMS, estando semelhantes as médias obtidas no presente trabalho. Os resultados inferiores encontrados nesse experimento estão correlacionados a concentração de FDN e FDA das variedades estudadas. O incremento do teor de fibra leva a decréscimos nos valores da digestibilidade “*in vitro*” da matéria seca (Nussio et al., 1998). Pate et al. (2001), concluíram que os componentes fibrosos estiveram negativamente correlacionados com a degradabilidade *in vitro*, indicando que o valor

nutricional de variedades de cana de açúcar é variável, devendo-se dar ênfase ao baixo conteúdo da fração fibrosa, ao se selecionar uma variedade com o propósito de alimentação animal.

Para Voltolini et al. (2012) a cana-de-açúcar é utilizada como ingrediente volumoso de rações para animais ruminantes, de forma a proporcionar também considerável aporte de CNF, o que enriquece o aporte energético nas dietas dos animais. Assim, a avaliação da cana-de-açúcar para uso na alimentação animal deve considerar também o teor de CNF. Os resultados encontrados nesse estudo corroboram com os de Giacomini et al. (2014) que encontraram teores de CNF na cana-de-açúcar de 48,0; 57,5; 39,9; 41,8 % para os anos de 2007, 2009, 2010,2011.

Os CNF são rapidamente fermentados no rúmen e são de fácil aproveitamento pelo animal, sendo que e na cana-de-açúcar os CNF são representados quase que exclusivamente por sacarose, pequena quantidade de amido, glicose e frutose. Dessa forma, a porcentagem de CNF é importante do ponto de vista da alimentação animal, pois com o aumento da porcentagem de sacarose, aumenta a digestibilidade da matéria seca da cana-de-açúcar (Pádua et al. 2012).

A altura da planta relatada na tabela 3 diferiu entre os anos variando de 391cm em 2018 a 349cm em 2019, no qual pode ser justificado pela interferência de fatores abióticos, fato este que pode ser justificado pela (Figura 2) que apresentou um déficit hídrico em 2019. Para Silva et al. (2013) a alteração do crescimento em altura é considerada um dos principais sintomas de estresse hídrico.

Na (tabela 5) para a variedade RB 86-7515 foi observada uma altura de 410 cm, no qual diferiu entre as variedades. Magalhães et al. (2018) encontraram para a variedade RB 86-7515 altura de 466 cm quando comparado com outras variedades. Moraes et al. (2017) observaram em seu estudo que há baixa variabilidade no comprimento de colmo para variedades de grupos de maturação semelhantes. Porém, essa característica está diretamente ligada à produtividade

final, havendo correlação entre as variáveis. O comprimento e o número de folhas são características bastante variáveis entre cultivares de cana-de-açúcar, sendo considerados bons indicadores na seleção de cultivares (Holanda et al. 2014).

O DIÂ do colmo (tabela 3) diferiu entre os anos, apresentando médias de 9,78cm a 8,94cm, os resultados obtidos no presente estudo corroboram com Oliveira et al. (2014) no qual notaram que a taxa de crescimento aumenta até seu máximo, após isso acontece uma diminuição progressiva até o fim do ciclo, ressalta que o diâmetro médio do colmo apresenta baixa variação, por resultar da característica intrínseca de cada variedade número de plantas e condições ambientais.

O número de folhas relatado na (tabela 4) diferiu entre os anos apresentando médias de 9,47 a 8,67 sendo observada uma redução no número de folhas no ano de 2019, podendo ser justificado pela deficiência hídrica sofrida pelas cultivares nos anos de 2019. Os dados obtidos no presente estudo estão de acordo com Smit e Singels, (2006) relatando que a senescência foliar está relacionada à deficiência hídrica e, conseqüentemente, a redução no surgimento de novas folhas, significando uma queda nas atividades metabólicas da planta. A redução do número de folhas verdes tem sido relatada em plantas de cana-de-açúcar com deficiência hídrica (Inman - Bamber, 2005).

O número de folhas indica a capacidade fotossintética da planta, além de contribuir na produção de biomassa, portanto, a largura foliar pode ser um bom parâmetro morfológico para seleção de cultivares de cana-de-açúcar, uma vez que as cultivares de cana-de-açúcar que se sobressaem quanto às dimensões foliares tendem a ser mais produtivas (Pincelli e Silva, 2012).

O número de colmos, seguido por altura, são as variáveis que mais se correlacionam com a produtividade de colmos (Ferreira et al. 2007). O diâmetro do colmo pode estar relacionado, ainda, com as características de cada cultivar. Oliveira et al. (2014) avaliaram o desempenho agrotecnológico de variedades de cana-de-açúcar e concluíram que o diâmetro do

colmo é a variável com menor variação, já que depende das características genéticas da variedade, do número de perfilhos, do espaçamento utilizado, da área foliar e das condições ambientais.

## **5. Conclusões**

As variedades de cana-de-açúcar RB 86-7515 e RB 72-454 foram as que tiveram melhor desempenho, apresentaram maior viabilidade para utilização na alimentação de animais ruminantes no Bioma Cerrado, pois se mostraram mais produtivas e eficientes em seus aspectos nutricionais.

## Referências

Association of official analytical chemists – AOAC, 1996. Official methods of analysis. 16<sup>a</sup> ed. Arlington: AOAC International, 1025.

A. A. O. Primavessi, S. N. Esteves. **Efeito da qualidade de variedades de cana-de-açúcar sobre seu valor como alimento para bovinos.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.32, 1997.

A. A. Giacomini, K. Batista, J. B. Andrade, M. L. P. Lima, L. Gerdes, W. T. M. Mattos, I. P. Otsuk, M. T. Colozza, E. Ferrari Júnior. **Potencial de cana-de-açúcar sucroalcooleira para alimentação de ruminantes ao longo do ciclo da cultura.** Boletim Indústria Animal, v71, 2014. <https://doi.org/10.17523/bia.v71n1p8>

A. P. Pinto, E. S. Pereira. I. Y. Mizubuti. Características nutricionais e formas de utilização da cana-de-açúcar na alimentação de ruminantes. Semina: Ciências Agrárias, v.24, 2003. 10.5433/1679-0359.2003v24n1p73

C. J. Sniffen, J. D. O'Connor, P. J. Van SOEST. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. carbohydrate and protein availability. Journal of Animal Science, v70, 1992. <https://doi.org/10.2527/1992.70113562x>

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

E. G. B. Gooding Effect of quality of cane on its value as livestock feed. Tropical Animal Production, v7, 1982.

F. M. Ferreira, W. S. Barros, F. L. Silva, M. H. P. Barbosa, C. D. Cruz, I. T. Bastos. Relações fenotípicas e genotípicas entre componentes de produção em cana-de-açúcar. Bragantia, v66, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052007000400010>

F. M. O. Oliveira, P. B. Aguilar, M. F. F. Teixeira, I. Aspiazú, F. P. Monção, A. P. S. Antunes. Características agrotecnológicas de cana-de-açúcar em diferentes épocas de supressão de

irrigação e níveis de adubação. *Semina: Ciências Agrárias*, v35, 2014. DOI: 10.5433/1679-0359.2014v35n3p1587

F. M. Pate, J. Alvarez, J. D, Phillips, B. R. Eiland. Sugarcane as a cattle feed: production and utilization. Florida: University of Florida/ Cooperative Extension Service, v25, 2001.

