

**Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Curso de Engenharia de Energia**

**OBTENÇÃO DE ETANOL A PARTIR DE CAJU
(*Anacardium occidentale L.*)**

**Autor: Beatriz Pereira da Costa
Orientador: Prof.^a Dra. Roseany de V. V. Lopes**

**Brasília, DF
2017**



BEATRIZ PEREIRA DA COSTA

OBTENÇÃO DE ETANOL A PARTIR DE CAJU (*Anacardium occidentale L.*)

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Energia da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientador: Prof.^a Dra. Roseany de V. V. Lopes

**Brasília, DF
2017**

CIP – Catalogação Internacional da Publicação*

Pereira da Costa, Beatriz.

OBTENÇÃO DE ETANOL A PARTIR DE CAJU
(*Anacardium occidentale L.*)/Beatriz Pereira da Costa.
Brasília: UnB, 2017. 54 p. : il. ; 29,5 cm.

Monografia (Graduação) – Universidade de Brasília
Faculdade do Gama, Brasília, 2014. Orientação: Roseany de V.
V. Lopes

1. Etanol. 2. Caju. 3. Biocombustível.

I. Lopes, Roseany de Vasconcelos Viera. II. Doutora.

CDU Classificação



OBTENÇÃO DE ETANOL A PARTIR DE CAJU (*Anacardium occidentale L.*)

Beatriz Pereira da Costa

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia da Faculdade UnB Gama - FGA, da Universidade de Brasília, em (data da aprovação 07/12/17) apresentada e aprovada pela banca examinadora abaixo assinada:

Prof. Dra: Roseany V. Vieira Lopes, UnB/ FGA
Orientador

Prof. Dra: Juliana Petrocchi Rodrigues, UnB/ FGA
Membro Convidado

Prof. Dr: Marcelo Bento da Silva, UnB/ FGA
Membro Convidado

Brasília, DF
2017

Este trabalho é dedicado às pessoas que contribuíram de alguma forma ao meu avanço pessoal e profissional e a Deus que sempre me deu forças para seguir em frente.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e minha Nossa Senhora por ter me guiado e abençoado por toda esta caminhada.

À minha família, meus irmãos Mariana, Wesley e Gigi, minha Tia Cida e minha madrastra Regina e principalmente aos meus pais Osório e Lucimar, por terem dedicado as suas vidas para me tornar uma pessoa melhor e me apoiarem incondicionalmente.

Ao meu namorado e companheiro da fase acadêmica Pedro Luiz, que foi meu apoio me dando carinho e amor nos bons e maus momentos e à sua família que me acolheu como um deles quando estava longe de casa.

Aos meus amigos de Luziânia Amanda, Géssica, Kaian e Gabriela que sempre me deram força, carinho durante esses anos de graduação.

Aos amigos que a Universidade de Brasília me proporcionou, que fizeram os dias na graduação menos duros e mais alegres (Gu, Bah, Livia, Elaine, Gabi, Ritinha, Vanessinha, Luci, Mariazinha, Judite, Isa, Ju, Kamila, Márcia, Blendinha, João, Felipe, Rennam, Danrley, Aulus, Malu).

À minha orientadora, Roseany, pela sua orientação, ensinamentos, paciência, dedicação e por acreditar no meu potencial me fazendo conseguir realizar a escrita deste trabalho.

À técnica do Laboratório de química, Paula, por toda a paciência, ajuda e ensinamentos durante os experimentos.

Aos professores da área química pelos ensinamentos que me incentivaram na escolha do meu tema para o trabalho de conclusão.

À Universidade de Brasília por tornar o meu sonho e dos meus pais possível.

“No meio da confusão, encontre a simplicidade. A partir da discórdia, encontre a harmonia. No meio da dificuldade reside a oportunidade.” Albert Einstein.

