



|

**AVALIAÇÃO COMPARATIVA FÍSICO - QUÍMICA ENTRE
CULTIVARES DE SORGO E VARIEDADES DE CANA - DE -
AÇÚCAR VISANDO A PRODUÇÃO DE BIOENERGIA**

Beatriz Pereira Melo

DOURADOS – MS

Fevereiro/ 2019





AVALIAÇÃO COMPARATIVA FÍSICO - QUÍMICA ENTRE CULTIVARES DE SORGO E VARIEDADES DE CANA - DE - AÇÚCAR VISANDO A PRODUÇÃO DE BIOENERGIA

Acadêmica: Beatriz Pereira Melo

Orientador: Prof. Dr. Laércio Alves de Carvalho

Coorientador: Prof. Dr. José Evaristo Gonçalves;

Coorientadora: Profa. Dra. Maria Eugênia Petenuci

“Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em Recursos Naturais, área de concentração em Recursos Naturais, da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Recursos Naturais”.

DOURADOS – MS

Fevereiro/ 2019



M485a Melo, Beatriz Pereira

Avaliação comparativa físico-química entre cultivares de sorgo e variedades de cana-de-açúcar visando a produção de bioenergia/ Beatriz Pereira Melo. – Dourados, MS: UEMS, 2019.

54p.

Dissertação (Mestrado) – Recursos Naturais – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, 2019.

Orientador: Prof. Dr. Laércio Alves de Carvalho.

1. Etanol celulósico 2. Cogeração 3. Lignina I. Carvalho, Laércio Alves de II. Título

CDD 23. ed. - 633.6

BEATRIZ PEREIRA MELO

**AVALIAÇÃO COMPARATIVA FÍSICO-QUÍMICA
ENTRE CULTIVARES DE SORGO E VARIEDADES DE
CANA-DE-AÇÚCAR VISANDO A PRODUÇÃO DE
BIOENERGIA**

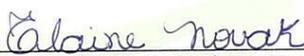
Este exemplar compreende a redação final da dissertação de mestrado defendida por Beatriz Pereira Melo.

Dourados/MS, 21 de fevereiro de 2019.

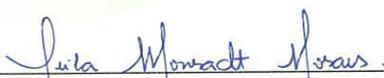
Banca Examinadora:



Prof. Dr. Laércio Alves de Carvalho – Presidente



Profa. Dra. Elaine Novak



Profa. Dra. Leila Cristina Konradt Moraes

Dourados/MS, fevereiro de 2019.

EPIGRAFE

“Agradeço todas as dificuldades que enfrentei; não fosse por elas, eu não teria saído do lugar. As facilidades nos impedem de caminhar. Mesmo as críticas nos auxiliam muito”.

Chico Xavier

DEDICATÓRIAS

Dedico esta Dissertação a todos que me apoiaram no decorrer de todos os meus passos, e a todos aqueles que venham a utilizá-la para consulta.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que de alguma forma me apoiaram durante os dois anos de mestrado e que estiveram comigo neste período.

Agradecimento especial ao Programa de Pós Graduação em Recursos Naturais e a UEMS de Dourados, Naviraí e Glória de Dourados, sem eles nada disto seria possível.

Um agradecimento especial aos meus pais Sandra Pereira Melo e Eraldo Macedo Melo, que sem o apoio deles nada disto seria possível.

Agradeço a minha irmã Maria Alice Pereira Melo que também sempre apoiou minhas decisões, agradeço ao meu avô Sebastião Lopes Pereira e a minha tia Elaine Aparecida Lopes Pereira.

Agradeço especialmente meu coorientador José Evaristo Gonçalves, a minha coorientadora Maria Eugênia Petenuce e ao meu orientador Laércio Alves de Carvalho que me ajudaram a realizar todas as pesquisas e me proporcionaram muito aprendizado.

Agradeço ao Sr. Estevão que de alguma forma sempre está presente em minha vida.

Agradeço as amigas que fiz assim que cheguei em Glória de Dourados, que me ensinaram muitas coisas especiais e que vou levar para a vida toda, Patricia Rochefeller e Tainara Terena.

Agradeço minhas amigas Celma Trindade, Barbara Balduino, Thalia Rodrigues, Stefany de Paula, Bruna Taveira e Isabela Pellim.

Agradeço a minhas amigas Kamyla Maria Quelé Duck, Solange Gomes, Emi Elizabeth Togura Nakano e Luana de Oliveira, que me apoiaram no decorrer dos dois anos de Mestrado.

Agradeço ao meu namorado Petron Junior Alves Souto, por todo o apoio e compreensão.

Aos Professores Doutores Diego Menani Heid e Adriana Ferla, por todo apoio durante a pesquisa.

Lista de Figuras

Figura 1:Desenvolvimento da pesquisa.....	11
Figura 2: Média Poder Calorífico (kJ/kg)	22
Figura 3: Gráfico TGA -Cana – de – açúcar (CTC).....	23
Figura 4: Gráfico TGA – Cana-de-açúcar (RB).....	24
Figura 5: Gráfico TGA - Sorgo Granífero.....	24
Figura 6: Gráfico TGA - Sorgo Forrageiro	25
Figura 7: Porcentagem teor de cinzas e Combustibilidade	29
Figura 8: Distribuição das variáveis no plano das PCS (CP1 x CP2).	31
Figura 9: Projeção dos grupos no plano das CPs (CP1 x CP2).	32

Lista de Tabelas

Tabela 1: Cultivares de sorgo e variedades de cana – de – açúcar analisadas e suas respectivas idades de colheita	12
Tabela 2: Média dos teores de umidade	18
Tabela 3: Porcentagem de Lignina, Holocelulose e Celulose	21
Tabela 4: Análise elementar	26
Tabela 5: Teste Tuckey análise elementar	27
Tabela 6: Teste de Tuckey análise imediata.....	28
Tabela 7: Valores dos autovalores das componentes principais (%) e valores das correlações (loadings) das variáveis com cada PC.....	30

LISTA DE ABREVIATURAS

TGA – Análise termogravimétrica

RIDESA- Rede Interuniversitária para o desenvolvimento sucroenergético

CTC – Centro de Tecnologia Canavieira

ISSCT – Germplasm Committee of International Society of Sugar Cane Technologists

UFPR – Universidade Federal do Paraná

PUI – Período de utilização industrial

PCS – Poder calorífico superior

PCI – Poder calorífico inferior

PCU – Poder calorífico útil

CO₂ – Gás carbônico

USP – Universidade de São Paulo

TCD – Detector de condutividade térmica

DTG – Derivada termogravimétrica

TG – Termogravimétrica

b.u. – Base úmida

b.s. – Base seca

PCA – Análise de componentes principais

SUMÁRIO

RESUMO	i
ABSTRACT	ii
1 INTRODUÇÃO	1
2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	3
2.2 Sorgo	4
2.2.1 Sorgo – Granífero	4
2.2.2 Sorgo – Forrageiro	5
2.3 Biomassa	5
2.3.1 Composição química da Biomassa	6
2.3.2 Lignina	7
2.3.3 Celulose	7
2.4 Biocombustíveis	7
2.4.1 Etanol	8
2.4.2 Etanol lignocelulósico	8
3 MATERIAIS E MÉTODOS	11
3.1 Teor de umidade	12
3.2 Análise Teor de Lignina	13
3.3 Análise Teor de Holocelulose	13
3.4 Análise Teor de Celulose	14
3.5 Poder Calorífico	14
3.6 Análise termogravimétrica	15
3.7 Análise Elementar	15
3.8 Análise imediata	15
3.8.1 Teor de voláteis	16
3.8.2 Teor de cinzas	16
3.8.3 Teor de carbono fixo	17
3.9 Análise Estatística	17
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
4.1 Teor de umidade	18
4.2 Análise Teor de lignina, holocelulose e celulose	19
4.4 Poder calorífico	21

4.5	Análise Termogravimétrica	22
4.6	Análise Elementar	25
4.7	Análise imediata	27
4.7.1	Teor de voláteis e Teor de carbono fixo	27
4.7.2	Teor de Cinzas e Combustibilidade	28
4.8	Análise Multivariada de Componentes Principais	29
5	CONCLUSÃO	33
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

RESUMO

Recentemente a demanda mundial por etanol combustível tem expandido de forma muito rápida, principalmente nos países mais desenvolvidos e de maior consumo de combustíveis automotivos. O novo conceito de bioetanol corresponde a sua fabricação utilizando como matéria-prima a biomassa lignocelulósica. A cultura de cana-de-açúcar passa por um período denominado entressafra. Uma alternativa é o sorgo, por possuir semelhanças no modo de plantio, composição química e modo de processamento, passando a ser matéria – prima não somente para o etanol de primeira geração, mas também para o etanol celulósico. Desta forma, o presente projeto visa a “Avaliação comparativa físico – química entre cultivares de sorgo e variedades de cana – de - açúcar visando a produção de bioenergia”. Foram avaliados os bagaços das cultivares de Sorgo Granífero e Forrageiro e de duas variedades de cana-de-açúcar (CTC e RB), quanto ao teor de umidade, lignina, holocelulose e celulose, análise termogravimétrica, imediata e elementar e poder caclorífico. Quando observadas as cultivares de sorgo, evidencia-se que a mais viável para a obtenção de etanol celulósico é o Sorgo Forrageiro, uma vez que além de apresentar menor percentual de lignina (8,67%), apresenta também maior percentual de celulose (43,94%), tornando – o mais favorável para a produção desse combustível. Para o processo de cogeração de energia a biomassa mais indicada é a variedade de cana-de-açúcar CTC, por apresentar elevado poder calorífico (180030 kJ/kg).

Palavras – chave: Etanol celulósico; Cogeração; Lignina

ABSTRACT

Recently the world demand for fuel ethanol has expanded very fast, especially in the more developed countries and of greater consumption of automotive fuels. The new concept of bioethanol corresponds to its manufacture using lignocellulosic biomass as its raw material. The sugarcane crop goes through a period called the off-season. An alternative is sorghum, because it has similarities in the mode of planting, chemical composition and processing mode, becoming the raw material not only for first generation ethanol but also for cellulosic ethanol. In this way, the present project aims at the "Physical - chemical comparative evaluation between sorghum cultivars and sugarcane varieties aimed at the production of bioenergy". Grain Sorghum and Fodder Sorghum cultivars and two sugarcane varieties (CTC and RB) were evaluated for moisture, lignin, holocellulose and cellulose content, thermogravimetric analysis, immediate and elemental. When sorghum cultivars are observed, it is evident that the most viable to obtain cellulosic ethanol is Fodder Sorghum, since in addition to presenting a lower percentage of lignin (8.67%), it also presents a higher percentage of cellulose (43, 94%), making it more feasible for the production of this fuel. For the energy cogeneration process the most indicated biomass is the CTC sugar cane variety, because it has a high calorific value (180030 kJ / kg).

Keywords: Cellulosic ethanol; Cogeneration; Lignin

1 INTRODUÇÃO

Diante da situação ambiental atual e todas as consequências que o planeta vem sofrendo devido, especialmente, ao uso dos combustíveis fósseis como principal fonte de energia, a busca por fontes alternativas na matriz energética e por combustíveis mais limpos vem ganhando espaço em nível mundial. Uma alternativa, para equilibrar o uso de combustíveis fósseis, atrelada à questão ambiental é incentivar e fomentar a utilização da biomassa como fonte de energia primária e renovável (BORGES et al., 2016).

A demanda por etanol combustível tem se expandido de forma rápida, principalmente nos países mais desenvolvidos, o novo conceito de bioetanol corresponde a sua fabricação utilizando como matéria-prima a biomassa lignocelulósica (SOUZA, 2011).

Mais recentemente, o termo bioenergia tem sido utilizado para caracterizar a obtenção de energia a partir da biomassa e que pode ser transformado em biocombustíveis, como o etanol ou biodiesel (SILVA; SILVA, 2016).

Devido a expectativas relacionadas à produção de energia renovável, o cultivo da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) passou nos últimos anos por uma forte expansão, tornando-se uma atividade de grande importância para o desenvolvimento econômico do país (NASCIMENTO et al., 2015).

A agroindústria canavieira no estado de Mato Grosso do Sul tem se tornado uma opção de investimento e uma alternativa de diversificação agrícola desde 2005. A expansão dessa cultura e a instalação de novas indústrias proporcionaram um aumento nos indicadores de produção, no emprego formal e na arrecadação de impostos (CASTILHO, 2013).

O Brasil é líder mundial na produção de etanol a partir da cana-de-açúcar, além de possuir disponibilidade de terras cultiváveis para o plantio da cana, sem prejuízo dos outros alimentos, ainda dispõe de tecnologia de produção e estrutura na distribuição (MAPA, 2016).

Além da cultura de cana-de-açúcar, o sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) pode ser utilizado como fonte alternativa para cogeração ou produção de combustível de segunda geração (SOUZA, 2011).

Deste modo, o desenvolvimento do processo de obtenção de etanol a partir de material lignocelulósico é importante para o Brasil, dada a grande disponibilidade de matéria-prima (LIMA, 2011).

O projeto objetivou comparar as variáveis físico-químicas entre as cultivares de Sorgo Granífero ADV 123 e Forrageiro BRS 658 e as variedades de cana-de-açúcar RB 036066 e CTC 9003 visando a produção de bioenergia, para tal, foram realizadas análises de teor de umidade, cinzas e combustibilidade, poder calorífico, análise termogravimétrica, elementar (porcentagem de carbono, hidrogênio e nitrogênio) e imediata (porcentagem de carbono fixo e voláteis). Para a produção de etanol celulósico decorreram-se as análises de teor de lignina, holocelulose e celulose.