F. T. Pádua, C. A. A. Fontes, J. T. L, Thiébaud, B. B. Deminics, J. C. C. Almeida, R. P. Araujo, 2012. Produção, composição química e degradabilidade ruminal in situ de cultivares de cana-de-açúcar. *Archivos de Zootecnia*, v61, 2012. <https://dx.doi.org/10.4321/S0004-05922012000300006>

G. J. Carvalho, L.A.B. Andrade, A. R. Evangelista. Avaliação do potencial forrageiro de cinco variedades de cana-de-açúcar (ciclo de ano) em diferentes estádios de desenvolvimento. *STAB*, v11, 1993.

J. A. G. Azevêdo, J. C. Pereira, A. C. Queiroz, P. C. S. Carneiro, R. P. Lana, M. H. P. Barbosa, A. M. Fernandes, F. P. Rennó. Composição químico-bromatológico, fracionamento de carboidratos e cinética da degradação in vitro da fibra de três variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum ssp.*). *Revista Brasileira de Zootecnia*. v31, 2003. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982003000600019>

J. A, Magalhães, B. H. N. Rodrigues, F. J. S, Santos, A. S. Andrade Junior, R. B. Araújo Neto, N. L. Costa, D. M. M. R. Azevedo, R. C. F. F. Pompeu, K. N. C. Castro. Produção e composição química de variedades de cana-de-açúcar com fins forrageiros sob irrigação e adubação, v12, 2018. <https://doi.org/10.31533/pubvet.v12n12a230.1-10>

K. P. Moraes, S. L. P. Medeiros, S. D. Anjos, J. C. Biondo, J. H, Boelter, F. S. Dias. Produtividade de colmos em clones de cana-de-açúcar, *Ceres*, v64, 2017. 10.1590/0034-737X201764030010

L. R. Cruz, L. C. Geraseev, T. D. Carmo, L. D. T. Santos, E. A. Barbosa, G. A. Costa, A. Santos Junior. Características agrônomicas e composição bromatológica de variedades de cana-de-açúcar. *Bioscience Journal*, v30, 2014.

L. A, Holanda, C. M. Santos, G. D. Sampaio Neto, A. P. Sousa, M. A, Silva. Variáveis morfológicas da cana-de-açúcar em função do regime hídrico durante o desenvolvimento inicial. *Irriga*, v19, 2014. <https://doi.org/10.15809/irriga.2014v19n4p573>

L. A, Holden. Comparison of methods of in vitro dry matter digestibility for ten feeds. *J. Journal of Dairy Science*, v82, 1999.

M. D. S. Oliveira, M. A. A. Queiroz, E. Caldeirão. Efeito da hidrólise com NaOH sobre a digestibilidade in vitro da matéria seca da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). *Arquivos Veterinária*, v18, .2002.

M. S. Vilela, M. A. Ferreira, A. S. C. Vêras, M. V. F, Santos, I. Farias, A. A. S, Melo, R. P, Ramalho, P. R. B, Araújo. Avaliação de diferentes suplementos para vacas mestiças em lactação alimentadas com cana-de-açúcar: desempenho e digestibilidade. *Revista Brasileira de Zootecnia*. V.32, 2003. 10.1590/S1516-35982003000300030

M. D. A. Silva, C. M. D, Santos, M. T. Arantes, M. C, Brunelli, L. A. D, Holanda. Respostas fisiológicas de cultivares de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica e a reidratação. *Revista Caatinga*, v26, 2013. ISSN 1983-2125

N. G, Inman-Bamber, D. M, Smith. Water relations in sugarcane and response to water deficits. *Field Crops Research*, v92, 2005. 10.1016/j.fcr.2005.01.023

NUSSIO, L.G.; MANZANO, R.P.; PEDREIRA, C.G.S., 1998. Valor alimentício em plantas do gênero *Cynodon*. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASAGEM, 15, Piracicaba, 1998. Anais... Piracicaba: FEALQ/ESALQ, p. 203-242.

P. D'Ottavio, M. Francioni, L. Trozzo, E. Sedić, K. Budimir, P. Avanzolini, M. F. Trombetta, C. Porqueddu, R. Santilocchi, M. Toderi. Trends and approaches in the analysis of ecosystem services provided by grazing systems: A review. *Grass Forage Science*, v73, 2018. <https://doi.org/10.1111/gfs.12299>

P. Bonomo, C. M. M, Cardoso, M. S. Pedreira, C.C. Santos, A. J. V. Pires & Silva. Potencial forrageiro de variedades de cana-de-açúcar para alimentação de ruminantes. *Acta cientiarum. Animal Sciences*, v31, 2009. 10.4025/actascianimsci.v31i1.498

A. A. Rodrigues, O. Primavesi, S. N. Esteves, Efeito da qualidade de variedades de cana-de-açúcar sobre seu valor como alimento para bovinos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 32, n. 12, p. 1333-1338, 1997.

R. C. Rodrigues, 2010. Métodos de análises bromatológicas de alimentos: métodos físicos, químicos e bromatológicos. Pelotas: Embrapa Clima Temperado. 177. Documentos, 306.

R. P. Pincelli, M. A. Silva, Alterações morfológicas foliares em cultivares de cana-de-açúcar em resposta à deficiência hídrica. *Bioscience Journal*, v.28, 2012.