RESUMO

O uso indiscriminado dos combustíveis fósseis acarreta sérios danos ambientais, como as emissões de CO₂ que causam as mudanças climáticas. Desta forma, há uma necessidade de buscar novas alternativas que possam otimizar o uso do petróleo, optando por uma fonte mais limpa como os biocombustíveis. Assim, o etanol advindo da biomassa vegetal torna-se uma oportunidade para suprir a demanda desse combustível líquido. O etanol é um composto orgânico produzido a partir da fermentação dos açúcares presentes na biomassa. O presente trabalho utiliza o Caju (*Anacardium occidentale L.*) como biomassa para a produção de bioetanol por meio de fermentação alcóolica, utilizando levedura da espécie *Sacharomyces cerevisiae* de diferentes marcas. Foram usadas leveduras Dona Benta Azul (DA), Dona Benta vermelha (DV) e Levedura Safale Us-05 (SU). O mosto apresentou valores iniciais de teor de sólidos solúveis de 11,2 °Brix e pH de 4,3. Realizou-se a análise das cinéticas fermentativas e o tempo de fermentação foi de 12 horas para variações DA e DV e de 25 horas para SU, resultando em concentrações alcólicas de 51,35 g.L⁻¹ para DA, 42,26 g.L⁻¹ para DV e 48,98 g.L⁻¹ para SU e os respectivos etanóis. Por fim, foi feito a análise de RMN¹H para avaliar a produção de etanol comparando os picos formados com dados da literatura, determinando a presença do bioetanol no destilado.

Palavras-chave: Etanol. Biomassa. Caju. Biocombustíveis.

ABSTRACT

The indiscriminate use of fossil fuels causes serious environmental damage, such as the CO₂ emissions that cause climate change. In this way, there is a need to seek new alternatives that can optimize the use of oil, opting for a cleaner source such as biofuels. Thus, ethanol from the plant biomass becomes an opportunity to supply the demand for this liquid fuel. Ethanol is an organic compound produced from the fermentation of the sugars present in the biomass. The present work uses Cashew (*Anacardium occidentale* L.) as biomass for the production of bioethanol by means of alcoholic fermentation, using yeast of the species *Sacharomyces cerevisiae* of different brands. Dona Benta Azul (DA), Dona Benta red (DV) and Safale Yeast Us-05 (SU) were used. The wort presented initial values of soluble solids content of 11.2 ° Brix and pH of 4.3. The fermentative kinetics were analyzed and the fermentation time was 12 hours for DA and DV variations and 25 hours for SU, resulting in alcoholic concentrations of 51.35 g.L⁻¹ for DA, 42.26 g.L⁻¹ for DV and 48.98 g.L⁻¹ for SU and the respective ethanols. Finally, ¹H NMR analysis was performed to evaluate the ethanol production comparing the peaks formed with literature data, determining the presence of the biethanol in the distillate.

Keywords: Ethanol. Biomass. Cashew. Biocombustíveis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Produção de etanol no Brasil de 1950 a 2008.	6
Figura 2- Oferta Interna de Energia Brasileira- 2016%.	6
Figura 3- Fórmula química estrutural (esquerda) e tridimensional (direita) da molécula de etanol.	7
Figura 4- Produção de Etanol.....	10
Figura 5- Cajueiro.....	12
Figura 6-Anacardium occidentale L.....	13
Figura 7- Fluxograma obtenção etanol.....	16
Figura 8- Frutos do caju usados para produção de etanol.	16
Figura 9- Leveduras utilizadas: (a) DA (b) DV (c) SU.....	17
Figura 10- Biorreatores com o fermentado.....	18
Figura 11- Lavagem dos frutos.....	19
Figura 12- Pesagem dos frutos.	19
Figura 13- Suco após a extração.	20
Figura 14- Mosto após clarificação.....	21
Figura 15- Nutrientes para suplementação do microrganismo.	23
Figura 16- Fermentação do suco do caju.....	24
Figura 17- Aparato de destilação.	26
Figura 18- Cinética Fermentativa DA.	30
Figura 19- Cinética Fermentativa DV.	31
Figura 20- Cinética Fermentativa SU.	32
Figura 21- Espectro RMN ¹ H variações da levedura.	33
Figura 22- Picos RMN ¹ H.	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Características físico-químicas do etanol.....	8
Tabela 2- Parâmetros mosto antes da fermentação.	26
Tabela 3-Parâmetros após fermentação.	28
Tabela 4- Teor alcoólico após a fermentação.	28
Tabela 5- Espectro RMN ¹ H.	34