2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

2.1 Cana-de-Açúcar

O Brasil é líder mundial na produção de etanol a partir da cana-de-açúcar, além de possuir disponibilidade de terras cultiváveis para o plantio da cana, sem prejuízo dos outros alimentos, ainda dispõe de tecnologia de produção e estrutura na distribuição (MAPA, 2016).

Em razão do potencial do mercado sucroalcooleiro no Brasil, a cana-de-açúcar não é tratada apenas como mais um produto agrícola nacional, mas como a mais importante fonte de biomassa energética. O setor sucroalcooleiro responde por cerca de 1 milhão de empregos, dos quais 511 mil diretamente envolvidos na produção de cana-de-açúcar e o restante distribuído na cadeia de processamento de açúcar e etanol. Isso representa 6% dos empregos na agroindústria nacional (LERA YAER, et al., 2009).

Segundo Reis et al. (2017) o Estado de Mato Grosso do Sul, é reconhecido por sua biodiversidade, sendo o dono de uma das reservas naturais mais importantes do país, o Pantanal. Tem substituído as culturas consolidadas de produção de soja e bovinos pelo plantio de cana-de-açúcar, para suprir as usinas que cada vez mais crescem na região.

Para Pereira et al. (2007) na região Centro-Oeste, principalmente no Estado do Mato Grosso do Sul, ocorreu uma busca por diversificação da produção, favorecendo assim, o cultivo de cana.

No estado há 79 municípios, dentre os quais muitos estão diretamente ou indiretamente ligados ao setor sucroenergético. O estado é uma das novas fronteiras de expansão da bioenergia no Brasil (Fonseca, 2018).

PEREIRA et al. (2007) afirmam que governo estadual destacou-se em incentivos ao setor sucroalcooleiro. De forma geral e simplificada, os benefícios fiscais e tributários compreenderam a isenção ou descontos nas alíquotas de impostos.

As condições edafoclimáticas de Mato Grosso do Sul são apontadas como fator de atração para o desenvolvimento de atividades agrícolas. As características que conferem às suas terras um bom potencial produtivo estão relacionadas às questões físicas do solo, ele apresenta boa drenagem e a profundidade atingida não apresenta impedimentos físicos às raízes, um teor de argila que concede um bom armazenamento de água e característica de alta mecanização (Fonseca, 2018).

2.2 Sorgo

O sorgo originou-se no quadrante noroeste da África, abaixo do deserto do Saara e foi domesticado a cerca de 6.000 anos, através da seleção de espécies silvestres (PINHO; et al., 2014).

O sorgo é classificado como uma planta C4 (capacidade de sobrevivência em ambientes áridos e com menor quantidade de água disponível nos solos), possui alta eficiência fotossintética e, quando comparado a outros cereais requer menos água para se desenvolver, ou seja, para a produção de 1Kg, de matéria seca de sorgo sacarino são necessários cerca de 330 litros de água (MAGALHÃES, et al. 2000).

Dentre as culturas com maior potencial para serem utilizadas na produção de etanol celulósico está o sorgo (*Sorghum bicolor*), que além de possuir tolerância a vários estresses bióticos e abióticos, também possui materiais que apresentam alta produção de biomassa (RIBEIRO, et al., 2012).

Uma característica importante é que o sorgo já apresenta naturalmente menores teores de lignina que a cana-de-açúcar, além de possuir mutantes de lignina que podem apresentar até 50% menos lignina que a cultivar original (DAMASCENO, et al., 2012).

2.2.1 Sorgo – Granífero

É um tipo de sorgo de porte baixo, altura de planta até 170cm, que produz na extremidade superior, uma panícula (cacho), onde se localizam os grãos (principal produto deste tipo de sorgo). Após a colheita do grão o resto da planta ainda se encontra verde (subproduto denominado de restolho) e poderá ser usado como feno ou pastejo (SILVA, et al., 2018).

As cultivares graníferas existentes no mercado diferem entre si quanto ao rendimento de grãos, tolerância à doenças, ciclo vegetativo e outras características agrônômicas. A escolha da cultivar deve ser embasada em um conjunto de informações sobre o desempenho regional das cultivares e nas características de cada sistema de produção (FREITAS, et al., 2014).

2.2.2 Sorgo – Forrageiro

Dentre as vantagens que esta cultura apresenta como forragem verde ou silagem em épocas de escassez de alimentos, destaca-se alto rendimento de matéria seca, em relação a outras gramíneas, maior resistência à seca e menor exigência quanto a fertilidade do solo, além da possível utilização na forma de material verde picado (PORTUGAL, et al., 2003).

O plantio do sorgo forrageiro deve ocorrer do início das chuvas até meados de dezembro (OLIVEIRA, et al., 2005).

As gramíneas forrageiras possuem elevado potencial de produção de biomassa rica em fibras e lignina. Altos conteúdos de lignina e de celulose da biomassa são desejáveis para sua utilização como combustível sólido no processo de combustão, por duas razões principais: (a) pelo alto poder calorífico em virtude do elevado conteúdo de carbono na lignina e (b) pelo fato de as plantas lignificadas manterem-se viáveis, podendo ser colhidas tardiamente, mesmo com baixo conteúdo de água em seus tecidos (MARAFRON, et al., 2016).

As cultivares de sorgo forrageiro comercializados têm apresentado ampla variação no rendimento de forragem, o que pode ser atribuído a vários fatores, dentre eles as épocas de semeadura, os anos agrícolas e os locais de cultivo (SILVA, et al., 2006).

2.3 Biomassa

Biomassa é um material vegetal orgânico que armazenou a energia do sol na forma de energia química. É, ainda, a quantidade de material vivo existente numa determinada área, em determinado momento, em geral expressa em unidades de energia ou no peso seco de matéria orgânica não-fóssil (PETROBRAS, 2018).

O bagaço é subproduto da indústria e resulta da moagem da cana da qual é extraído o caldo para a produção de açúcar e etanol. Ele é utilizado atualmente como combustível para a produção de vapor que aciona as caldeiras e as turbinas responsáveis pela geração de energia elétrica (NETTO, 2015).

A renovação da biomassa ocorre através do ciclo do carbono. A queima da biomassa ou de seus derivados provoca a liberação de CO₂ (gás carbônico) na atmosfera. As plantas, através da fotossíntese, transformam esse CO₂ em hidratos de carbono, liberando oxigênio. Assim, a utilização da biomassa, desde que não seja de forma predatória, não altera a composição da atmosfera. A biomassa se destaca pelo alto poder energético e pelas

facilidades de armazenamento e transporte, além do baixo custo na produção de energia elétrica pelo fato de ser renovável e ser bem menos poluente que o petróleo e o carvão (TOMAZ, et al., 2015).

A biomassa pode ser obtida de vegetais não-lenhosos, de vegetais lenhosos, como é o caso da madeira e seus resíduos, e também de resíduos orgânicos, nos quais encontramos os resíduos agrícolas, urbanos e industriais. Assim como também se pode obter biomassa dos biofluidos, como os óleos vegetais (por exemplo, mamona e soja) (CORTEZ; LORA; GOMÉZ, 2008).

A grande utilização atual do bagaço é o seu aproveitamento como combustível das caldeiras, gerando vapor para aquecimento e para geração de energia elétrica para consumo na usina e para venda às concessionárias de energia elétrica. O grau de eficiência do sistema de cogeração ou geração, depende da tecnologia empregada em cada usina (SOARES; ROSSEL, 2018).

A biomassa geralmente é utilizada como fonte de calor e para geração de eletricidade a partir da sua combustão em fornos e caldeiras acoplados ou não a turbinas a vapor (LORA, et al., 2012).

2.3.1 Composição química da Biomassa

Os materiais lignocelulósicos são constituídos de fibras de celulose envolvidas em uma matriz amorfa de polioses e lignina. Essa matriz amorfa age como uma barreira natural ao ataque de micro-organismos e/ ou enzimas e torna essas matérias estruturalmente rígidos e pouco reativos. A composição química da biomassa lignocelulósica, geralmente contém 35-50% de celulose, seguido de 20-35% de hemicelulose, 10-25% de lignina e uma pequena quantidade de cinzas e extrativos. Esta composição química varia em função do tipo de biomassa (SANTOS, et al., 2012).

A determinação da composição química elementar da biomassa desempenha papel fundamental para entender seu comportamento energético, pois uma variação de 1% de carbono e cinzas altera o poder calorífico da amostra em 0,39 MJ/Kg e 0,2 MJ/Kg, respectivamente (MARAFRON, et al., 2016).

2.3.2 Lignina

A lignina é um polímero de unidades fenilpropanóides altamente resistente à degradação, resultando disso o seu papel na manutenção da integridade física da parede celular. (DAMASCENO, et al., 2010).

A lignina, é o polímero aromático dominante da natureza, é encontrada na maioria das plantas terrestres na faixa aproximada de 15 a 40% de peso seco e fornece integridade estrutural. Tradicionalmente, a maioria dos processos industriais que usam polissacarídeos vegetais queimam a lignina para gerar o poder necessário para transformar de maneira produtiva a biomassa. O advento dos biocombustíveis que convertem a biomassa celulósica em combustíveis de transporte líquido geraram substancialmente mais lignina do que o necessário para alimentar a operação, e, portanto, esforços estão em andamento para transformá-la em produtos de valor agregado (RAGAUSKAS, et al., 2014).

Na biomassa lignocelulósica bruta, a lignina é principalmente uma macromolécula de ligação cruzada complexa que adiciona força e rigidez às paredes celulares. É amplamente aceito que a composição da lignina e seu conteúdo em biomassa diferem entre os tipos de plantas e também entre as espécies botânicas e mesmo entre árvores e partes morfológicas da árvore (LI, et al, 2015).

2.3.3 Celulose

A celulose é o principal constituinte da biomassa lignocelulósica, sendo um polissacarídeo formado pelo encadeamento de moléculas de β -D-glicopiranoses em ligações 1,4-glicosídicas, tendo como resultado um polímero de cadeia longa e linear. Essas cadeias de celulose possuem três grupos hidroxilas (OH) em cada unidade de glucopiranoses formando ligações de hidrogênio entre as cadeias (2 por glucopiranosose) e intracadeias (2-3 por glucopiranosose), organizando-as em uma estrutura altamente ordenada (NG, et al., 2015).

2.4 Biocombustíveis

São combustíveis produzidos a partir da biomassa (matéria orgânica), isto é, de fontes renováveis – produtos vegetais ou compostos de origem animal. As fontes mais conhecidas no mundo são cana-de-açúcar, milho, soja, semente de girassol, madeira e celulose. A partir destas fontes é possível produzir biocombustíveis, como álcool, etanol e biodiesel. Os

biocombustíveis são biodegradáveis – por isso provocam menor impacto à natureza (PETROBRAS, 2018).

Os biocombustíveis são fontes de energia que não contribuem para o acúmulo de gases do efeito estufa na atmosfera. Este é o seu principal papel na matriz energética. Como os gases gerados na sua queima são reabsorvidos no crescimento da safra seguinte, há um equilíbrio entre a emissão e a absorção de poluentes (PETROBRAS, 2018).

2.4.1 Etanol

O etanol produzido de cana-de-açúcar surgiu, no Brasil, basicamente por duas razões: a necessidade de amenizar as sucessivas crises do setor açucareiro e a tentativa de reduzir a dependência do petróleo importado. Nesse sentido, no início do século XX, ocorreram as primeiras ações de introdução do etanol na matriz energética brasileira (LEITE; CORTEZ, 2007).

As raízes do setor sucroalcooleiro no Brasil remontam ao século XVI, quando foi implantado o primeiro engenho de açúcar no Brasil, em 1532, na cidade de São Vicente. O empreendimento teve tanto sucesso, que, três anos mais tarde, já era instalado outro engenho, na cidade de Olinda (SAUER, 2018).

Os custos de produção do álcool são diretamente ligados à produtividade da lavoura da cana-de-açúcar e ao rendimento industrial do processo de produção do etanol (SAUER, 2018).

2.4.2 Etanol lignocelulósico

Para a produção de etanol de segunda geração, a matéria – prima utilizada é a biomassa vegetal, a qual tem seus polímeros de parede celular transformados em açúcares simples (pré-tratamento e sacarificação) e posteriormente convertidos em etanol através da fermentação (BERNARDINO et al., 2012).

A produção de biocombustíveis lignocelulósicos envolve a produção e a coleta de biomassa, despolimerização dos polissacarídeos da parede celular (celulose e hemicelulose) em açúcares simples e fermentáveis, pelos processos de pré-tratamento e sacarificação, e conversão de açúcares simples em biocombustíveis pela fermentação (DAMASCENO, et al., 2010).

Dentre as opções tecnológicas que vêm sendo desenvolvidas no Brasil, destacam-se as iniciativas dedicadas ao etanol celulósico, cujo impacto na produtividade em etanol pode

significar um aumento de até 50% em relação ao nível atual. Com esse novo paradigma tecnológico, abre-se a possibilidade também para biocombustíveis uma nova geração de biomassas mais produtivas, com maior conteúdo de fibras, como é o caso da cana-energia (MILANEZ, et al., 2015).