S. O. Maia Júnior, J. A. C. Silva, K. P. O. Santos, J. R. Andrade, J. V. Silva, L. Endres. Caracterização morfológica e produtiva e suas correlações em cultivares de cana-de-açúcar. *Ciência Agrícola*, Rio Largo, v.16, 2018. 10.28998/rca.v16i1.4060

Tilley, J. M. A, Terry, R. A. A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. *Grass and Forage Scienc*, v.8, 1963. 10.1111/j.1365-2494.1963.tb00335.x

T. V. Voltolini, J. G. Silva, W. E. L. Silca, J. M. L. Nascimento, M. A. A. Queiroz, A. R. OLIVEIRA. Valor nutritivo de cultivares de cana-de-açúcar sob irrigação. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*. v13, 2012. ISSN 1519 9940

## ARTIGO II

### TERMOGRAFIA DE VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR ESTABELECIDAS NO BIOMA CERRADO

#### **Resumo**

A hipótese formulada e testada foi que as diferentes variedades de cana-de-açúcar apresentam as capacidades de degradação termogravimétrica e conseqüentemente a mesma quantidade de energia produzida pela combustão total. Objetivou-se caracterizar e avaliar o comportamento térmico de doze variedades do colmo da cana-de-açúcar de interesse comercial: IAC: 86-2210; 86-2480; 87-3396; 93-6006, RB:72-454; 73-9735; 75-8540; 86-7515, e SP: 79-2233; 80-1842; 80-3280; 81-3250. Para isso, realizou-se a caracterização do potencial energético do colmo através da Termogravimetria e Termogravimetria derivada (TG-DTG). A degradação da variedade RB 75-8540 apresentou a menor perda de massa equivalente a 92,38 %, seguida da variedade IAC 87-3396 apresentando uma perda de massa de 94,52 %. Comparando as curvas termogravimétricas das doze variedades a SP 81-3250 destacou-se com a maior perda de massa 97,04 %, a mesma teve um processo de queima mais lento. O processo de decomposição da biomassa ocorreu entre 100°C a 478°C mostrando que o processo de decomposição da biomassa ocorreu em menores temperaturas para as variedades RB 73-9735, RB 75-8540, SP 80-3280, SP 80-1842, apresentando um menor percentual de resíduo, ocasionando uma diminuição do gasto energético. Sendo assim as variedade RB 86-7515 e RB 72-454 se destacam em seus aspectos nutricionais e a baixa perda de energia no processo de perda de massa.

**Palavras-chave:** colmo, degradação, termogravimetria

## 1. Introdução

A cana-de-açúcar, conhecida mundialmente por sua alta produtividade, participação em processos de alta tecnologia, matéria-prima de alta qualidade e principalmente pelo potencial de produção de açúcar e etanol, passou por diversas modificações ao longo da história. É uma planta semi-perene originária de regiões temperadas quentes a tropicais da Ásia, especialmente a Índia. Sua principal característica é a produção de açúcares como a sacarose, glicose e frutose que se concentra em seu colmo. Já a parte aérea da planta consiste em caule, folhas verdes e folhas secas sendo que na parte superior da planta tem maior umidade e a inferior tem menor umidade, com folhas secas ou mortas (Matos et al., 2020).

O colmo é um material complexo, constituído de celulose, hemicelulose e lignina, que são os responsáveis pelo seu elevado conteúdo energético. A composição química dos colmos é extremamente variável em função de diversos fatores como: variedade da cultura; idade fisiológica, condições climáticas durante o desenvolvimento e maturação, propriedades físicas, químicas e microbiológicas do solo, tipo de cultivo entre outros (Tasso Júnior, 2001).

No entanto a Análise Térmica fornece informações adicionais àquelas obtidas da química úmida, na qual abrange a composição bromotológica do material comum, correlacionando componentes químicos para a liberação de calor determinado por Análise Térmica, contribuindo para melhor precisão do nutritivo valor do alimento, nos permitindo tirar conclusões sobre a estabilidade térmica da amostra, compostos intermediários e sobre a composição de resíduo (Ítavo et al., 2015).

A termogravimetria (TG) é uma técnica quantitativa, que avalia o comportamento térmico da amostra, ou seja, as variações de massa em função da temperatura controlada ou tempo, resultante de uma transformação física, como por exemplo, sublimação, evaporação, condensação ou transformação química como a degradação, decomposição, oxidação (Mothé & Azevedo, 2002).

A Análise Térmica superou as medições de química úmida de amostras para prever componentes químicos como carboidratos, cinzas e energia (Marvin et al. 1996). Como poucas informações foram encontradas sobre o valor energético do colmo da cana-de-açúcar, esse conjunto de técnicas provavelmente pode melhorar nossa compreensão de seu valor como fonte de energia para alimentação de ruminantes.

Atualmente existem diversas bibliografias que auxiliam na escolha de uma variedade de alta produtividade e com alto valor nutricional, porém há uma escassez na literatura em relação as energias envolvidas, assim, o objetivo deste estudo foi avaliar o comportamento térmico de doze variedades de colmo da cana-de-açúcar através da Termogravimetria e Termogravimetria Derivada e Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC). A hipótese formulada e testada foi que as diferentes variedades de cana-de-açúcar apresentam as capacidades de degradação termogravimétrica e a mesma quantidade de energia produzida pela combustão total. O estudo teve por objetivo avaliar o comportamento térmico de doze variedades de cana-de-açúcar por meio da Termogravimetria e Termogravimetria Derivada (TG/DTG) e da Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC).

## **2. Material e Métodos**

### *2.1. Área experimental*

Realizou-se as coletas do colmo de cana-de-açúcar na Fazenda Escola da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Terenos – MS. Coletou-se 12 variedades de cana-de-açúcar estabelecidas há dois anos na área com corte rente ao solo nos meses de junho, julho, agosto e setembro nos anos 2018 e 2019, sendo as variedades: IAC (86-2210; 86-2480; 87-3396; 93-6006), RB (72-454; 73-9735; 75-8540; 86-7515) e SP (79-2233; 80-1842; 80-3280; 81-3250). As amostras coletadas foram misturadas para obter uma amostra composta do colmo de cada variedade. Realizou-se medidas em duplicata para a realização da análise termogravimétrica.

## 2.2 Análise bromatológica

Após a separação morfológica as amostras foram pesadas e colocadas para a secagem em estufa de ventilação forçada, a 55°C por 72 horas, posteriormente, moídas em moinho de facas tipo Willey e destinadas para determinação dos teores de matéria seca (MS), matéria mineral (MM), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), extrato etéreo (EE) conforme procedimentos descritos por AOAC (1996).

## 2.3 Digestibilidade *in vitro*

A digestibilidade *in vitro* foi realizada utilizando-se técnica modificada de Tilley e Terry (1963) adaptada ao Sistema Ankom DaisyII (Ankom Technology Corp., Macedônia, NY, EUA) como descrito por Holden (1999), por meio do equipamento DAISY.