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

ATT- Acidez Total Titulável

CENAL - Comissão Executiva Nacional do Alcool

DA- Levedura Dona Benta Azul

DV- Levedura Dona Benta Vermelha

GL - Gay Lussac

HPLC - Cromatografia de Líquidos

ICMS - Imposto Sobre Circulação de Mercadorias e de Serviços

INPM - Instituto Nacional de Pesos e Medidas

IPI - Imposto de Produtos Industrializados

MME - Ministério de Minas e Energia

°BRIX - Sólidos Solúveis Totais

OPEP- Organização dos Países Exportadores de Petróleo

PMQC - Programa de Monitoramento da Qualidade dos Combustíveis Líquidos

PROÁLCOOL - Programa Nacional do Alcool

RMN¹H - ressonância magnética nuclear de hidrogênio

RP- Rendimento em Peso

SU- Levedura Safale Us-05

Sumário

AGRADECIMENTOS	V
RESUMO	VII
ABSTRACT	VIII
LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE TABELAS	X
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	XI
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. JUSTIFICATIVA.....	2
1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO.....	2
1.2.1. Objetivo geral.....	2
1.2.2. Objetivos específicos.....	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. CRISE DO PETRÓLEO NO BRASIL.....	3
2.1.1. Breve Histórico.....	3
2.2. PROÁLCOOL.....	4
2.3. ETANOL.....	6
2.3.1. Fermentação Alcoólica.....	8
2.3.2. Etanol de Primeira Geração.....	9
2.4. LEVEDURA.....	11
2.5. BIOMASSA.....	12
2.5.1. Caju (<i>Anacardium occidentale</i> L.).....	12
2.6. CARACTERIZAÇÃO DO ETANOL.....	14
2.6.1. Ressonância Magnética Nuclear de Hidrogênio (RMN ¹ H).....	14
2.6.2. Graduação Alcoólica.....	14
2.6.3. Sólidos solúveis totais- °Brix.....	15
2.6.4. Potencial hidrogeniônico- Ph.....	15
2.6.5. Acidez Titulável.....	15
3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL	15
3.1. PRODUÇÃO DO ETANOL.....	17
3.2. LAVAGEM DOS FRUTOS.....	18
3.3. PESAGEM DOS FRUTOS.....	19
3.4. EXTRAÇÃO DA POLPA E ARMAZENAMENTO.....	19

3.5. CLARIFICAÇÃO E SEPERAÇÃO.....	20
3.8. ANÁLISES DO MOSTO.....	21
3.7.1. Acidez total titulável.....	21
3.7.2. Medição de pH.....	22
3.7.3. Sólidos solúveis totais (°Brix).....	22
3.7.4. Medição da temperatura.....	22
3.7.5. Rendimento em peso.....	22
3.5. PREPARO DO MOSTO.....	22
3.5.1. Correção de pH.....	22
3.5.2. Chaptalização.....	23
3.5.3. Adição de Nutrientes.....	23
3.5.2. Preparo dos Inóculos.....	23
3.6. FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA.....	24
3.7. DECANTAÇÃO.....	24
3.8. ANÁLISES DA VINHAÇA.....	25
3.8.1. Teor alcóolico.....	25
3.8.2. RMN ¹ H.....	26
3.9. DESTILAÇÃO.....	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	26
4.1. ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DO MOSTO.....	26
4.2. ANÁLISES DO DESEMPENHO APÓS A FERMENTAÇÃO ALCÓOLICA.....	28
4.3. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE AS VARIAÇÕES DA LEVEDURA.....	29
4.3.1. Cinética Fermentativa Primeira Batelada (DA).....	29
4.3.2. Cinética Fermentativa Segunda Batelada (DV).....	30
4.3.3. Cinética Fermentativa Terceira Batelada (SU).....	31
4.4. ANÁLISES POR RMN ¹ H.....	32
5. CONCLUSÃO.....	34
6. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO.....	35

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por energia tem acarretado significantes impactos ambientais, como a busca incessante dos recursos naturais e as emissões de poluentes e gases que causam o efeito estufa. A Agência Internacional de Energia fez uma análise constatando que em 2035, a demanda de energia será 50 % maior se não houver mudança nas políticas governamentais (SANTOS *et al.*, 2013).

Diante das diferentes formas de se obter energia, que englobam biomassa, petróleo, geotérmica, solar, eólica etc., destaca-se a biomassa por ser uma boa alternativa para obtenção de combustível líquido, possibilitando assim, a redução no uso dos combustíveis fósseis que acarretam sérios problemas ambientais, como as mudanças climáticas. (SANTOS *et al.*, 2013).