O uso de matérias lignocelulósicas para a produção de etanol apresenta muitas vantagens, porém ainda é de difícil obtenção, pois são necessárias tecnologias complexas e multifásicas para o processo de hidrólise. Já em relação aos processos de separação de açúcares e remoção da lignina são necessários processos ácidos e/ou enzimáticos (BARCELOS, et al., 2011).

Este etanol é obtido através do material celulósico, proveniente dos materiais que contenham celulose, como o resultado do processamento da biomassa da cana: o bagaço e a palha. Essa tecnologia permite uma quantidade maior de etanol produzida por unidade, sem necessidade de expandir a área plantada, e mantendo a autossuficiência energética industrial (FREITA, et al., 2016).

2.4.3 Cogeração de energia

Energia renovável é a energia derivada de fontes que não usam combustíveis esgotáveis (água – energia hidroelétrica; vento – energia eólica; sol – energia solar; marés e fontes geotérmicas). Alguns materiais combustíveis como a biomassa, também podem ser considerados renováveis (TOMAZ, et al., 2015).

Na década de 80, o setor sucroalcooleiro começou a aproveitar o vapor gerado pelas caldeiras não só no processo produtivo, mas também na geração de energia elétrica para consumo próprio, evitando a compra de energia de companhias elétricas durante a safra. Ainda não havia nenhum interesse em comercializar a energia elétrica produzida nas indústrias (CASTRO, et al., 2015).

Desde a década de 1980, o bagaço queimado em caldeiras gera toda a energia necessária aos processos industriais das usinas canavieiras, permitindo-lhes a autossuficiência energética. A privatização do setor elétrico, a partir do final da década de 1990, possibilitou ao setor sucroenergético a comercialização de excedentes de energia elétrica (bioeletricidade), o que demandou investimento em equipamentos e tecnologias de maior eficiência na geração elétrica (NETTO, 2015).

Assim, com a cogeração de energia elétrica através de biomassas (bagaço da cana de açúcar, por exemplo) para ajudar a suprir as necessidades do país, as usinas de açúcar e álcool tendem a investir e se incorporar aos padrões necessários para realização deste tipo de empreendimento. Novas usinas nascem com cogeração de energia elétrica embutidas em suas plantas. Em uma usina bem dimensionada, a quantidade de bagaço é suficiente para gerar vapor para toda a fábrica, com um possível excedente para geração de eletricidade (GARCIA, 2017).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos na Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul – Unidade Universitária de Glória de Dourados.

As cultivares de Sorgo Granífero ADV 123 e Sorgo Forrageiro BRS 658 foram doadas pelo produtor aqui identificado como produtor A e as variedades de Cana-de-Açúcar RB036066 e CTC9003 foram doadas pela usina identificada como usina B.

A Figura 1 apresenta o desenvolvimento da pesquisa, desde a coleta das amostras até os resultados finais.

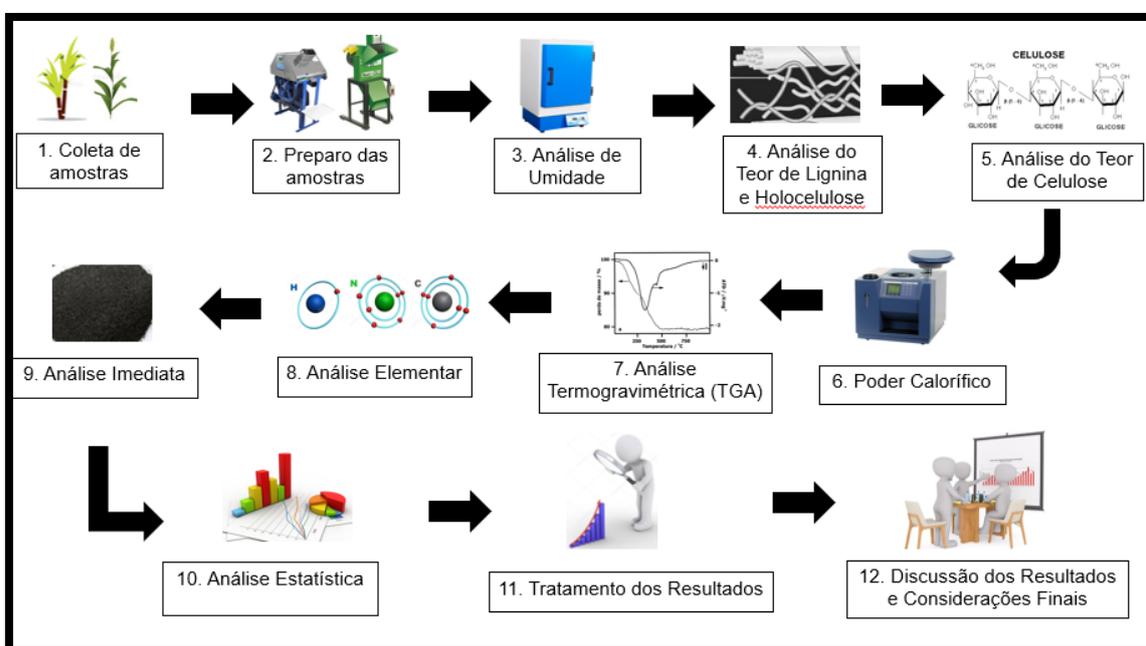


Figura 1:Desenvolvimento da pesquisa

Para o desenvolvimento da pesquisa utilizou-se bagaços de cultivares de sorgo Granífero ADV 123 e sorgo Forrageiro BRS 658 e variedades de cana-de-açúcar CTC 9003 e RB 036066, a Tabela 1 representa as cultivares e variedades e suas respectivas idades de colheita.

Tabela 1: Cultivares de sorgo e variedades de cana – de – açúcar analisadas e suas respectivas idades de colheita

Cultivar/ Variedade	Idade de colheita
Sorgo Forrageiro	90 dias/campo
Sorgo Granífero	90 dias/ campo
Cana-de-açúcar CTC	12 meses
Cana-de-açúcar RB	12 meses

Inicialmente ocorreu a moagem dos bagaços de cana-de-açúcar, em moenda - modelo 728, nº 453675 da marca vencedora Magtron, os colmos das cultivares de sorgo não precisaram passar pelo processo de moagem. Posterior ao processo de moagem, os colmos das cultivares de sorgo e os bagaços de cana passaram pelo processo de trituração em picador/triturador forrageiro TRF 400 SUPER, em seguida teve início as análises.

3.1 Teor de umidade

Para obtenção do teor de umidade utilizou-se como referência Gonçalves (2006).

Pesou-se cerca de 3g de cada biomassa em balança analítica, posteriormente foi realizada a secagem das amostras em estufa bacteriológica microp digital, à 105°C por um período de oito horas até que o material apresentasse massa constante.

Após o período na estufa, as amostras foram submetidas ao dessecador por um período de 40 minutos, em seguida foram novamente pesadas em balança analítica para a realização do cálculo do teor de umidade. A equação 1 apresenta o cálculo de teor de umidade.

Equação 1: Porcentagem de umidade (GONÇALVES, 2006).

$$\%u = \frac{(m1 - m2) \times 100}{m1}$$

Onde: %u – porcentagem de umidade; m1 – massa em gramas de matéria úmida; m2 – massa em gramas de matéria seca

3.2 Análise Teor de Lignina

A lignina foi determinada pelo método de Klason, no qual transferiu-se cerca de 1,0g da amostra de biomassa livre de extrativos para um becker de tara conhecida e adicionou-se lentamente 25 mL de ácido sulfúrico a 72% sob agitação constante com o auxílio de um bastão de vidro. Cobriu-se então a amostra com um vidro de relógio.

O becker foi levado ao banho de água gelada, a uma temperatura de 19°C, onde permaneceu por 1 hora e 30 minutos, agitando-se periodicamente.

Logo após o conteúdo foi transferido para um erlenmeyer, utilizando 400 mL de água destilada. Colocou o material para aquecer, onde permaneceu em ebulição sob refluxo por 2 horas em um fogareiro elétrico. Ao sair do aquecimento, a amostra foi filtrada a vácuo utilizando-se papel de filtro previamente tarado juntamente com um pesa-filtro.

O resíduo foi lavado com 500 mL de água destilada quente e filtrado, transferindo o papel de filtro contendo a lignina para o pesa-filtro e o material permaneceu na estufa de secagem e esterilização regulada a 110°C por 2 horas, logo após levou-se para um dessecador até adquirir temperatura ambiente e, por fim, pesou-se.

Através da diferença entre essa massa final e a massa do papel de filtro + pesa-filtro obteve-se o teor de lignina na biomassa.

3.3 Análise Teor de Holocelulose

Para obter a quantidade de holocelulose, pesou-se cerca de 4,0 g de amostra livre de extrativos, transferindo-a para um becker, adicionando 55 ml de água destilada, 10 mL de hipoclorito de sódio (6%) e 7 mL de ácido acético glacial. O material foi então levado ao banho-maria a 75°C, onde permaneceu por 30 minutos, sendo agitado periodicamente. Transcorrido esse tempo, filtrou a amostra em um funil de Gooch (previamente seco e tarado).

Este procedimento foi repetido seis vezes, até o aparecimento de um resíduo branco. Lavou-se este resíduo com cerca de 500 mL de água destilada e filtrou-o.

O funil, com o resíduo de holocelulose, foi levado para uma estufa de secagem e esterilização regulada à 105°C por 2 horas para retirar a umidade. Em seguida, transferiu o material para um dessecador até adquirir temperatura ambiente.

Prosseguiu-se com a verificação do peso em uma balança analítica e posteriormente os cálculos. Através da diferença entre a massa final e a tara do funil de Gooch determinou-se a quantidade de holocelulose.

3.4 Análise Teor de Celulose

Para a determinação de celulose, transferiu-se o resíduo da prática de holocelulose para um erlenmeyer e adicionou-se 200 mL de hidróxido de potássio a 15% (fervente). A amostra foi então levada para aquecer em ebulição suave e sob refluxo por 30 minutos.

Filtrou-se o material em papel de filtro previamente tarado juntamente com o pesa-filtro. O filtrado, contendo as poliooses, foi então desprezado e o resíduo de celulose lavado com 200 mL de água destilada quente.

Em seguida, a amostra foi transferida com o papel de filtro para o pesa-filtro e todo o material foi levado para estufa de secagem e esterilização regulada à 105°C por 2 horas para retirar a umidade, sendo conduzido a um dessecador e depois pesado.

Através da diferença da massa do material final e da massa do papel de filtro + pesa-filtro, determinou-se o teor de celulose. Assim, a diferença entre o teor de holocelulose e o teor de celulose representa o teor de poliooses na biomassa lignocelulósica.

3.5 Poder Calorífico

A determinação do poder calorífico superior foi realizada de acordo com a norma ABNT/NBR 11956/90. Utilizou-se uma bomba calorimétrica adiabática modelo IKA, C 200. As amostras utilizadas para análise do Poder Calorífico Superior - PCS foram moídas, secas e peneiradas.

Em seguida, as amostras foram prensadas na forma de pastilhas com aproximadamente 1g cada e foram colocadas em estufa a 105° C até a estabilização do peso, indicando que a amostra está seca. Após esse procedimento, as amostras foram novamente pesadas e queimadas em bomba calorimétrica. Para o cálculo do poder calorífico superior foi utilizada a Equação 2.

Equação 2: Poder calorífico superior

$$PCS = \frac{(K + VH_2O)\Delta t}{ms}$$

Onde: PCS - Poder calorífico superior (KJ/Kg); K – Constante do equipamento (413,1228 cal/°C); VH₂O – Volume de água (2700 ml); Δt – Diferença de temperatura (°C); ms – Massa seca (g).

3.6 Análise termogravimétrica

O experimento de análise termogravimétrica (TGA), foi realizado na Central Analítica do Instituto de Química da Universidade de São Paulo (USP). A análise térmica foi realizada utilizando o equipamento TGA Q500 V20.13 Build 39. As amostras foram aquecidas a partir da temperatura ambiente até 800°C, com fluxo de oxigênio de 60mL/min, com taxa de aquecimento de 10°C/min. O equipamento utilizou-se de uma margem de massa compreendida entre 1,5mg a 3,0mg. O registro da curva termogravimétrica teve início a partir de 50°C até 800°C.

3.7 Análise Elementar

O experimento de análise elementar foi realizado na Central Analítica do Instituto de Química da Universidade de São Paulo (USP). Para realização do experimento utilizou-se o método de Pregl-Dumas, neste método as amostras passam pelo processo de combustão em atmosfera de oxigênio puro, e os gases resultantes desta combustão são quantificados em um detector de condutividade térmica (TCD). Ao final do processo determina-se as porcentagens de carbono, hidrogênio e nitrogênio presentes nas amostras.

3.8 Análise imediata

Para a análise imediata os cadinhos e tampas de porcelana foram submetidos ao procedimento de calcinação, em mufla GP CIENTÍFICA modelo GP-2000C-MRP-INOX a 750°C por período de 2 horas, o objetivo deste procedimento é eliminar qualquer tipo de contaminantes que possam influenciar nos resultados das análises. Retirou-se os cadinhos da mufla e colocou-os no dessecador para esfriar por 30 minutos.

3.8.1 Teor de voláteis

Para determinar o teor de voláteis utilizou-se um suporte para cadinhos, com estrutura fabricada em ferro fundido e a base de porcelanato.