## 2.4 Carboidratos não fibrosos

As frações que compõem os carboidratos não fibrosos foram estimadas conforme Sniffen et al. (1992), em que foram obtidos pela fórmula:  $CNF = 100 - (PB + FDN + MM + EE)$ .

## 2.5 Análise térmica (TG/DTG) E DSC

As Análises Termogravimétricas e DSC foram realizadas no Laboratório de Análise Térmica (LabAt) no Instituto de Química da Universidade de Mato Grosso do Sul. O equipamento foi calibrado sendo o fator de correção calculado de acordo com os procedimentos e especificações da TA instruments.

Seguindo a metodologia as amostras foram pesadas (massa de 5,0 mg  $\pm$  0,8), hermeticamente fechadas em cadinhos de alumínio para as análises de DSC e cadinhos de platina para a análise de TG e colocadas em um calorímetro marca TA, modelo Q20 para DSC, e

para as análises de TG foi utilizado o equipamento TG Q50, numa atmosfera de ar sintético, fluxo de 100 mL min<sup>-1</sup>, na razão de aquecimento de ar sintético de 20°C min<sup>-1</sup> iniciando em temperatura de 32° até a temperatura de 550°C. As amostras foram analisadas através das suas transições de fases utilizando o programa TA Instruments.

## 2.6 Análise estatística

As curvas termogravimétricas obtidas foram tratadas no *Software* da *TA Instruments Universal Analysis 2000*.

As variáveis foram submetidas a análise de variância de acordo com o seguinte modelo:  $Y_{ij} = \mu + C_i + B_j + \alpha_{ij}$ , em que:  $Y_{ij}$ = valor observado na cultivar  $i$ , bloco  $j$ ;  $\mu$ = efeito médio geral;  $C_i$ = efeito da cultivar  $i$ ;  $B_j$ = efeito do bloco  $j$ ;  $\alpha_{ij}$ = efeito do erro aleatório. Quando significativos pelo teste F, as cultivares foram comparadas pelo teste de Scott-Knott a um nível de significância de 5%.

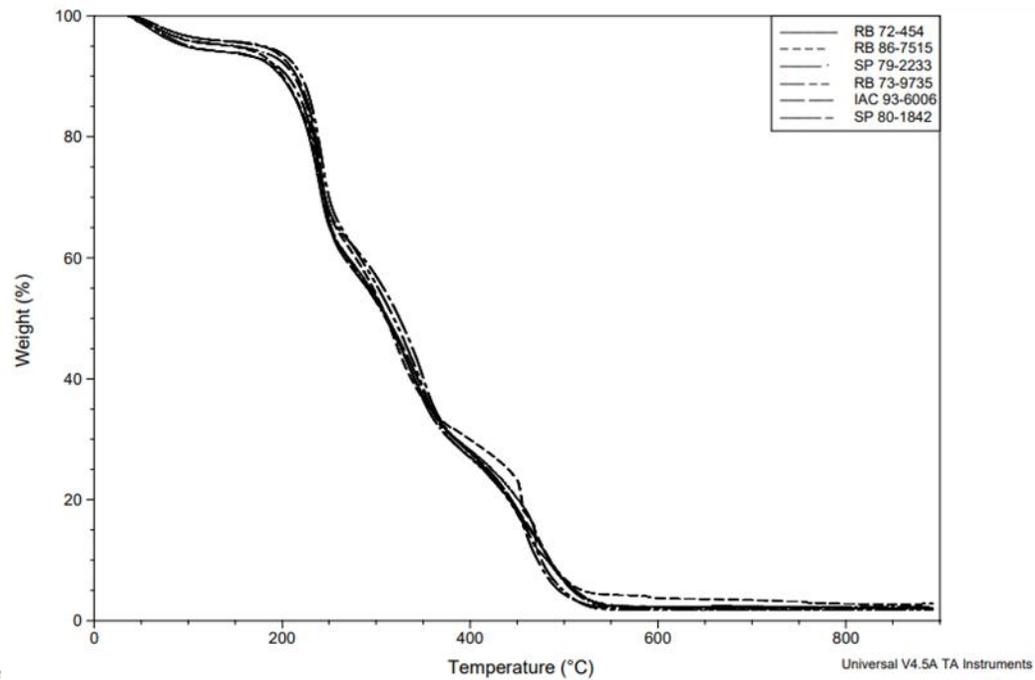
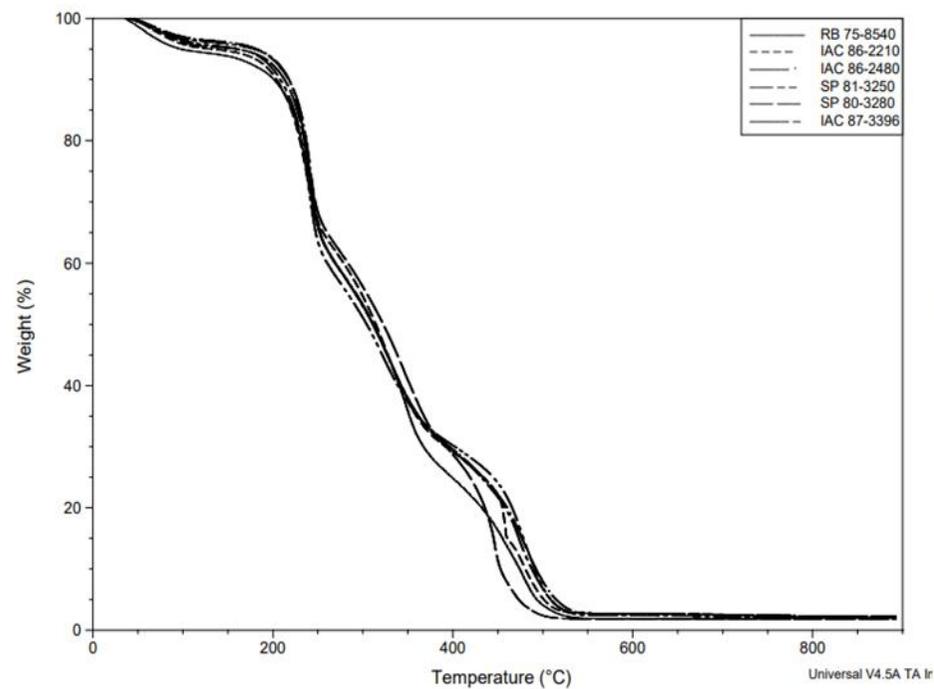
## 3. Resultados

### 3.1. Avaliação do comportamento térmico de doze variedades de colmo de cana-de-açúcar por Termogravimetria- Termogravimetria derivada – TG-DTG