No ano de 1975, com o Proálcool, o uso do etanol como combustível passou a ser mais incentivado no Brasil, permitindo que o setor privado investisse mais neste combustível, em substituição da gasolina pelo etanol. Com isso, o Brasil tornou-se o maior produtor de etanol a partir da cana-de-açúcar do mundo (LEITE, LEAL, 2007; SANTOS *et al.*, 2013). Na rota de produção do bioetanol brasileiro, apenas o caldo da cana é utilizado, o que corresponde apenas um terço da biomassa, já o bagaço e a palha seca da cana correspondem a dois terços da biomassa, o que pode representar uma importante alternativa para consolidação de um modelo sustentável para a produção de biocombustíveis (ERENO, 2007; RAMOS, 2000; PITARELO *et al.*, 2012).

O etanol pode ser obtido a partir de diferentes biomassas, tais como: cana de açúcar, beterraba e frutas (com presença da sacarose), milho, trigo, arroz, batata, mandioca e cevada (com presença de amido) e madeira, palha, capim e bagaço (BALAT, 2011).

O caju é uma espécie abundante no Nordeste Brasileiro, rico em açúcares, valorizado pelo seu valor nutritivo, sendo consumido *in natura* ou como sucos, doces, geleias (ROCHA *et al.*, 2009; ROCHA, 2010).

Desta forma, este trabalho tem como objetivo a obtenção e caracterização de etanol a partir da fermentação do suco caju (*Anacardium occidentale L.*).

1.1. JUSTIFICATIVA

Os biocombustíveis têm participação relevante na matriz energética brasileira, por ser uma alternativa para redução da dependência da utilização dos derivados de petróleo que acarretam sérios danos ao meio ambiente.

As fontes renováveis passaram a ter uma participação de 43,5 % na demanda total de energia brasileira no ano de 2016, tendo um aumento de mais de 2 % em relação ao ano anterior. Com a participação do uso da biomassa e da energia hidráulica na matriz energética brasileira, os indicadores de emissões de CO₂ ficaram abaixo da média mundial (MME, 2016). No Brasil, a principal fonte bioenergética, a cana-de-açúcar, ainda é vista como fonte de alimento, causando competição entre a indústria alimentícia e a produção de etanol (SANTOS *et al.*, 2013). Dessa forma, tornam-se necessários estudos a partir de novas espécies de frutos para geração do bioetanol.

Com intuito de utilizar novas espécies para obtenção do bioetanol, associado à valorização das culturas dos estados Norte e Nordeste, rico em frutos, nesse trabalho será utilizado o caju. Este fruto muito conhecido é constituído pela castanha, parte mais requisitada pela indústria alimentícia e pelo pedúnculo, de onde se extrai a polpa, rica em açúcares. A utilização do caju (pedúnculo) como biomassa para produção de etanol torna-se uma opção interessante e relevante, pelo fato do mesmo se tratar de um fruto de custo acessível e ter uma porcentagem de quase 80% de descarte. Desta forma, poderá agregar valor à cadeia produtiva da castanha e do caju (ROCHA, 2010).

1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO

1.2.1. Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é obter e caracterizar o etanol advindo do caju (*Anacardium occidentale L.*)

1.2.2. Objetivos específicos

- Produzir etanol a partir da polpa do caju;

- Determinar acidez titulável, pH e °Brix do suco extraído;
- Preparar e fermentar o suco;
- Destilar o fermentado;
- Calcular o rendimento em peso do etanol da polpa do fruto;
- Avaliar a cinética fermentativa de obtenção do etanol;
- Caracterizar o etanol por ressonância magnética nuclear de hidrogênio (RMN ^1H) e Graduação Alcoólica;
- Comparar o etanol obtido a partir da fermentação do suco do caju com a levedura da espécie *Sacharomyces cerevisiae* de diferentes marcas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. CRISE DO PETRÓLEO NO BRASIL

2.1.1. Breve Histórico

A crise do petróleo teve dois marcos, o primeiro choque do petróleo em 1973, e o segundo choque em 1979, ambos advindos da guerra do Oriente Médio e o conflito entre Irã e Iraque. Os países membros da Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP) elevaram drasticamente o preço do petróleo que atingiram negativamente os países em desenvolvimento, como o Brasil (MARQUES, 1985).