A mufla GP CIENTÍFICA foi pré-aquecida com o suporte dentro à 900 ± 5 °C, retirou-se o suporte até a tampa da mufla onde adicionou-se 3 cadinhos e mantendo-os por 3 minutos, em seguida o suporte foi movido com os cadinhos para o interior da mufla, onde permaneceu por mais 7 minutos com a porta fechada.

Os cadinhos foram retirados e colocados no dessecador por 30 minutos, após pesou-se obtendo a massa final. A Equação 3 apresenta o cálculo do teor de voláteis.

Equação 3: Teor de voláteis

$$Tv = \frac{m.seca - m2}{m.seca} \times 100$$

Onde: Tv – teor de matérias voláteis (%); m.seca – massa seca do cadinho + amostra (g); m2 – massa final do cadinho + amostra (g).

3.8.2 Teor de cinzas

Para determinar o teor de cinzas foram utilizados os cadinhos de porcelana com a amostra resultante da análise dos voláteis, os mesmos foram colocados na mufla fria, destampados, com a tampa ao lado. O aquecimento ocorreu de forma constante - 3°C/min – até 750°C, permanecendo por duas horas nesta temperatura.

Após a exposição do material a elevada temperatura e queima completa, transferiu os cadinhos contendo tais materiais para um dessecador para seu resfriamento e posterior pesagem. Por conseguinte, foi efetuado o cálculo do teor de cinzas utilizando a Equação 4.

Equação 4: Teor de cinzas

$$Tc = \frac{m2 - m1}{m.seca} \times 100$$

Onde: Tc – teor de cinzas (%); m2 – massa do cadinho + cinzas (g); m1 – massa do cadinhos + amostra seca (g); m.seca – massa da amostra seca (g).

3.8.3 Teor de carbono fixo

O teor de carbono fixo é determinado pela diferença entre a porcentagem do teor de carbono e a porcentagem do teor de voláteis, sendo assim, uma medida indireta, foi calculado segunda a Equação 5.

Equação 5: Teor de carbono fixo (%)

$$Cf = 100 - (Cz + Mv)$$

Onde: Cf – teor de carbono fixo (%); Cz – teor de cinzas (%); Mv – teor de voláteis (%).

3.9 Análise Estatística

Para a análise estatística foi realizado o teste de ANOVA, quando o mesmo resultava em um p-valor menor que 5%, demonstrando que um dos tratamentos diferenciava-se dos demais, era então realizado o teste de Tuckey.

Posteriormente, foi realizada a análise de componentes principais (PCA).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Teor de umidade

Na Tabela 3 observam-se as médias do teor de umidade encontradas para as amostras de sorgo e cana-de-açúcar. Através da análise estatística observa-se que os valores foram significativamente diferentes entre si, demonstrando que entre os Sorgos, o Forrageiro seria o mais indicado para o processo de cogeração de energia, pois apresenta menor teor de umidade (55,60%) já com relação a cana-de-açúcar a mais indicada para o processo seria a de variedade CTC, que apresenta teor de umidade de 60,94%.

No processo de cogeração de energia, segundo DE FUSCO; JEANMART E BLONDEAU (2015) a umidade do bagaço elevada reduz a eficiência energética, uma vez que na combustão, será preciso evaporar a água.

Em uma usina sucroenergética, o bagaço no último terno do tandem de moagem apresenta um teor de umidade de 50%, quando comparado ao maior e menor valor apresentado anteriormente, se faz necessário expor que a moagem ocorreu em moenda com dimensões pertinentes a uma microdestilaria e, constituída por quantidades de ternos inferior ao existente em usinas sucroenergéticas.

Tabela 2: Média dos teores de umidade

Amostra	% Teor de Umidade	
Sorgo Forrageiro	55,60	d
Sorgo Granífero	71,97	a
Cana-de-açúcar - CTC	60,94	c
Cana-de-açúcar - RB	64,25	b

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Tuckey a 1% de probabilidade.

4.2 Análise Teor de lignina, holocelulose e celulose

A Tabela 3 apresenta a porcentagem de lignina, holocelulose e celulose presente em cada amostra.

Para a produção de etanol celulósico quanto maior a quantidade de lignina mais prejudicial, segundo Chandra et al. (2012), a lignina age como uma barreira ao processo de hidrólise, ocasionando assim, maior gasto de enzimas. Observa-se que o Sorgo Forrageiro foi o que apresentou menor teor de lignina (8,67%), já o Sorgo Granífero apresentou uma porcentagem 27,56% superior de lignina em relação ao Forrageiro. Quando comparado a valores encontrados por Freita et al. (2016), para a variedade de sorgo CV568, observa-se que o mesmo encontrou valores elevados 23,20% de teor de lignina, Santos (2012) encontrou valores na faixa de 18,60% para a variedade de sorgo IPA467. Ressalta-se que quando observado o parâmetro lignina, o Sorgo Forrageiro foi o que apresentou melhor valor e seria o mais indicado para o processo de produção de etanol celulósico.

Na mesma tabela evidenciam-se os valores apresentados nas amostras de cana-de-açúcar, a variedade CTC apresentou um teor de lignina de 10,77% enquanto a variedade RB apresentou um teor de 9,93%. Freita et al. (2016), encontrou um valor próximo a 22,54% para lignina da cana-de-açúcar de variedade RB867515, valor superior ao encontrado no presente trabalho. Neste caso, para a produção de etanol celulósico a variedade mais indicada seria a cana RB.

O Sorgo Forrageiro se sobressai em relação à outra cultivar, uma vez que o teor de lignina em menor porcentagem, torna-se favorável à produção de etanol celulósico.

Segundo Lamounier (2018), holocelulose é o termo aplicado para designar os carboidratos totais existentes em uma célula vegetal após a extração da lignina, sendo composta por hemiceluloses e celulose.

Observa-se na Tabela 3 que a análise de holocelulose não apresentou diferença estatística entre as variedades de sorgo, o mesmo ocorreu para as cultivares de cana-de-açúcar.

Para as variedades de cana-de-açúcar os valores encontrados ao analisar a holocelulose foram de 48,84% para RB e 48,33 % para a CTC, Macedo et al. (2014), ao analisarem o bagaço de cana-de-açúcar encontraram valor de aproximadamente 70,31% para holocelulose, essa diferença significativa pode estar relacionada a forma como foram analisadas, uma vez que para o presente trabalho extraiu-se a holocelulose do bagaço,

enquanto para a análise de Macedo et al. (2014), a mesma foi obtida através da subtração da massa inicial – livre de extrativos – do teor de lignina e cinzas.

As variedades de sorgo analisadas apresentaram valores de holocelulose de aproximadamente 52,43% para o sorgo Forrageiro e 52,23% para o sorgo Granífero, valores próximos ao encontrado por Braz; Ascheri (2015), ao avaliarem o bagaço de sorgo sacarino que encontraram valor próximo a 51,59% de holocelulose, observa-se que o valor de holocelulose para variedades diferentes apresentou pouca variação.

Os valores de holocelulose, tanto para as cultivares de cana quanto para as variedades de sorgo estão dentro dos padrões apresentados por outros autores.

Para a produção de etanol celulósico, o teor de celulose se faz importante, uma vez que, a partir dele será realizado o processo de conversão em açúcares. Observa-se que as variedades de cana-de-açúcar apresentaram maiores teores de celulose, quando comparadas as cultivares de sorgo.

O teste de Tuckey descrito na Tabela 3 demonstra que não há diferença estatística entre as cultivares de sorgo, observa-se ainda que entre o Sorgo Forrageiro e a cana-de-açúcar RB também não há diferença estatística quanto a porcentagem de celulose presente. Porém, há diferença estatística entre as amostras de Sorgo Granífero e cana-de-açúcar CTC, sendo a variedade CTC mais promissora no processo de conversão do etanol celulósico, uma vez que apresenta maior porcentagem de celulose 48,92%, sendo 16% superior ao Sorgo Granífero.

Estatisticamente o percentual de celulose do Sorgo Granífero e Forrageiro não diferiu, porém quando observado o percentual de lignina, há diferença estatística entre eles, sendo o mais indicado nesse caso para o processo de produção de etanol celulósico o Sorgo Forrageiro por apresentar menor teor de lignina e conseqüentemente maior teor de celulose. Com relação a cana-de-açúcar as variedades RB e CTC não diferiram estatisticamente entre si, tanto no teor de lignina quanto no teor de celulose, porém a variedade CTC apresentou maior teor de celulose, e apesar de apresentar alto teor de lignina em relação a RB, ainda é a mais indicada para o processo de produção de etanol celulósico.

Tabela 3: Porcentagem de Lignina, Holocelulose e Celulose

Variedade	Lignina (%)	Holocelulose (%)	Celulose (%)
Sorgo Forrageiro	08,67 c	52,43 a	43,94 bc
Sorgo Granífero	11,97 a	52,23 a	40,05 c
Cana-de-açúcar RB	09,93 bc	48,84 b	46,88 ab
Cana-de-açúcar CTC	10,77 ab	48,33 b	48,92 a
C.V.	5,38	1,01	3,84
DMS	1,57	1,44	4,87

DMS – Diferença mínima significativa; Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Tuckey a 1% de probabilidade

4.4 Poder calorífico

A partir da Figura 2 observa-se que a cana-de-açúcar da variedade CTC apresentou maior quantidade de poder calorífico superior (18003 kJ/kg), sendo o Sorgo Granífero o que menos se destacou (17440 kJ/kg). Melo et al. (2016), avaliou o poder calorífico da variedade de cana-de-açúcar CTC 04 em comparativo com o sorgo sacarino, neste estudo, observou-se que o sorgo sacarino (17871,5 kJ/kg) se destacou com relação ao poder calorífico, porém quando correlacionado com os valores encontrados para CTC e RB, as duas variedades de cana-de-açúcar seriam mais viáveis para uso em cogeração de energia, por apresentarem poder calorífico superior às cultivares de sorgo.

As amostras de cana-de-açúcar foram as que apresentaram maior poder calorífico superior (18003 kJ/kg para CTC e 17876 kJ/kg para RB), corroborando com Oliveira (2014), que ao analisar bagaços de cana-de-açúcar de diferentes usinas encontrou valores de poder calorífico superior para o bagaço A1 de 17150,40 kJ/kg e para o bagaço A4 de 16657,68 kJ/kg.

Silva; Morais (2008) ao analisarem o bagaço de cana demonstraram que quanto menor a umidade maior será o poder calorífico, observa-se a partir da Figura 2 que a variedade CTC apresentou o maior poder calorífico, e quando analisada a umidade no item 4.1, com relação a cana RB (64,25%) destacou-se com baixa umidade de 60,94%.

As amostras que demonstraram maior viabilidade para cogeração de energia quando analisado o poder calorífico foram a CTC e o Sorgo Granífero.

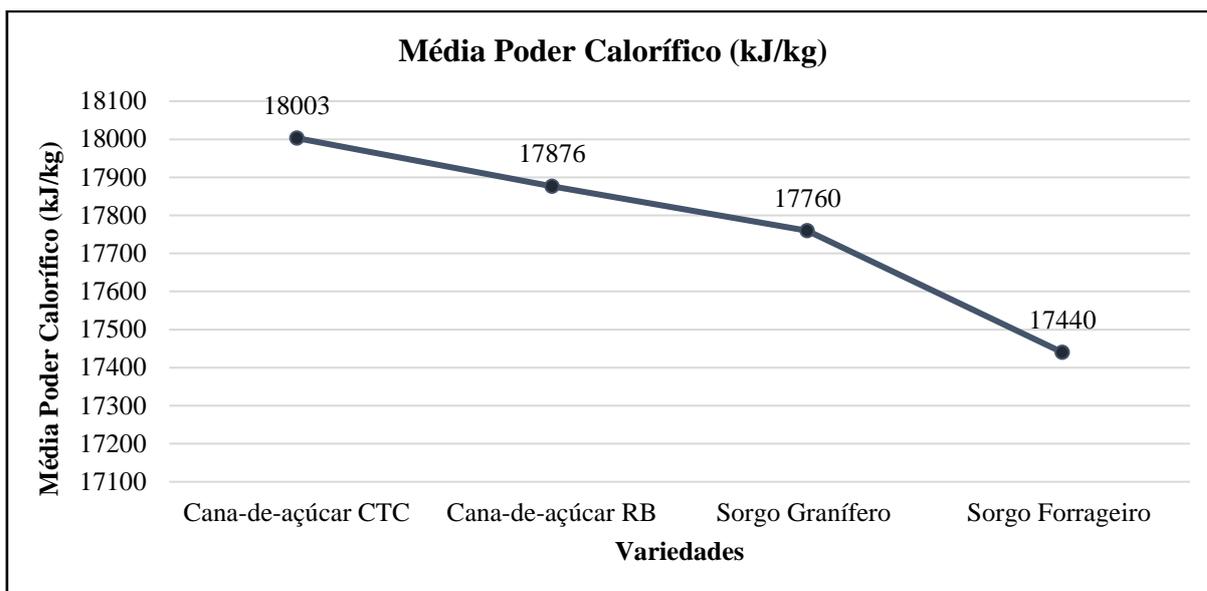


Figura 2: Média Poder Calorífico (kJ/kg)

4.5 Análise Termogravimétrica

A partir da Figura 3 até a Figura 6, é possível observar o gráfico de TG em função da DTG para as biomassas de cana-de-açúcar e sorgo sacarino, a linha presente no gráfico na cor verde indica a variável da porcentagem do peso, enquanto as linhas em azul representam a derivada do peso – relação de perda de peso em função do aumento de temperatura.