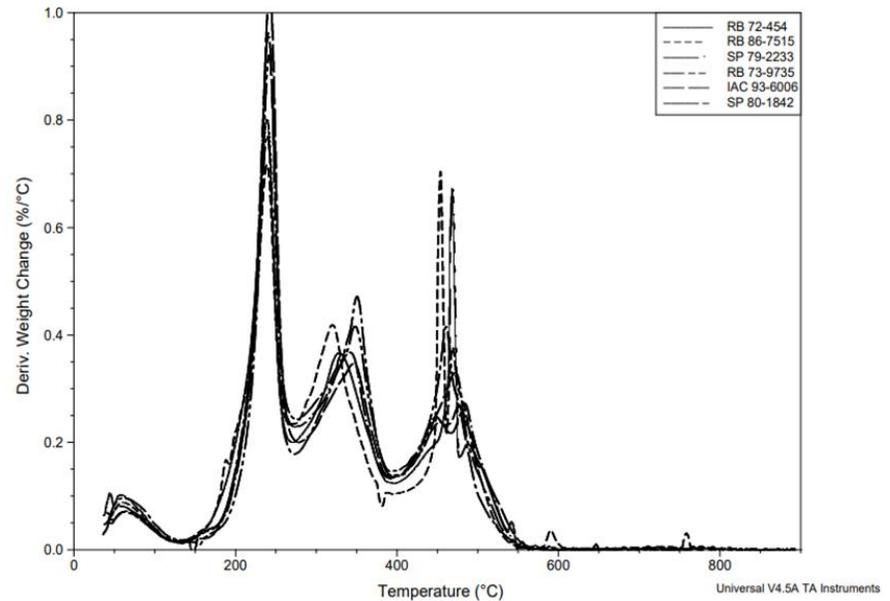
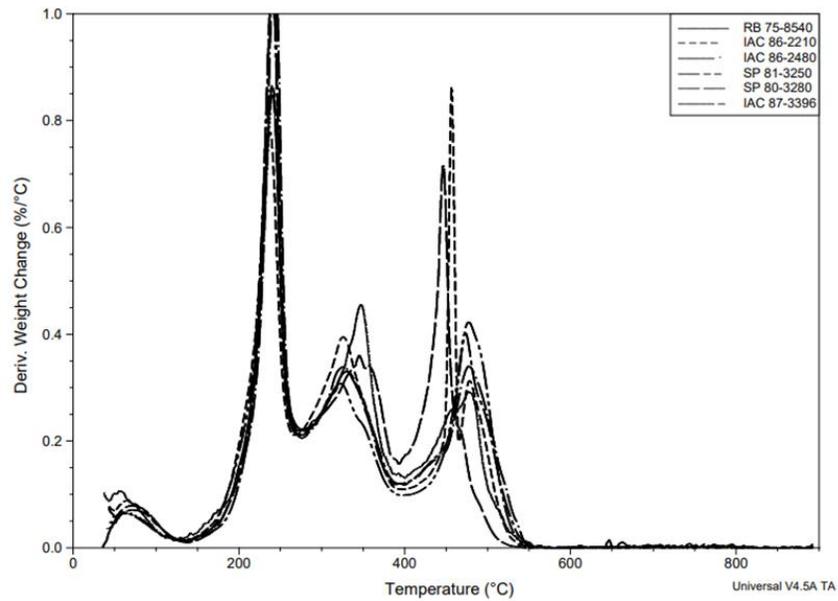
As curvas TG-DTG para as doze variedades de colmo de cana-de-açúcar são mostradas nas Figuras 1 e 2. Observaram-se que as 12 variedades do colmo apresentaram comportamento térmico semelhantes, com três eventos principais variando de 40 a 550 ° C referente a volatilização dos compostos orgânicos.

No 1° evento da Figura 2 destaca-se variedade IAC 93-6006 com pico de temperatura de 241,82 C°, destacando-se no terceiro evento as variedades RB 72-454 e RB 86-7515 com picos de temperaturas de 466,81 e 452,19°C.

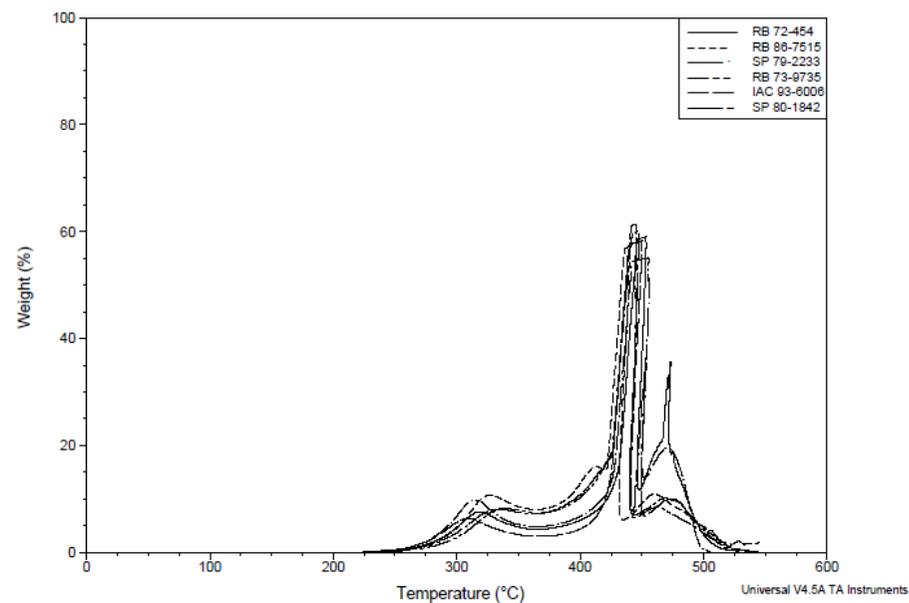
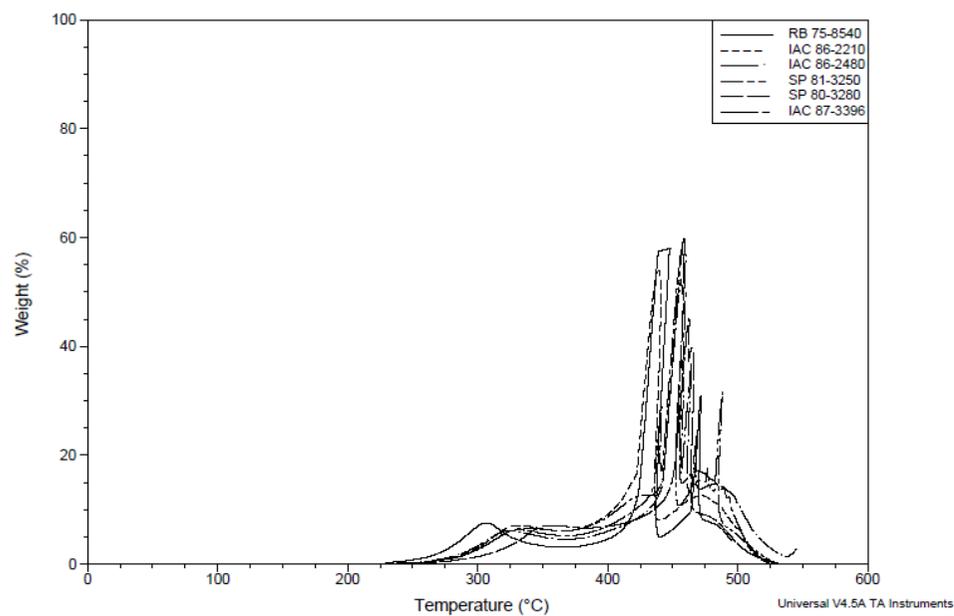
Os principais eventos das curvas DTG estão localizados entre a faixa de temperatura de 200 a 550°C, como pode ser observado na Figura 2, este evento pode ser atribuído ao processo de termodecomposição.