O Brasil demonstrou grande vulnerabilidade diante a crise do petróleo, pois dependia de 80 % do petróleo advindo de exportação. Dessa forma, para suprir essa demanda o país entrou em uma dívida externa, em consequência das altas taxas de juros internacionais para exportação do combustível, forçando o governo brasileiro a buscar alternativas para enfrentar a crise (NAZARETH, BARAT, 1984).

Em 1975 o Brasil lançou o programa Proálcool com objetivo de substituir os derivados de petróleo pelo etanol, onde todo automóvel brasileiro seria movido a etanol hidratado, diminuindo assim a demanda de importação do petróleo internacional, estabilizando a dívida externa do país.

2.2. PROÁLCOOL

A criação do Proálcool em 1975 precedeu o uso do etanol como combustível no Brasil. No início, o programa visava a utilização do álcool em mistura com a gasolina. Porém em 1979, com aumento do preço do petróleo no mundo, a produção do etanol brasileiro expandiu-se, voltada para o álcool hidratado, o que possibilitou a utilização de veículos movidos somente a álcool, substituindo a gasolina (MOTTA, 1987).

Em meio à crise do petróleo iniciada em 1973, houve a elevação do preço do petróleo. O Brasil tinha uma dependência de 80 % desse combustível advindo de exportação, o que acarretou um desequilíbrio nas contas externas brasileiras, devido ao alto preço do combustível. O setor privado se manifestou para que houvesse uma busca de novas alternativas para a substituição dos derivados do petróleo. Assim surgiu a proposta do programa Proálcool (SHIKIDA, BACHA, 1999).

A primeira fase do programa proporcionou a criação de novas destilarias com o intuito de aumentar a escala de produção alcooleira, expandir e mecanizar os processos produtivos nos canaviais e desenvolver por parte da indústria automobilística a tecnologia para fabricação de automóveis movidos a etanol hidratado (FERREIRA, 1992; PIACENTE, 2006).

No ano de 1979, com o segundo choque do petróleo, o governo brasileiro deu início à segunda fase do Proálcool, que diante ao aumento das taxas de juros internacionais agilizou a implementação do uso do álcool hidratado como combustível e não mais apenas como complemento a ser adicionado à gasolina. Desta forma, a indústria automobilística começaria a modificar os automóveis com motores ciclo Otto para operar com 100 % de álcool etílico hidratado. Foi criada, a Comissão Executiva Nacional do Álcool (CENAL), que tinha como responsabilidade a execução das decisões referentes ao programa (SHIKIDA, BACHA, 1999; PIACENTE, 2006).

Como forma de alavancar o programa, três movimentos foram identificados. O primeiro foi à intensificação da produção de álcool hidratado a partir da ampliação das destilarias autônomas, no âmbito da agroindústria canavieira. O segundo, no âmbito do Estado, a comercialização do álcool era de responsabilidade da Petrobrás, que garantia ao produtor a compra do produto, além de dividir parte dos custos de estocagem. Foi também estabelecido um limite de preço ao consumidor

de álcool hidratado e aplicaram a obrigatoriedade de adição de 22 % de álcool anidro à gasolina. O último movimento ocorreu na indústria de máquinas e equipamentos e na indústria automobilística, onde suas produções foram incentivadas diante da chance de expansão desses mercados (SHIKIDA, BACHA, 1999).

O Proálcool entre os anos de 1980-85 inovou a forma de pagamento da cana, que passou ser feita pelo teor de pureza e sacarose no caldo. Assim novas diversidades dessa biomassa foram implementadas para melhorar a produtividade, ocasionando novos desenvolvimentos tecnológicos na agroindústria canavieira (SHIKIDA, BACHA, 1999).

Além do desenvolvimento tecnológico, a venda dos carros movidos a álcool hidratado no Brasil passou a ter muitas vantagens que estimulou as vendas desses automóveis. Entre os incentivos ressaltam-se: a redução do Imposto de Produtos Industrializados (IPI), a redução da Taxa Rodoviária Única, a isenção do Imposto Sobre Circulação de Mercadorias e de Serviços (ICMS) e o preço do álcool, inferior em 30 % ao da gasolina, fazendo com que a indústria automobilística colaborasse bastante com o programa. O crescimento dos veículos movidos a álcool foi tão grande que em 1981 chegou a quase 30 % e em 1986 chegou 96 % dos veículos produzidos no Brasil, que eram movidos a etanol hidratado (PIACENTE, 2006).