Ao estudar a análise termogravimétrica Orfão; Figueiredo (2001) evidenciaram que em temperaturas abaixo de 230 °C predomina a decomposição da hemicelulose; entre 230° e 260°C, a hemicelulose e a celulose sofrem decomposição térmica. Entre 260 e 290 °C, considera-se o final da decomposição da hemicelulose, predominando a seguir a decomposição da celulose.

Em destaque na Figura 3 observa-se o pico de degradação da cana CTC em 443 °C, neste ponto ela obteve 46,98% de perda de massa e chega ao final da análise com um teor de cinzas de 23,06%.

A cana RB, na Figura 4, apresenta uma degradação a 446,08 °C, apresentando uma perda de massa de 38,24% e um teor de cinzas ao final do processo de 17,46%.

Na Figura 5 observa-se o Sorgo Granífero, o mesmo a 438,22 °C apresenta perda de massa de 57,48% e um teor de cinzas de 25,43%.

Com relação ao Sorgo Forrageiro, observa-se na Figura 6 que o pico de degradação deu-se em 436,18 °C, com perda de 44,82% de massa e um teor de cinzas de 23,73% ao final do processo.

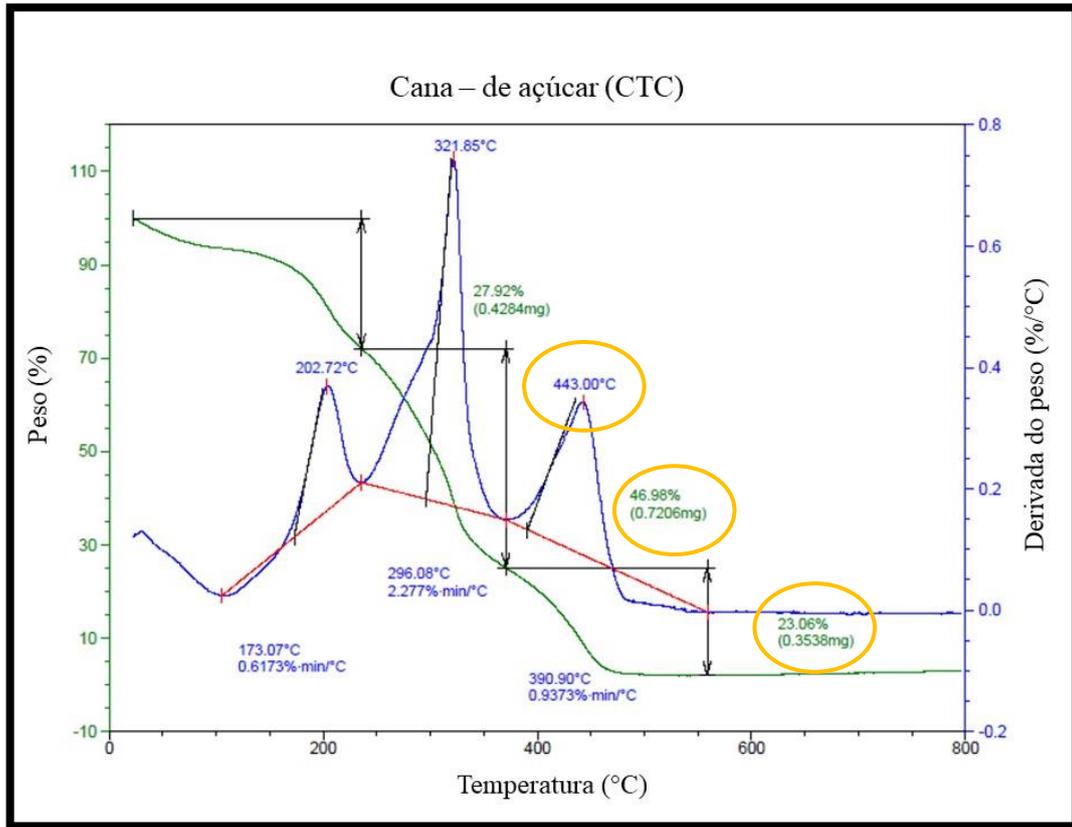


Figura 3: Gráfico TGA -Cana – de – açúcar (CTC)

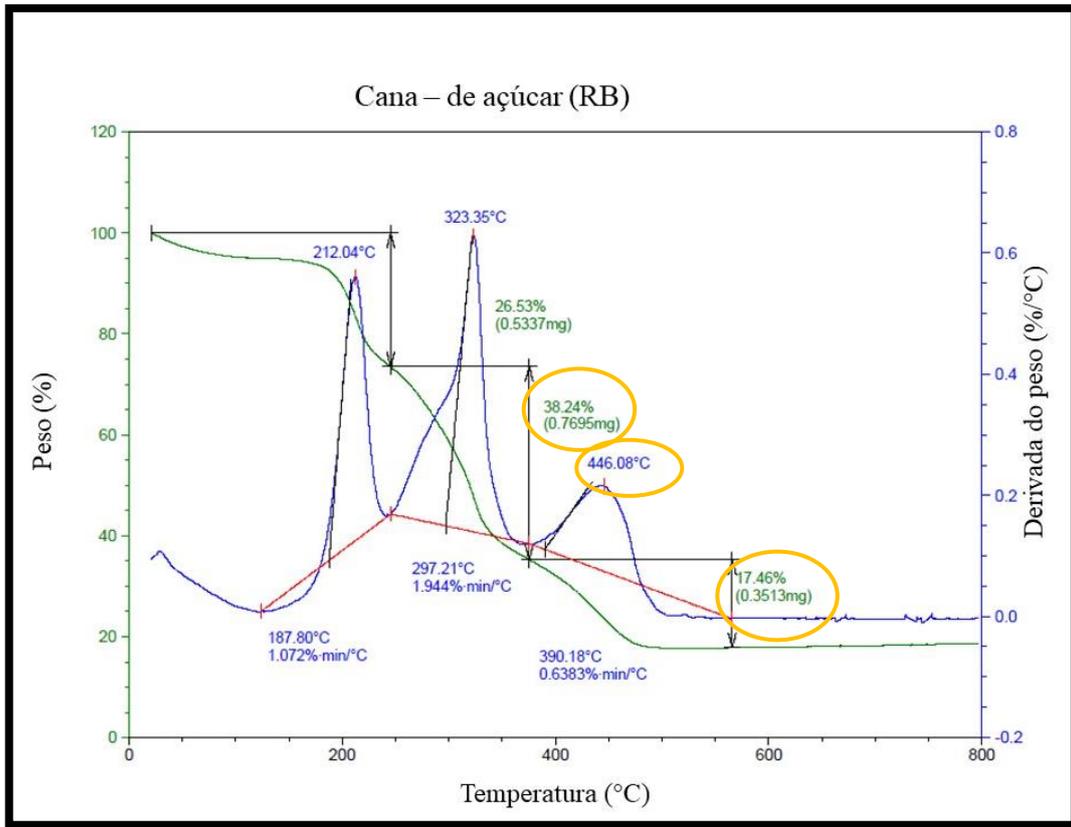


Figura 4: Gráfico TGA – Cane-de-açúcar (RB)

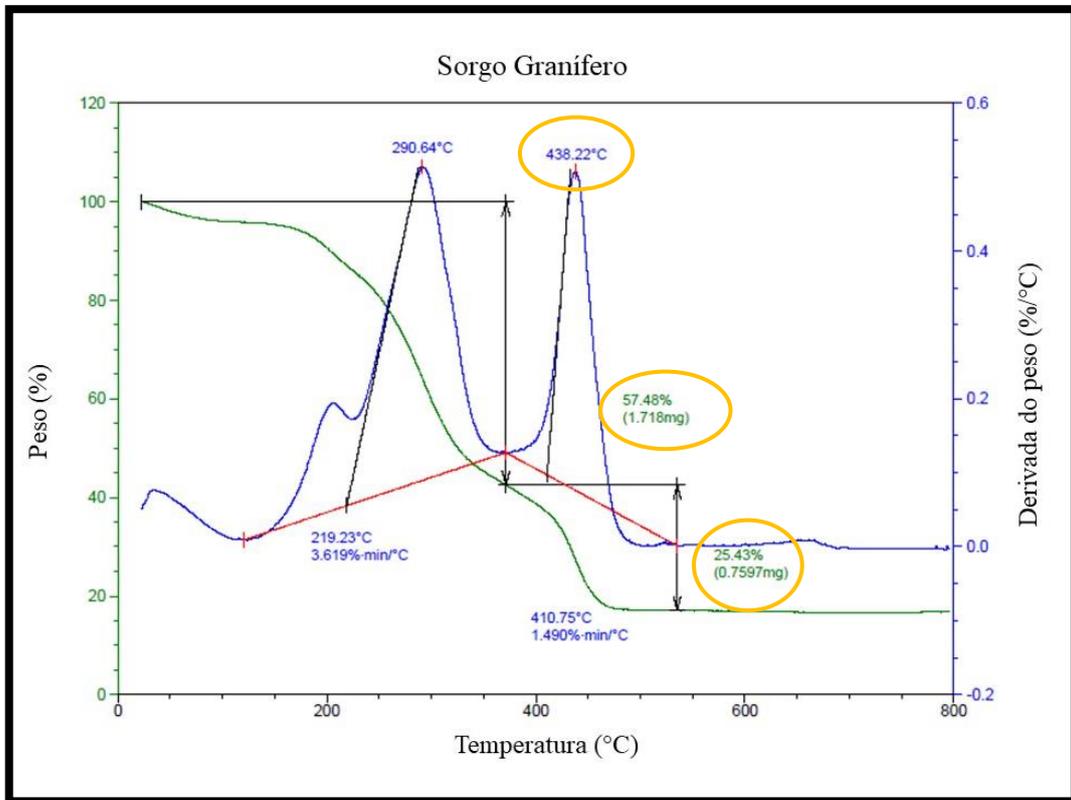


Figura 5: Gráfico TGA - Sorgo Granífero

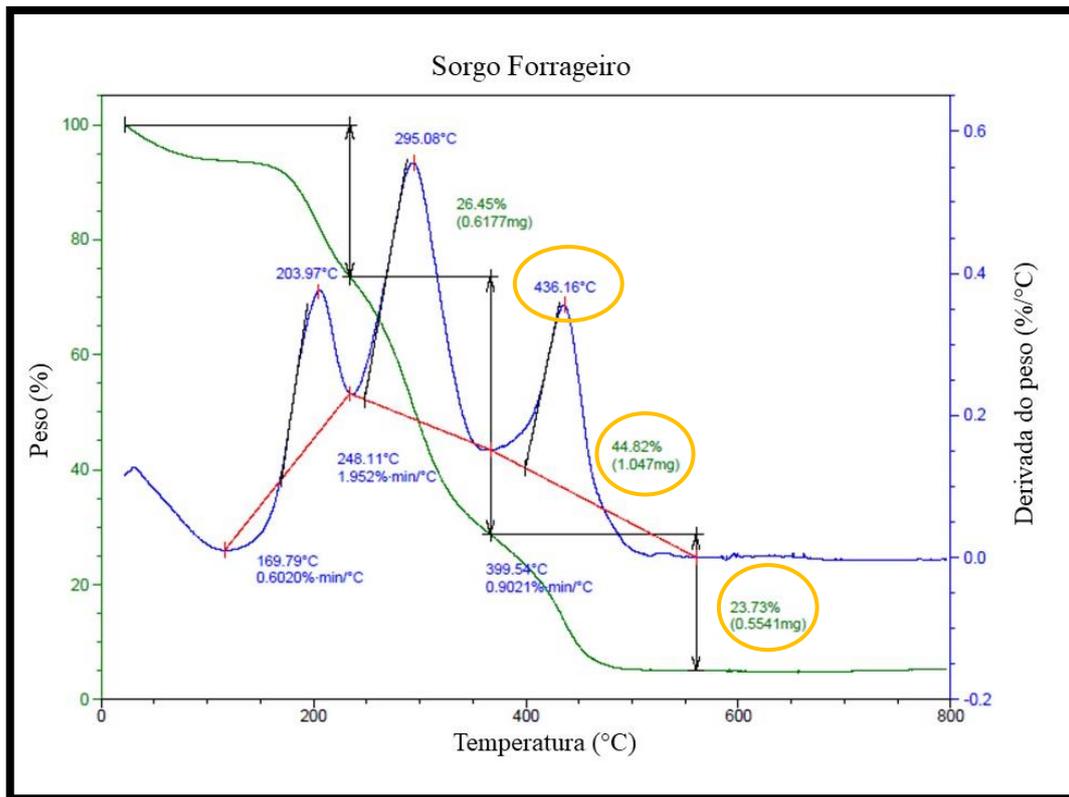


Figura 6: Gráfico TGA - Sorgo Forrageiro

4.6 Análise Elementar

Na Tabela 4 estão apresentados os valores referentes à análise elementar, observa-se os valores encontrados na elaboração do trabalho, e valores de referência de trabalhos anteriores.

A análise elementar foi realizada para verificar a porcentagem de massa de carbono, hidrogênio e nitrogênio, segundo Neto (2001) é a característica técnica mais importante do combustível e constitui a base para análise dos processos de combustão.

Quando analisada a porcentagem de carbono, as variedades de cana obtiveram valores de 43,40% para RB e 44,40% para CTC, próximos ao encontrado por Gomes et al. (2013) e Resende (2003) - 45,05% e 45,92% respectivamente.