**Figura 1.** Curvas TG das variedades de cana-de-açúcar estabelecidas no bioma Cerrado obtidas em atmosfera de ar com razão de aquecimento de  $20\text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$



**Figura 2.** Curvas DTG das variedades de cana-de-açúcar estabelecidas no bioma Cerrado, obtidas em atmosfera de ar com razão de aquecimento de 20 °C min<sup>-1</sup>



**Figura 3.** Curvas DSC das variedades de cana-de-açúcar estabelecidas no bioma Cerrado, obtidas em atmosfera de ar com razão de aquecimento de  $20\text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$

Tabela 1 Temperatura de decomposição máxima e percentagens de perda de massa e resíduos obtidos a partir das curvas DTG para as diferentes variedades de colmo *in natura* em razão de aquecimento 20 °C/min.

	Temperatura de decomposição				Média	$\Delta H(J/G)$	Perda Massa	Massa Residual
	1° evento	2° evento	3° evento	4° evento			%	
IAC 86-2210	237,32	325,07	455,56	478,06°C	374,00 <sup>a</sup>	1.467,0	96,54	2,61
IAC 86-2480	240,70	325,07	475,81	-	347,19 <sup>b</sup>	885,9	96,83	2,59
IAC 87-3396	240,70	329,57	472,44	-	347,57 <sup>b</sup>	1.224,6	94,52	2,36
IAC 93-6006	241,82	347,57	475,81	-	355,06 <sup>b</sup>	2.284,2	95,15	2,13
RB 72-454	237,32	327,32	466,81	-	343,81 <sup>b</sup>	1.855,0	96,17	2,30
RB 73-9735	240,70	348,69	473,56	-	354,31 <sup>b</sup>	1.928,0	95,93	1,78
RB 75-8540	239,57	346,44	478,06	-	354,69 <sup>a</sup>	2.005,1	92,38	1,86
RB 86-7515	239,57	319,44	452,19	467,94	369,78 <sup>b</sup>	960,0	95,00	3,38
SP 81-3250	238,45	322,82	475,81	-	345,69 <sup>b</sup>	1.375,9	97,04	2,73
SP 80-3280	239,57	343,07	445,44	-	342,69 <sup>b</sup>	931,9	96,48	1,82
SP 79-2233	239,57	341,94	481,44	-	354,31 <sup>b</sup>	2.254,0	94,59	2,27
SP 80-1842	239,57	348,69	460,06	-	349,44 <sup>b</sup>	1.529,0	95,78	1,96

T<sub>dmáx</sub> (°C) corresponde a temperatura de decomposição máxima, calculada pela 1° derivada das curvas termogravimétricas. Valores médios seguidos por letras diferentes em uma coluna são significativamente diferentes (p <0,05).

De acordo com os dados apresentados na Tabela 1 a massa residual variou de 1,78% na variedade RB 73-9735 a 3,38 % para a variedade RB 86-7515. Até 550°C todos compostos da biomassa são degradados.

As variedades SP 81-3250, IAC 86-2480 apresentaram uma maior liberação de energia no processo de termodecomposição de cana-de-açúcar com 97,0 e 96,83% de perda de massa (Tabela 1). Na (tabela 2) estão apresentados os valores médios da composição bromatológica entre as doze variedades de cana de açúcar estabelecidas no bioma Cerrado. A variedade IAC 86-2480 apresentou maior teor de MS 26,31%, no qual não apresentou diferença  $P > (0,05)$  entre as variedades SP 80-3280 26,20 % e SP 81-3250 25,88% para o mesmo atributo.

Os maiores teores de PB foram observados nas variedades RB 75-8540 (2,46%), IAC 93-6006 (2,42%) e RB 73-9735 (2,36%) diferindo das demais variedades  $P < (0,05)$ .

Tabela 2 Características bromatológicas das variedades de cana-de-açúcar estabelecidas no bioma Cerrado