O Proálcool durante a década de 1980 atingiu o seu auge. Porém, a partir de 1989 com a crise de desabastecimento, devido à brusca redução dos recursos públicos investidos na expansão do Proálcool, a queda internacional do preço do petróleo e o aumento da produção interna do mesmo fez com que a confiança do consumidor caísse, acontecendo uma grande redução das vendas dos automóveis a álcool, que chegaram a zerar no ano de 1997. (SHIKIDA, BACHA, 1999; PIACENTE, 2006).

No ano de 2003, com a chegada dos veículos *flexfuel*, houve um grande estímulo no consumo de etanol hidratado, que abriu uma nova oportunidade para a expansão da agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil. Modificando o perfil da produção brasileira de automóveis e resgatando a confiança do consumidor no álcool etílico hidratado, ao disponibilizar ao proprietário a opção de uso da gasolina ou/e etanol hidratado, optando pelo combustível que tiver melhor preço, qualidade, características de desempenho, consumo ou mesmo disponibilidade (PIACENTE, 2006).

Na Figura 1 pode-se verificar o aumento da produção de álcool, devido o Proálcool.

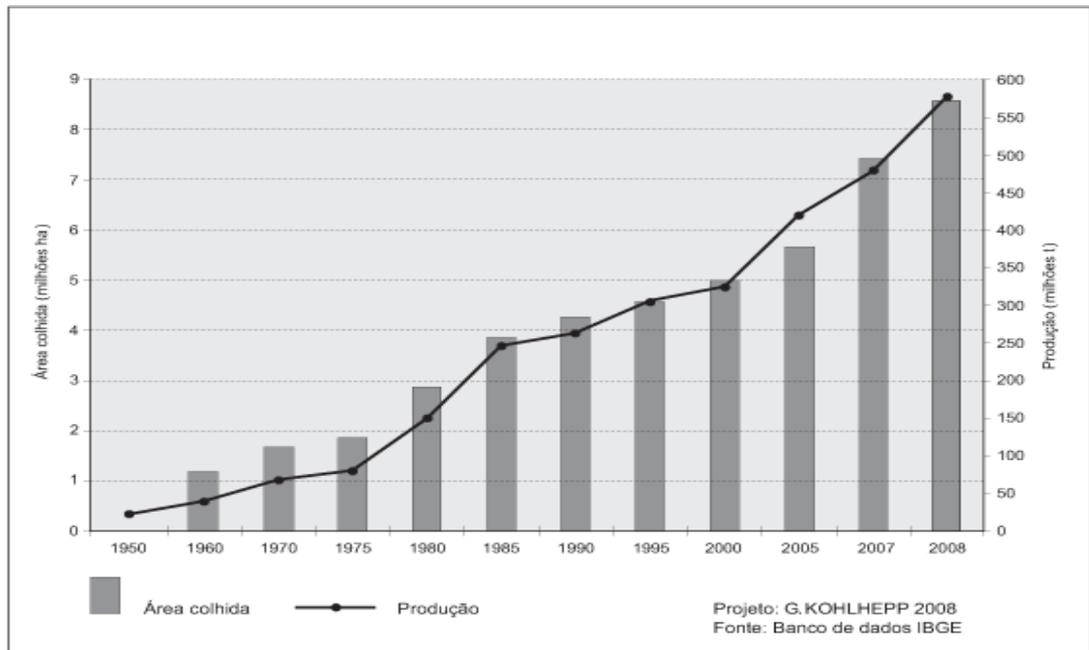


Figura 1- Produção de etanol no Brasil de 1950 a 2008.

2.3. ETANOL

A matriz energética brasileira tem destaque mundial devido ao seu caráter renovável. Em 2016 a produção de energias renováveis apresentou uma participação de 43,5 % na demanda total de energia. O etanol e o bagaço de cana detêm a maior participação no cenário de renováveis com 40,1 %, conforme a Figura 2 apresenta (MME, 2017).