Na análise da porcentagem de hidrogênio, Resende (2013) apresenta valor de 6,23% próximo ao encontrado para a variedade CTC (6,26%), já Gomes et al. (2013) apresenta alto valor de hidrogênio em sua análise (4,86%).

Com relação a porcentagem de nitrogênio, observa-se baixa concentração para as variedades RB (0,34) e CTC (0,32) quando correlacionado ao valor apresentado por Gomes et al. (2013) de 0,68%.

As cultivares de sorgo apresentaram valores próximos aos encontrados por Yin et al. (2013), porém destoaram dos valores apresentados por Cardoso et al. (2011), apresentando elevada porcentagem de carbono e hidrogênio, 68,33% e 8,64% respectivamente, e baixa porcentagem de nitrogênio (0,08%).

Tabela 4: Análise elementar

Amostras	% Carbono	% Hidrogênio	% Nitrogênio	Fonte
Cana-de-açúcar RB	43.40	6.35	0.34	Autor
Cana-de-Açúcar CTC	44.40	6.26	0.32	Autor
Bagaço de cana-de-açúcar	45.05	4.86	0.68	Gomes et al. (2013)
Bagaço de cana-de-açúcar	45.92	6.23	0.38	Resende (2003)
Sorgo Granífero	44.88	6.06	1.30	Autor
Sorgo Forrageiro	42.81	6.33	0.49	Autor
Bagaço de Sorgo	68.33	8.64	0.08	Cardoso et al. (2011)
Sorgo Sacarino	45.71	5.80	0.33	Yin et al. (2013)

A Tabela 5 apresenta os resultados da análise elementar com sua respectiva estatística.

Observa-se ao avaliar a porcentagem de carbono não ocorreu diferença estatística entre a cana-de-açúcar CTC (44,40%) e o Sorgo Granífero (44,88%), ocorreu diferenças entre as outras variedades. Com relação a porcentagem de hidrogênio entre a variedade RB (6,35%) e o Sorgo Forrageiro (6,37%) não houve diferença estatística. A análise do nitrogênio apresentou diferença estatística entre as variedades de sorgo, Sorgo Granífero (1,30%) e Sorgo Forrageiro (0,49%).

As análises demonstraram resultados dentro dos padrões para todas as variedades, apenas o Sorgo Granífero na análise de nitrogênio apresentou resultado elevado.

Tabela 5: Teste Tuckey análise elementar

Variedade	% Carbono	% Hidrogênio	% Nitrogênio
Cana-de-açúcar RB	43,40 b	6,35 a	0,34 c
Cana-de-açúcar CTC	44,40 a	6,26 b	0,32 c
Sorgo Granífero	44,88 a	6,06 c	1,30 a
Sorgo Forrageiro	42,81 c	6,37 a	0,49 b

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Tuckey a 1% de probabilidade

4.7 Análise imediata

4.7.1 Teor de voláteis e Teor de carbono fixo

A Tabela 6 apresenta os resultados encontrados para a análise imediata. Segundo Marafion et al. (2016) a porcentagem de carbono fixo apresenta uma relação diretamente proporcional aos teores de lignina e inversamente proporcional ao teor de holocelulose. Já o teor de voláteis apresenta um papel importante no processo de ignição e etapas iniciais da combustão da biomassa, pois se degrada mais facilmente e ajuda a manter a chama da combustão.

Como a Tabela 6 demonstra, as variedades de cana-de-açúcar não apresentaram diferença estatística com relação a porcentagem de carbono, RB - 17,84% e CTC -17,98%. Os valores do presente trabalho encontram-se 9,44% acima do valor apresentado por Resende (2003) ao analisar o bagaço de cana-de-açúcar (8,40%), Carvalho (2015) também apresenta baixo valor de carbono (6,93%).

Com relação ao teor de voláteis observa-se que as variedades de cana-de-açúcar não apresentaram diferenças estatísticas entre si, Resende (2003) e Carvalho (2015) ao analisarem o bagaço de cana descreveram valores entre 88% e 91% de voláteis.

Quando observado o teor de carbono fixo, Miranda (2011), descreve em seu trabalho ter encontrado valor 1,89%, em relação aos valores descritos por Carvalho (2016) -16,64%-, e encontrados no presente trabalho, o mesmo encontra-se abaixo das porcentagens relatadas que estão entre 16% e 23%. Com relação ao teor de carbono fixo, o Sorgo Forrageiro e Granífero apresentaram diferenças estatísticas entre si (Tabela 6).

Para as cultivares de sorgo observa-se na Tabela 6 alto teor de voláteis e diferença estatística entre eles, as cultivares Granífero (72,04%) e Forrageiro (76%) apresentaram

valores próximos ao descrito por Carvalho (2016), para o sorgo sacarino (74,46%), já o bagaço de sorgo descrito por Miranda (2011) - 81%-, apresentou valor 7% superior aos descritos anteriormente.

Para o processo de produção de etanol celulósico a variedade mais indicada para o processo seria o Sorgo Forrageiro, por apresentar menor porcentagem de carbono fixo e conseqüentemente menor porcentagem de lignina. Já para o processo de cogeração de energia as variedades de cana-de-açúcar seriam mais indicadas para o processo por apresentarem maior porcentagem de teor de voláteis.

Tabela 6: Teste de Tuckey análise imediata

Amostras	Carbono (% b.s.)	Voláteis (% b.s.)
Cana-de-açúcar RB	17,84 c	81,10 a
Cana-de-Açúcar CTC	17,98 c	80,84 a
Sorgo Granífero	22,68 a	72,04 c
Sorgo Forrageiro	20,81 b	76,00 b

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Tuckey a 1% de probabilidade

4.7.2 Teor de Cinzas e Combustibilidade

A Figura 7 demonstra o gráfico do teor de cinzas e combustibilidade. O teor de cinzas das canas de variedade RB e CTC foram relativamente baixos, 1,07% e 1,18% respectivamente, quando observado os valores encontrados por Resende (2003), e Carvalho (2015), 2,93% para ambos.

O sorgo Granífero apresentou um teor de cinzas de 5,28% relativamente baixo quando comparado com valores apresentados por Miranda (2011) de 9,50% para o bagaço de sorgo, já Carvalho (2016) ao analisar o Sorgo Sacarino encontrou valor de 2,80% sendo ele o mais baixo entre as variedades de sorgo, para o Sorgo Forrageiro o valor foi de 3,20%.

Observa-se que a cana-de-açúcar da variedade RB apresentou maior teor de combustibilidade e conseqüentemente um menor teor de cinzas, sendo neste caso a mais indicada para uso na cogeração de energia, pois possui maior combustibilidade, já para o mesmo processo, o sorgo Granífero seria o menos indicado, pois possui alto índice de cinzas e baixa combustibilidade.

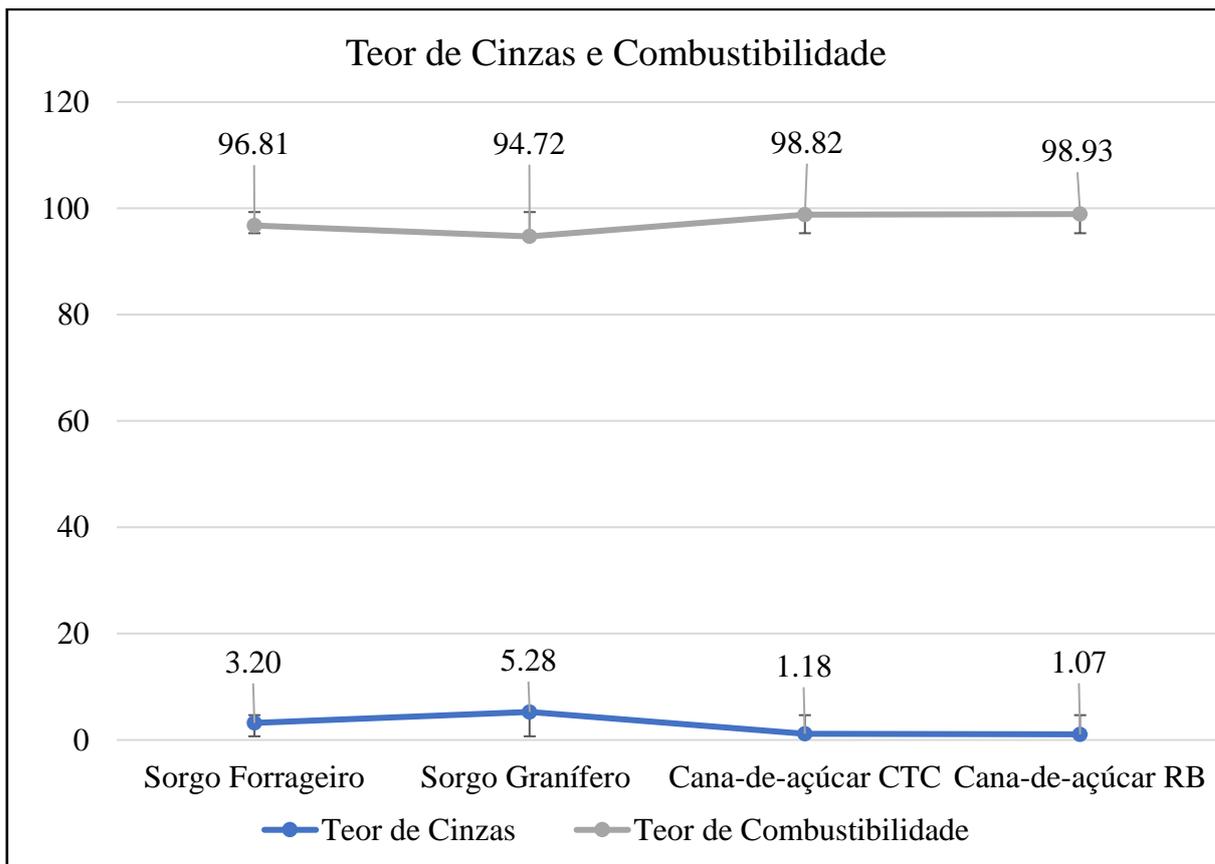


Figura 7: Porcentagem teor de cinzas e Combustibilidade

4.8 Análise Multivariada de Componentes Principais

Neste estudo a técnica de PCA foi empregada para diferenciar as variáveis estudadas sendo poder calorífico; porcentagem de celulose, lignina e holocelulose; conteúdo de carbono, umidade e cinzas, nos quatro tipos de biomassas utilizadas, cana-de-açúcar RB e CTC e Sorgo Granífero e Forrageiro.

A Tabela 7 demonstra o número de componentes principais necessários para explicar 100% da variabilidade dos dados. Observa-se que duas componentes principais explicam 88%, sendo a PC1 73% e PC2 15%. Demonstra também os autovalores obtidos para cada componente principal, evidenciando que apenas as duas primeiras PCs devem ser trabalhadas conforme recomendado por Kaiser (1960), que apenas autovalores maiores que ≥ 1.0 são significativos para descrição da variabilidade dos dados.

Tabela 7: Valores dos autovalores das componentes principais (%) e valores das correlações (loadings) das variáveis com cada PC.

	<i>PC1</i>	<i>PC2</i>
<i>Autovalor</i>	5.84	7.07
<i>Variância (%)</i>	73%	15%
<i>Valores (loadings)</i>		
<i>Celulose (%)</i>	0.990612	-0.067924
<i>Holocelulose (%)</i>	-0.893033	-0.387141
<i>Lignina (%)</i>	-0.372344	0.657912
<i>Poder calorífico (J/g)</i>	0.978788	-0.198715
<i>Umidade (%)</i>	0.135184	-0.753332
<i>Carbono (%)</i>	-0.989614	-0.135573
<i>Cinzas (%)</i>	-0.994505	-0.038427
<i>Voláteis (%)</i>	0.993325	0.091091

A Figura 8 apresenta a distribuição das variáveis medidas no plano das componentes principais PC1 x PC2. Os valores de contribuição de cada variável são mostrados na Tabela 7. Nota-se que PC1 teve contribuições positivas das variáveis celulose, poder calorífico, umidade e voláteis. Já as demais variáveis contribuíram negativamente, sendo o conteúdo de cinzas (-0.99) a que mais afetou PC1. Em relação a PC2, as variáveis lignina e umidade, foram as que mais afetaram.