Variedades	MS	MM	PB	FDN	FDA	EE	CNF	DIVMS
	%							
IAC								
86-2210	23,55 <sup>b</sup>	3,22 <sup>a</sup>	2,20 <sup>b</sup>	49,40 <sup>a</sup>	36,96 <sup>a</sup>	0,95 <sup>a</sup>	48,77 <sup>b</sup>	60,56 <sup>b</sup>
86-2480	26,31 <sup>a</sup>	3,10 <sup>a</sup>	1,87 <sup>b</sup>	48,32 <sup>a</sup>	35,01 <sup>b</sup>	0,95 <sup>a</sup>	50,07 <sup>a</sup>	62,63 <sup>a</sup>
87-3396	24,01 <sup>b</sup>	3,40 <sup>a</sup>	2,01 <sup>b</sup>	47,52 <sup>b</sup>	35,55 <sup>a</sup>	0,78 <sup>c</sup>	50,41 <sup>a</sup>	63,04 <sup>a</sup>
93-6006	23,09 <sup>b</sup>	3,03 <sup>a</sup>	2,42 <sup>a</sup>	51,13 <sup>a</sup>	38,85 <sup>a</sup>	0,93 <sup>a</sup>	46,99 <sup>b</sup>	61,53 <sup>b</sup>
RB								
72-454	25,54 <sup>a</sup>	2,69 <sup>c</sup>	2,46 <sup>a</sup>	45,20 <sup>c</sup>	33,66 <sup>b</sup>	0,64 <sup>c</sup>	53,03 <sup>a</sup>	63,97 <sup>a</sup>
73-9735	23,92 <sup>b</sup>	3,51 <sup>a</sup>	2,36 <sup>a</sup>	48,27 <sup>a</sup>	36,54 <sup>a</sup>	0,68 <sup>c</sup>	49,20 <sup>b</sup>	59,89 <sup>b</sup>
75-8540	23,50 <sup>b</sup>	2,94 <sup>b</sup>	2,46 <sup>a</sup>	45,64 <sup>c</sup>	32,10 <sup>b</sup>	0,55 <sup>c</sup>	53,11 <sup>a</sup>	61,66 <sup>b</sup>
86-7515	24,23 <sup>b</sup>	2,89 <sup>a</sup>	2,11 <sup>b</sup>	47,43 <sup>b</sup>	32,86 <sup>b</sup>	0,60 <sup>c</sup>	50,78 <sup>a</sup>	64,32 <sup>a</sup>
SP								
79-2233	24,58 <sup>b</sup>	3,22 <sup>a</sup>	2,14 <sup>b</sup>	49,82 <sup>a</sup>	36,53 <sup>a</sup>	0,71 <sup>c</sup>	44,28 <sup>c</sup>	63,42 <sup>a</sup>
80-1842	24,53 <sup>b</sup>	2,84 <sup>c</sup>	2,05 <sup>b</sup>	47,36 <sup>b</sup>	33,57 <sup>b</sup>	0,80 <sup>b</sup>	52,73 <sup>a</sup>	62,87 <sup>a</sup>
80-3280	26,20 <sup>a</sup>	2,69 <sup>c</sup>	2,08 <sup>b</sup>	48,88 <sup>a</sup>	36,90 <sup>a</sup>	1,11 <sup>a</sup>	49,20 <sup>b</sup>	62,72 <sup>a</sup>
81-3250	25,88 <sup>a</sup>	3,21 <sup>a</sup>	1,88 <sup>b</sup>	49,62 <sup>a</sup>	37,88 <sup>a</sup>	0,86 <sup>b</sup>	48,51 <sup>b</sup>	61,21 <sup>b</sup>

MS: matéria seca (%); MM: matéria mineral (%); PB: proteína bruta (% MS); FDN: fibra em detergente neutro (% MS); FDA: fibra em detergente ácido (% MS); EE: extrato etéreo (% MS); CNF: carboidratos não fibrosos (% MS); DIVMS: digestibilidade *in vitro* da matéria seca (% MS). Valores médios seguidos por letras diferentes em uma coluna são significativamente diferentes ( $P < 0,05$ ).

A variedade RB 86-7515 (64,32%) apresentou o maior teor DIVMS, apresentando diferença significativa entre as variedades RB 75-8540 (61,66%), IAC 86-2210 (60,56%), SP 81-3250 (61,21%), RB 73-9735 (59,89%), IAC 93-6006 (61,53%). Na (tabela 1) a variedade RB 86-7515 se destacou apresentando quatro picos de perda de massa de (239,57°C, 319,44°C, 452,19°C, 467,94°C). Provavelmente, a liberação de energia está diretamente relacionada com a disponibilidade de nutrientes e facilidade de quebra molecular.

#### 4. Discussão

O comportamento de perda de massa em função da temperatura, Figura 1, mostra que até 90°C ocorre perda de água. A partir de 100°C inicia-se a degradação da biomassa, associada predominantemente à decomposição da hemicelulose e celulose com término em 400°C. Uma vez que a hemicelulose é composta por diversos sacarídeos (xilose, glucose, galactose, etc.),

apresentando estruturas amorfas, ricas em ramificações e que são mais fáceis de serem removidas e degradadas, com liberação de voláteis (CO, CO<sub>2</sub> e alguns hidrocarbonetos) a baixas temperaturas. Já a celulose é um polímero que consiste de longas cadeias de glicose sem ramificações, com estruturas ordenadas e com maior resistência, apresentando maior estabilidade térmica (Yang et al., 2007).

No processo de termoanálise a liberação de energia está diretamente relacionada com disponibilidade de nutrientes e facilidade de quebra molecular (Dias et al, 2018). Em um estudo realizado por Nassar et al. (1996) a degradação do colmo da cana-de-açúcar apresentou dois picos quando se efetuou a pirólise em atmosfera oxidante, com início da reação exotérmica (combustão) em 300°C e término em 500°C. Na figura 1 foi observado que para a atmosfera inerte a reação exotérmica iniciou-se em 450°C e terminou em 700°C .

Pode-se observar na figura 2 que no intervalo de 0°C a 200°C ocorre inicialmente a perda de material volátil, os eventos estão associados à remoção da umidade presente na amostra, juntamente com a umidade absorvida do ambiente, pois, a umidade relativa do ar estava, na oportunidade da realização das análises. Kozerski et al. 2021 analisou amostra de milho inteiro moído relatando no segundo pico do DTG indicou que a reação ocorreu a 310,86 °C. O terceiro evento foi caracterizado por uma reação lenta de pico de derivada ampla correspondente às interações físicas ou químicas com a matriz.

O evento que ocorre a 200°C está relacionada a pirólise da lignina e hemicelulose contida no bagaço da cana. De 250°C até aproximadamente 400°C a alta decomposição, surge neste intervalo o máximo de volatilização de hemicelulose, celulose e lignina. As moléculas remanescentes desses compostos geram o próximo evento que corresponde à temperatura até 550°C, no qual termina a reação (Ortiz et al., 2013).

Segundo Fernandes et al. (2006), a decomposição e perda de massa durante a análise termogravimétrica de materiais lignocelulósicos ocorrem em quatro estágios diferentes:

desidratação (105–1258C), decomposição da hemicelulose (120–2808C), clivagem de b-1,4 unidades glicosídicas de celulose (255– 3608C) e despolimerização de lignina (420–4858C).

Dias et al. (2018) ao estudar a calorimetria de cana-de-açúcar tratada com hidróxido de cálcio observou uma maior perda de massa no terceiro estágio, entre 272,28C e 397,78C, como resultado da maior quantidade de quebra de ligação ocorrendo na celulose glicosídica. Estando os resultados semelhantes aos encontrados no presente estudo, no qual o terceiro estágio variou de 455,44C a 481,44C nas curvas de DTG.