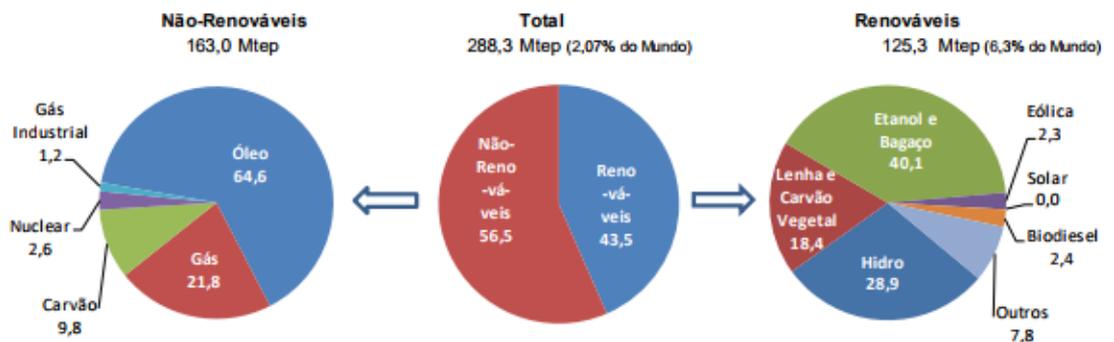


Figura 2- Oferta Interna de Energia Brasileira- 2016% (MME, 2017).

Os números expressivos têm mostrado que o etanol é um combustível capaz de atender à crescente demanda brasileira por energia renováveis, com baixo custo, alta produtividade e baixo poder poluente.

A substância orgânica etanol, conhecido também como álcool etílico, cuja sua fórmula molecular C_2H_5OH (Figura 3) é oriunda da fermentação de açúcares de vegetais seguida da destilação, está presente na família dos álcoois, que tem como características físicas e químicas, a dependência do grupo hidroxila (-OH), a qual proporciona por meio de ligações de hidrogênio interações intermoleculares (SANTOS *et al.*, 2013).

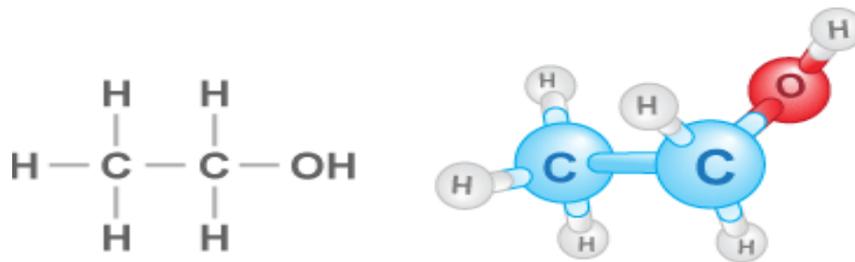


Figura 3- Fórmula química estrutural (esquerda) e tridimensional (direita) da molécula de etanol.

A partir da graduação alcoólica e das suas impurezas se determina como o etanol será utilizado em motores ciclo Otto, podendo ser álcool anidro em mistura com a gasolina ou hidratado. Esse biocombustível tem como propriedades ser incolor, volátil e inflamável, não gerar fuligem, ter odor aromático, promove reação neutra e durante sua queima exibindo um chama de cor azul, com alta temperatura, pouca luminosidade (SANTOS *et al.*, 2013; VÁSQUES, 2007). Algumas outras características desta substância encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1- Características físico-químicas do etanol. Adaptado de VÁSQUES, 2007.

Fórmula molecular	CH₃CH₂OH
Peso molecular	46 u.m.a.
Peso específico (20°C)	0,7894 g/mL
Densidade API	47,1
Temperatura de ebulição (1 atm)	78,32°C
Temperatura de fusão (1 atm)	-117,22°C
Temperatura de auto-ignição	793°C
Temperatura de inflamabilidade	12°C
Ponto de congelamento	-114,1°C
Limite de estabilidade	300°C
Tensão de vapores (0°C)	12,00 mmHg
Tensão de vapores (20°C)	44,0 mmHg
Octanagem (ASTM)	99
Índice de cetano	10
Razão ar:combustível	9,0:1,0

2.3.1. Fermentação Alcoólica

A fermentação alcoólica é um processo que transforma glicose em álcool, utilizando enzimas e leveduras. Para que se tenham rendimentos satisfatórios deste processo, o preparo do mosto exige alguns cuidados como: a concentração de açúcares totais e sólidos solúveis, acidez total e pH, adição de nutrientes e anti-sépticos, além da manutenção da temperatura ideal. Após esta preparação se adiciona uma quantidade compatível de microrganismos, as leveduras, em dornas fermentativas que irão converter gradativamente os açúcares em álcool e gás carbônico (RIBEIRO *et al.*, 1999).