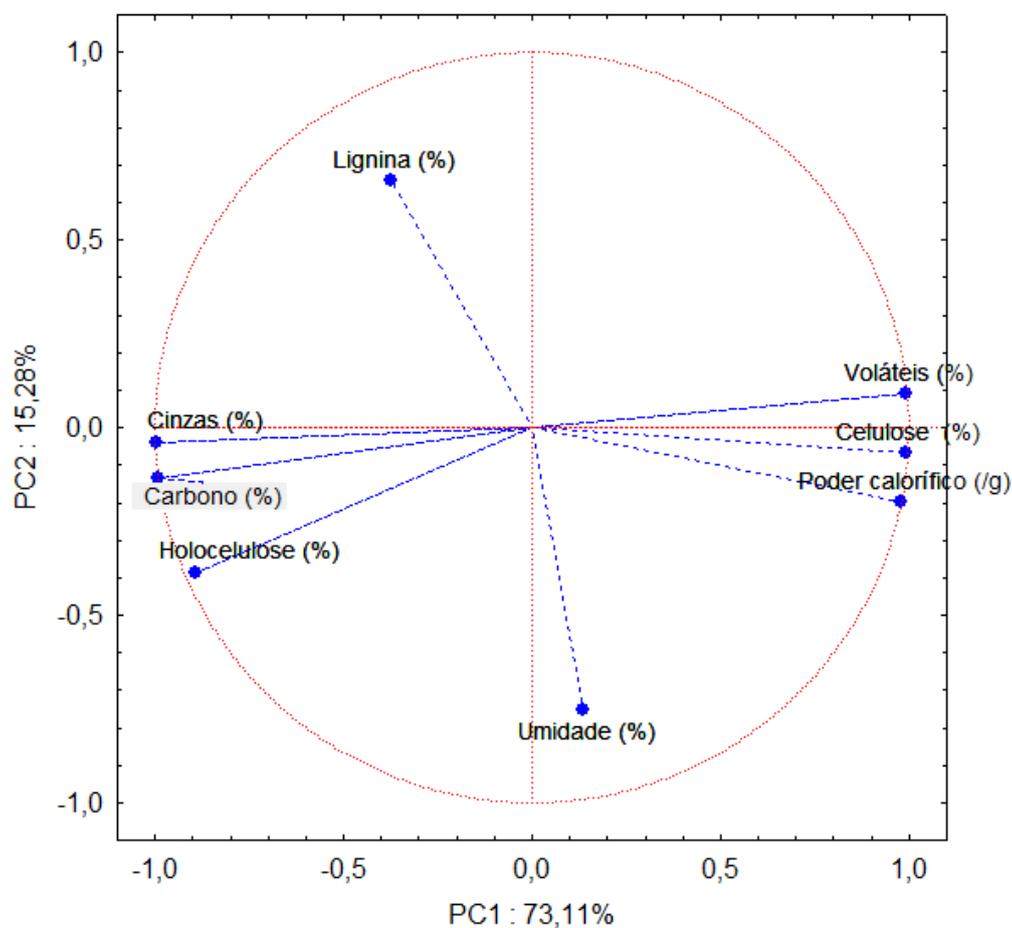


Figura 8: Distribuição das variáveis no plano das PCS (CP1 x CP2).

A Figura 9 mostra a projeção das amostras no plano de PC1 x PC2. Observa-se que houve a distinção entre variedades de biomassa utilizadas, formando-se um grupo e duas amostras isoladas. O grupo formado por RF1 e CTC1 (cana-de-açúcar RB e cana-de-açúcar CTC respectivamente), a direita de PC1, estão fortemente correlacionadas pelas variáveis conteúdo de voláteis (%), celulose (%) e poder calorífico (Figura 8). Tais amostras apresentam maior conteúdo celulose e voláteis, conforme demonstrado anteriormente, resultando em um poder calorífico superior as demais amostras. As amostras SG1 e SF1 (sorgo Granífero e Forrageiro, respectivamente) ficaram isoladas das demais, visto que, SG1 localizada a esquerda de PC1 e acima de PC2 foi influenciada pelo conteúdo de lignina (%), enquanto SF1 apresentou maior correlação com a variável umidade (%).

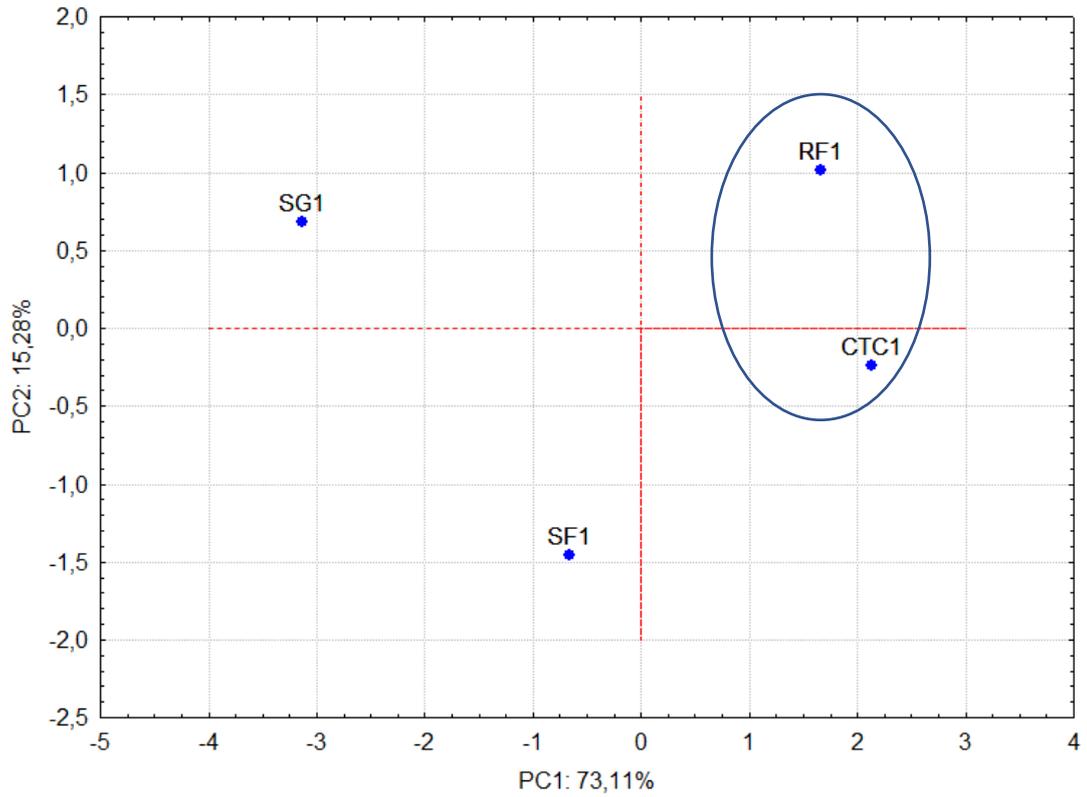


Figura 9: Projeção dos grupos no plano das CPs (CP1 x CP2).

Deste modo, nota-se que PC1 separou as amostras, apresentou diferença entre os extratos utilizados, e observa-se que há um comportamento entre a porcentagem de celulose e voláteis, quanto maior estes valores maior o poder calorífico gerado.

5 CONCLUSÃO

Conclui-se que entre as variedades de cana-de-açúcar a CTC apresentou maior potencial para a produção de etanol celulósico, pois possui maior percentual de celulose (48,92%).

No que tange a produção de bioeletricidade, tendo como referência a produção de vapor geado pela caldeira. A amostra de Sorgo Granífero destacou-se em quantidade de lignina (11,97%). No entanto, o poder calorífico superior apresentado pela amostra de biomassa CTC (18003 kJ/kg) também a torna como um importante potencial de cogeração de bioenergia.

Para a produção de etanol celulósico dentre as variedades analisadas a mais viável é o Sorgo Forrageiro, pois além de apresentar baixo teor de lignina (8,67%) e consequentemente baixa porcentagem de carbono fixo (20,81%), apresentou também alta porcentagem de celulose (43,94%).

Com relação a cogeração a variedade mais indicada é a CTC por apresentar baixo teor de umidade (60,94%), alto teor de lignina (10,77%) e elevado poder calorífico (18003 kJ/kg), apresentou também alto teor de voláteis (80,84%), que contribuem para o processo de cogeração de energia.

As cultivares de sorgo apresentaram-se viáveis não somente para a produção de etanol celulósico, como também para o processo de cogeração, tornando-se uma alternativa para o período de entressafra para as usinas sucroalcooleiras presentes no estado do Mato Grosso do Sul.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Coque – Determinação do poder calorífico superior – Método de ensaio, NBR 11956. 1990. 6p.

BARCELOS, C.A.; MAEDA, R.; ANNA, L. M. M. S.; JUNIOR, N. P. Aproveitamento das frações sacarínea, amilácea e lignocelulósica do sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] para a produção de bioetanol. Boletim técnico da Petrobrás. v. 54. nº 03. Rio de Janeiro. 2011.

BERNADINO, K. C.; SOUZA, V. F.; JUNIOR, G. A. C.; MOURÃO, C. S.; SILVA, K. J.; SANTOS, C.V.; COSTA, R. K.; PARRELLA, R. A. C.; SCHAFFERT, R. E. Caracterização de cultivares de Sorgo Sacarino visando a produção de etanol de primeira e segunda geração. XXXIX Congresso Nacional de Milho e Sorgo. Águas de Lindóia. 2012.

BORGES, A.C.; SILVA, M. S.; ALVES, C. T.; TORRES, E. A. Energias renováveis: uma contextualização da biomassa como fonte de energia. REDE – Revista eletrônica do PRODEMA. 2016.

BORIOUCHKINE, A.; ZAKHAROV, A.; JÄMSÄJOUNELA, S-L. Dynamic modeling of combustion in a BioGrate furnace: The effect of operation parameters on biomass firing. Chemical Engineering Science, v. 69, n. 1, p.669-678, 2012.

BRAND, M. A.; STÄHELIN, T. S. F.; FERREIRA, J. C.; NEVES, M. D. Produção de biomassa para geração de energia em povoamentos de *Pinus taeda* L. com diferentes idades. Rev. Árvore, Viçosa, v. 38, n. 2, p. 353-360, Apr. 2014.

BRAZ, L. M. M.; ASCHIERI, D. P. R. Extração e caracterização da celulose do bagaço de Sorgo Sacarino (*Sorghum bicolor* L. Moench). II Congresso de ensino, pesquisa e extensão da UEG. Pirenópolis. 2015.

Cardoso, C. R. ; Miranda, M. R. ; Santos, K. G. ; Ataíde, C. H.. Determination of Kinect parameters and analytical pyrolysis of tobacco waste and sorghum bagasse. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. V. 92. nº. 2. 2011.

CARVALHO, D. J. Geração de bioeletricidade em usina sucroalcooleira utilizando bagaço, palha de cana e sorgo biomassa. Tese de Doutorado - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas – Unicamp, Campinas, 2015.

CARVALHO, W. S. Pirólise rápida do bagaço de sorgo sacarino: influência da temperatura, de aditivos e de catalisadores. Tese de Doutorado – Universidade Federal de Uberlândia. 2016.

CASTILHO, F. R. A expansão da agroindústria canavieira no estado do Mato Grosso do Sul: características e crescimento. 2013. 103 f.. Dissertação (Mestrado em Agronegócios) – Faculdade de Administração, Contábeis e Economia, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados/MS, 2013.

CASTRO, M. D. G.; CORREIA, A. J.; OLIVEIRA, A. A.; FRANCISCO, R. M. Cogeração a partir do bagaço da cana-de- açúcar: alternativa para expansão da oferta de energia elétrica. XI Congresso Nacional de Excelência em Gestão. 2015

CHANDRA, R.; TAKEUCHI, H.; HASEGAWA, T. Methane production from lignocellulosic agricultural crop wastes: a review in context to second generation of biofuel production. Renewable and Sustainable energy reviews. V. 16. 2012.

CENTENARO, M. Um estudo sobre investimento direto externo no setor sucroenergético do estado de Mato Grosso do Sul. 2012. 199 f.. Tese (Doutorado em Administração) – Programa de Pós Graduação em Administração, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo/RS, 2012.

CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GOMÉZ, E. O. Biomassa para energia. Campinas, SP: Ed. UNICAMP. 2008.

DAMASCENO, C. M. B.; SOUZA, M. S.; NODA, R. W.; PARRELLA, R. A. C.; SCHAFFERT, R. E.; MAGALHÃES, J. V. A importância da lignina para a produção de etanol de segunda geração. EMBRAPA – Milho e Sorgo. Documento 108. Sete Lagoas/MG. 2010.

DAMASCENO, C. M.B.; PARRELLA, R. A. C.; RODRIGUES, J. A. S.; SCHAFFERT, R. E. Validação de marcadores moleculares para introgressão da característica nervura marrom (bmr 6) em linhagens de sorgo biomassa utilizando retrocruzamento assistido. EMBRAPA – Milho e Sorgo. Circular Técnica 184. Sete Lagoas/MG. 2012.

DAROS, E. OLIVEIRA, R. A., BARBOSA, G. V. S. B. 45 anos de variedades RB de cana – de – açúcar: 25 anos de RIDESA. Ridesa. 1ªed. Curitiba. 2015.

DE FUSCO, L.; JEANMART, H.; BLONDEAU, J. A modelling approach for the assessment of an air-dryer economic feasibility for small-scale biomass steam boilers. Fuel Processing Technology, v. 134, p. 251- 258, 2015.

DENARI, G. B.; CAVALHEIRO, E. T. G. Princípios e aplicações de análise térmica/org. IQSC. São Carlos. 2012.

EMBRAPA. Silagem de alta qualidade. BRS 658 – Híbrido de sorgo silageiro. 2016. Disponível em: < <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/143106/1/BRS-658.pdf> > Acessado em: Setembro/ 2018.

FONSECA, R. O. A atuação do grupo Odebrecht Agroindustrial (ATVOS) no setor sucroenergético: o caso dos Municípios de Nova Alvorada do Sul -MS e Mirante do Paranapanema – SP. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia. UNESP. 2018.

FREITA, C. M.; FREITA, L.; ROVIERO, J.; TENÓRIO, E.; RABELO, S.; MUTTON, M. Caracterização de cinzas, lignina, celulose e hemicelulose em bagaço de sorgo e cana – de – açúcar. I Congresso Brasileiro de Microbiologia Agropecuária, Agrícola e Ambiental (CBMAAA). Jaboticabal/SP. 2016.