A análise DSC mostrou um aumento na liberação de energia no processo de termodecomposição da cana-de-açúcar com maior teor de energia para a variedade IAC 93-6006 (2.284,2 J/g) e a variedade que apresentou menor desempenho em fornecimento de energia foi a IAC 86-2480 (885,9 J/g). Ítavo et al. (2015) encontrou para o farelo de soja e farelo de crambe e farelo de pinhão fontes de energia de (2.570,0 J/g), farelo de crambe (3.435,5 J/g) e ao farelo de pinhão-manso (3.937,0 J/g), no qual o farelo de soja se mostrou pobre em energia em relação aos outros produtos.

A produção de matéria seca é critério importante para definir o potencial de uma variedade de cana de açúcar a ser indicada para alimentação animal. Na (tabela 2) as variedades RB apresentaram teores de MS semelhantes. Quando duas ou mais variedades são semelhantes nas demais características, a produção de matéria seca é preponderante na escolha da variedade, uma vez que proporciona maior consumo de nutrientes pelos animais (Carvalho et al., 2010).

## **5. Conclusão**

As variedades RB 86-7515 e RB 72-454 apresentaram um melhor desempenho em seus aspectos nutricionais na alimentação de animais ruminantes no Bioma Cerrado quando aplicada a termoanálise, no qual apresentaram um maior fornecimento de energia em relação as demais variedades, apresentando uma perda de massa rápida.

## **Declaração de interesse concorrente**

Os autores declaram não ter conhecimento financeiro concorrente conhecido interesses ou relacionamentos pessoais que possam parecer influenciar o trabalho relatado neste artigo.

## **Agradecimentos**

Agradeço a UFMS - (Universidade Federal de Mato Grosso do Sul) e demais colaboradores.

## **6. Referências**

- Carvalho, M.V., Rodrigues, P.H.M., LIMA, M.L.P, 2010. **Composição bromatológica e digestiva de cana-de-açúcar colhida em duas épocas do ano.** *Braz. J. Vet. Res. Animal Sci.* 47, 298-306.
- Dias, A.M., Ítavo, L.C.V., Damasceno, J.C., Ítavo, C.C.B.F., Santos, G.T., Echeverria, D.M.S., Gomes, E.N.O., Junges, L, 2018. **A Calorimetry, chemical composition and in vitro digestibility of sugarcane treated with calcium hydroxide.** *Crop & Pasture Science*, 69, 10.1071/CP17287
- Faria, E. A, Leles, M.I.G, Ionashiro M, Zuppa TO, Antoniosi Filho NR (2002) Thermal stability of vegetal oils and fats by TG/DTG and DTA. *Eclética Química* 27, 111–119.
- Fernandes, F. L., Baker, M. C. S., Jaguaribe, E. F. (2006). Análise termogravimétrica das matérias-primas utilizadas na produção de carvões ativados In 'Anais do V Congresso Brasileiro de Análises Térmicas e Calorimetria— CBRATEC'. 2 a 6 de abril de 2006. Poços de Caldas, MG. (Associação Brasileira de Termoanálise e Calorimetria ABRATEC: São Paulo).
- Ítavo, L.C.V., Soares, C.M., Ítavo, C.C.B.F., Dias, A.M., Petit, H.V., Leal, E.S., Souza, A.D.V 2015. **Calorimetry, chemical composition and in vitro digestibility of oilseeds.** *Food Chemistry*, 185, 219-225. 10.1016/j.foodchem.2015.03.007

Ionashiro, M (2004). Fundamentos da termogravimetria análise térmica diferencial, calorimetria exploratória diferencial. (1ªed). Araraquara: Giz Editorial (Capítulo 1).

Kozerski, N.D., Ítavo, L.C.V., Ítavo, C.C.B., Difante, G.S., Dias, A.M., Oliveira, L.C.S., Aguiar, E.N.A., Inácio, A.G., Gurgel, A.L.C., Santos, G.T. **Calorimetry, physicochemical characteristics and nitrogen release from extruded urea**. Scientific Reports, 11. 10.1038/s41598-021-97886-0

Matos, M., Santos, F., Eichler, P., 2020. **Cenário mundial da cana-de-açúcar**. Biorrefinaria. Tecnologia e Perspectivas da Cana-de-Açúcar, 1-19. 10.1016/B978-0-12-814236-3.00001-9

Marvin HJP, Krechting CF, Van Loo EN, Snijders CHA, Nelissen LNH, Dolstra O. 1996. **Potencial da análise térmica para estimar a composição química e as características de fermentação in vitro do milho**. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 44, 3467–3473.

Mothé, C.G., & Azevedo, A.D., 2002. *Análise Térmica de Materiais*. (1ª ed.). São Paulo: I editora, (Capítulo 1).

Nassar, M.M., Ashouer, E.A., Wahid, S.S., 1996. Thermal characteristics of bagasse. *Journal of Applied Polymer Science*, 61, 885-890. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4628\(19960808\)61:6<885::AID-APP1>3.0.CO;2-D](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4628(19960808)61:6<885::AID-APP1>3.0.CO;2-D)

Ortiz, A.L., Segura, F.J.N., Jabalera, R.S., Marques, M.S.P., Arias, E.C., Salinas, J.S.G., Bretado, M.A.E., 2013. Low temperature sugar cane bagasse pyrolysis for the production of high purity hydrogen through steam reforming and CO<sub>2</sub> capture. International journal of hydrogen energy, 38, 10.1016/j.ijhydene.2013.06.059

Sharma HSS, Mellon RM, Johnston D, Fletcher H. 2008. **Avaliação termogravimétrica de azevém perene (Lolium perenne) para predição da digestibilidade in vitro da matéria seca**. Annals of Applied Biology, 152, 277–288.

Santos AGD, Caldeira VPS, Farias MF, Araujo AS, Souza LD, Barros AK. 2011. **Caracterização e estudo cinético de óleo de girassol e biodiesel.** Journal of Thermal Analysis and Calorimetry 106, 747–751.

Soares CM, Ítavo LCV, Dias AM, Arruda EJ, Delben AAST, Oliveira SL, Oliveira LCS (2010) **Forage turnip, sunflower, and soybean biodiesel obtained by ethanol synthesis: Production protocols and thermal behavior.** *Fuel* **89**, 3725–3729. doi:10.1016/j.fuel.2010.07.024

YANG, H.; YAN, R.; CHEN, H.; LEE, D. H.; ZHENG, C. **Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis.** Fuel, n. 86, p. 1781-1788, 2007. 10.1016/j.fuel.2006.12.013