FREITAS, E. P.; QUEIRÓS, M. O uso dos agrocombustíveis no contexto das mudanças climáticas: algumas considerações sobre as políticas de energia em Portugal (UE) e no Brasil. Revista Produção Acadêmica – Núcleo de estudos urbanos regionais e agrários – NURBA. n. 1.p. 5-22. 2015.

FREITAS, R. S.; BORGES, W. L. B.; TICELLI, M. Sorgo Granífero – Desempenho agrônômico de cultivares. Pesquisa e Tecnologia. V. 11. N 1. 2014.

GARCIA, A. P. Eficiência de combustão em caldeiras aquatubulares da Usina Odebrecht Alto Taquari. Revista On-Line IPOG – Especialize. 2017

GOMES, B.L.; MARTELLI, F. H.; SILVA, W. T. L. Caracterização físico-química e morfológica de biomassa de capim-elefantes, capim-mombaça, brachiaria, sorgo-Embrapa e bagaço de cana-de-açúcar. III Symposium on Agricultural and Agroindustrial Waste Management (III SIGER). 2013.

GONÇALVES, J.E. Caracterização química e energética de bagaço de cana-de-açúcar produzidos com rejeitos de resíduos sólidos humanos e madeira *Eucalyptus grandis*. Botucatu, 2006.

KAISER, H.F. The application of electronic computers to factor analysis. Educ. Psychol. Meas. 1960.

KAISER, H.F. A second generation little jiffy. Psychometrika. 1970.

LAMOUNIER, K. F. R. Produção de etanol hidrolisado de bagaço de cana-de-açúcar utilizando *Galactomyces geotichum* e *Saccharomyces cerevisiae*. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de pós-graduação em biocombustíveis. 2018.

LEITE, R. C.; CORTEZ, L. A. B. O etanol combustível no Brasil. Biocombustíveis no Brasil – realidades e perspectivas. Arte Impressa. 2007.

LERAYER, A. et al. Guia da cana-de-açúcar – avanço científico beneficia o país. CIB – Conselho de Informações sobre biotecnologia. 2009.

LI, C.; ZHAO, X.; WANG, A.; HUBER, G. W.; ZHANG, T. Catalytic Transformation of lignina for the Production of Chemicals and Fuels. Chemical Reviews. 2015.

LIMA, A.M. Estudos recentes e perspectivas da viabilidade técnico-econômica da produção de etanol lignocelulósico. Circular técnica – EMBRAPA. 2011.

LIMA, E. A. Alternativa para estimar o preço da madeira para energia. Comunicado Técnico 260 Embrapa. ISSN 1517-5030. Colombo-PR, 2010.

LORA, E. E. S.; MARTÍNEZ, J. D.; ANDRADE, R. V.; LEITE, M. A. H. Gaseificação e pirólise para a conversão da biomassa em eletricidade e biocombustíveis. Biocombustíveis. Cap. 06. V. 1. 2012

LYRA, W. S.; SILVA, E. C.; ARAÚJO, M. C. U.; FRAGOSO, W. D.; VERAS, G. Classificação periódica: um exemplo didático para ensinar análise de componentes principais. *Química Nova*, v. 33, n.º. 7, p. 1594-1597, 2010.

MACEDO, L. A.; ROUSSET, P. L. A.; VALE, A. T. Influência da composição da biomassa no rendimento em condensáveis da torrefação de resíduos vegetais. *Pesquisa Florestal Brasileira*. 2014.

MACKENZIE, R. C.; *Termochim. Acta* 1979, 28, 1

MAGALHÃES, P.C.; DURÃES, F. O. M.; SCHAFFERT, R. E. Fisiologia da planta de sorgo. Circular técnica – Embrapa Milho e Sorgo. 46p. 2000.

MAPA – Ministério da Agricultura. 2016. Disponível em <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cana-de-acucar/saiba-mais>> Acesso em: Abril/ 2018.

MARAFRON, A. C.; SANTIAGO, A. D.; AMARAL, A. F. C.; BIERHALS, A. N.; PAIVA, H. L.; GUIMARÃES, V. S. Uso da biomassa para a geração de energia. Embrapa Tabuleiros Costeiros. 2016.

MILANEZ, A. Y.; NYKO, D.; VALENTE, M. S.; SOUSA, L. C.; BONOMI, A. M. F. L. J.; JESUS, C. D. F.; WATANABE, M. D. B.; CHAGAS, M. F.; REZENDE, M. C. A. F.; CAVALETT, O.; JUNQUEIRA, T. L.; GOUVÊIA, V. L. R. De promessa a realidade: como o etanol celulósico pode revolucionar a indústria da cana-de-açúcar – uma avaliação do potencial competitivo e sugestões de política pública. BNDES Setorial 41. Rio de Janeiro. 2015.

MIRANDA, M. R. S. Bagaço de sorgo: estimativa de parâmetros cinéticos e pirólise analítica. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Uberlândia. 2011.

MELO, B. P.; GONÇALVES, J. E.; OLIVEIRA, A. F.; BAVARESCO, A. Caracterização físico-química do sorgo sacarino para a produção de etanol celulósico. *Anais do ENIC*. 2016.

MOITA NETO, J. M.; MOITA, G. M. Uma Introdução à Análise Exploratória de Dados Multivariados. *Química Nova*, v.21, n.º. 4, 1998.

NASCIMENTO, M. R. R. do; RODRIGUES, W. O. P.; SCHLINDWEIN, M. M. Reflexos do setor canavieiro para o crescimento econômico da microrregião de dourados em Mato Grosso do Sul. *Organizações Rurais & Agroindustriais*, Lavras, v. 17, n. 2, 2015, p. 149–162, 2015.

NETO, V. C. Análise de viabilidade da cogeração de energia elétrica em ciclo combinado com gaseificação de biomassa de cana-de-açúcar e gás natural. Tese. Programa de pós-graduação de Engenharia. Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). 2001

NETTO, C.G. Uma metodologia para o setor sucroenergético. *Jornal da Unicamp*. Campinas. 2015.

NG, H. M.; SIN, L. T.; TEE, T.T.; HUI, D.; LOW, C. Y.; RAHMAT, A.R. Extraction of cellulose nanocrystals from plant sources for application as reinforcing agent in polymers. Composites Part B: Engineering, 2015.

NOGUEIRA, M.F. M. Biomassa Energética: Caracterização da Biomassa. Palestra Proferida na I Escola de Combustão, Florianópolis – SC. 2007.

OLIVEIRA, R. A., DAROS, E., HOFFMANN, H.P. Liberação Nacional de variedades RB de cana – de – açúcar. Ridesa. 1ªed. Curitiba. 2015.

OLIVEIRA, R. P.; FRANÇA, A. F. S.; FILHO, O. R.; OLIVEIRA, E. R.; ROSA, B.; SOARES, T. V.; MELLO, S. Q. S. Características agronômicas de cultivares de sorgo (*sorghum bicolor* (L.) moench) sob três doses de nitrogênio. Pesquisa Agropecuária Tropical. N 35. 2005.

OLIVEIRA, S. F.A. Avaliação energética da biomassa do bagaço de cana-de-açúcar em diferentes indústrias sucroenergéticas. Dissertação. ITA. 2014.

PEREIRA, M.C.; MICHELS, I.L.; RODRIGUES, J.D.; CAMPELO, E.H.R.; MEURER, R. A expansão da cadeia sucroalcooleira em Mato Grosso do Sul. In: SOBER, 45., 2007, Londrina, PR. Anais... Brasília: SOBER, 2007.

PETROBRAS. Biocombustíveis e biomassa são a mesma coisa?. Biocombustíveis – 50 perguntas e respostas sobre este novo mercado. Cap.1 Sobre os biocombustíveis. 2018.

PINHO, R. Z. V.; FIORINI, I. V. A.; SANTOS, A. O. Sorgo do Plantio à Colheita. Botânica. 22ª ed. Viçosa, MG: UFV. 275p. 2014.

PORTUGAL, A. F.; ROCHA, V. S.; SILVA, A. G.; PINTO, G. H. F.; FIALHO, O. C. P. Rendimento de matéria seca e proteína de cultivares de sorgo forrageiro no primeiro corte e na rebrota. Revista Ceres. V. 50. N. 289. Viçosa/ MG. 2003.

RAGAUSKAS, A. J.; BECKHAM, G.T.; CHANDRA, R.; CHEN, F.; DAVIS, M. F.; DAVISON, B.H.; DIXON, R.A.; GILNA, P.; KELLER, M.; LANGAN, P.; NASKAR, A. K.; SADDLER, J. N.; TSCHAPLINSKI, T. J.; TUSKAN, G. A.; WYMAN, C. E. Lignin Valorization: Improving Lignin Processing in the Biorefinery. Science 344. DOI: 10.1126/Science. 1246843. 2014.

RAMBO, M. K. D.; RAMBO, M. C. D.; ALMEIDA, K. J. C. R.; ALEXANDRE, G. P. Estudo de análise termogravimétrica de diferentes biomassa lignocelulósicas utilizando a análise por componentes principais. Ciência e natureza. V. 37. N 3. 2015

REIS, J. G. M.; NETO, P. L. O. C.; VENDRAMETTO, O.; MACHADO, S. T. Avaliação da sustentabilidade econômica, social e ambiental da atividade sucroenergética de Mato Grosso do Sul: uma análise com multicritério. Revista em Agronegócio e meio ambiente. v. 10. n. 3. p. 673-675. 2017.

RESENDE, F.L.P. Comparação entre as técnicas de análise termogravimétrica e leito fluidizado para pirólise de biomassa. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas – Unicamp, Campinas, 2003.

RIBEIRO, P. P.; BARROS, B. A.; PARRELLA, R. A. C.; SCHAFFERT, R. E.; DAMASCENO, C. M. B. Análise de expressão de genes relacionados à biossíntese de lignina em sorgo. VII Encontro da rede de pesquisa, desenvolvimento e inovação em biocombustíveis de Minas Gerais. Sete Lagoas/ MG. 2012.

SANTOS, F. A.; QUEIROZ, J. H.; COLODETTE, J. L.; FERNANDES, S. A.; GUIMARÃES, V. M.; REZENDE, S. T. Potencial da palha de cana – de – açúcar para a produção de etanol. Química Nova. v 35. nº05. 2012.

SANTOS, T.N. Avaliação da biomassa de sorgo sacarino e palma forrageira para produção de etanol em Pernambuco. Dissertação. Universidade Federal de Pernambuco, 2012.

SAUER, I. Biocombustíveis no Brasil: Comercialização e Logística. Ministério de Relações Exteriores. 2018. Disponível em: <
https://sistemas.mre.gov.br/kitweb/datafiles/NovaDelhi/pt-br/file/Biocombustiveis_03-biocombustiveisnobrasil.pdf> Acessado em: Julho/ 2018

SILVA, A. G.; ROCHA, V. S.; FILHO, O. C. P.; PINTO, G. H. F.; TEIXEIRA, I. R. Avaliação do rendimento de forragem de cultivares de Sorgo Forrageiro sob diferentes condições termo – fotoperiódicas. Ceres. V. 53. N . 307. 2006.

SILVA, M. B.; MORAIS, A. S. Avaliação energética do bagaço de cana em diferentes níveis de umidade e graus de compactação. XXVII Congresso de Engenharia de Produção. ENEGEP. Rio de Janeiro. 2008

SILVA, F. G.; BRITO, C. F.; OLIVEIRA, J. C.; RODRIGUES, J. P.; TABOSA, J. N.; NETO, J. P. S. Aspectos do Cultivo do Sorgo para o semiárido Alagoano. Secretaria de Estado da Agricultura e do Desenvolvimento Agrário (SEAGRI)/ Superintendência de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural/ Diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento Rural (DIPAP).

SILVA, P. R. N.; GONÇALVES, G. R.; FREITAS, J. C. C. Preparação, Caracterização e Avaliação na Gaseificação de Celuligninas de Bagaço de Cana e Casca de Arroz: Caso de Reaproveitamento de Resíduos Lignocelulósicos. Revista Virtual de Química. V.20. N°. 20. 2016.

SILVA, R.L.; SILVA, A.M.P. Bioenergia da Biomassa Residual: Potencial Energético da Combustão da Casca de Arroz em Dourados-MS e Região. Revista Brasileira de Energias Renováveis. v.5, p.91-105, 2016.

SOARES, P. A.; ROSSEL, C. E. V. O setor sucroalcooleiro e o domínio tecnológico. NAIPPE – Núcleo de Análise Interdisciplinar de Políticas e Estratégia da Universidade de São Paulo. V.2. 2018.

SOUZA, J. G. M; POMPERMAYER, F. M. Variações no preço do etanol em comparação ao preço da gasolina: uma análise da resposta do consumidor. Radar. 2015.

SOUZA, V.F. Análise da cadeia produtiva do etanol e do biodiesel. Monografia (Pós – Graduação *Lato Sensu*) – Universidade Federal de Lavras. Minas Gerais. 2011.

TOMAZ, W. L.; GORDONO, F. S.; SILVA, F. P.; CASTRO, M. D. G.; ESPERIDÃO, M. Cogeração de energia a partir do bagaço de cana -de – açúcar: estudo de caso múltiplo no setor sucroalcooleiro. XVII ENGEMA – Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente.2015.

YIN, R.; LIU, R.; MEI, Y.; FEI, W.; SUN, X. Characterization of bio-oil and bio-char obtained from sweet sorghum bagasse fast pyrolysis with fractional condensers. Fuel. V. 112. 2013.