O microrganismo mais empregado no processo fermentativo é a levedura *Sacharomyces cerevisiae*, que apresenta grande eficiência em conversão de glicose a etanol, produtividade e tolerância alcoólica. Com o controle dos impactos negativos inibidores a fermentação acontece sem ocorrer grandes problemas (ROSSELL, 2006).

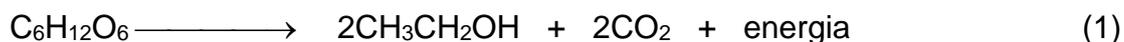
O processo de fermentação alcóolica pode ser dividido fases distintas, iniciando com a multiplicação das leveduras, conhecida como fermentação preliminar, onde acontece o consumo de açúcares, elevação da temperatura, lenta produção de álcool e uma pequena isenção de gás carbônico. Com o aumento gradativo do álcool e menor quantidade de CO₂, entra-se na fase de fermentação principal onde se tem a intensa produção do etanol, que só finaliza quando se tem o maior desprendimento do CO₂. Por fim, acontece a redução da temperatura da

vinhaça, elevação da acidez e o esgotamento dos contaminantes, obtendo o produto final (RIBEIRO *et al.*, 1999).

Bioquimicamente a fermentação (Equação 1) acontece seguindo algumas etapas.

Através da enzima ocorre a hidrólise que converte sacarose em glicose mais frutose (MISSAWA, 2009). Em aerobiose, acontece oxidação da glicose onde há maior aproveitamento da energia proveniente desse processo, ocorrendo assim grande produção de células de leveduras (FURLAN, 2009).

Em condições anaeróbicas, utilizando via glicolítica ocorre uma sequência de reações, que são transformadas em piruvato. Assim a enzima piruvato descarboxilase descarboxila o piruvato, gerando acetaldeído e liberando CO₂. Por fim, o acetaldeído é convertido a etanol, pela enzima álcool desidrogenase (ADH) cujo seu poder é fornecido pela coenzima NADH⁺ H⁺ (MISSAWA, 2009; FURLAN 2009).



O controle do processo fermentativo, normalmente é acompanhado por meio dos seguintes parâmetros: eficiência e tempo da fermentação, atenuação de °Brix, controle de temperatura e teor de açúcares residuais. Um bom rendimento do processo de fermentação atinge cerca de 90-92 % do rendimento ideal. (RIBEIRO *et al.*, 1999).

2.3.2. Etanol de Primeira Geração

O etanol de primeira geração é obtido a partir da fermentação de açúcares encontrados nos vegetais, como a cana-de-açúcar, beterraba, amido, entre outros (SANTOS *et al.*, 2013).

Uma das essenciais atividades de produção na economia brasileira é a indústria sucroalcooleira. Este setor tem passado por uma grande mudança, em função da elevação do consumo de etanol incentivada pela tecnologia flex-fuel e a abertura do mercado internacional de etanol (ALBARELLI, 2013). O Brasil é o segundo maior produtor de biocombustível, perdendo apenas para os Estados Unidos (MATRIZ, 2010). O país tem um grande potencial de expansão da produção, em decorrência das condições de solo e clima que favorecem a produção em ampla

escala das matérias-primas empregadas na produção desses biocombustíveis (PINHEIRO,2011).

O etanol obtido a partir de biomassa fornece benefícios econômicos, ambientais e pode se apresentar como um combustível limpo em relação aos combustíveis fósseis (CHANDEL *et al.*, 2007).

Dessa forma, pode ser produzido com qualquer biomassa que contenha quantidades significativas de açúcares. O seu processo (Figura 4) é simples, já que os açúcares estão disponíveis na biomassa. O processo se inicia com a extração dos açúcares por meio da moagem, seguindo diretamente para a fermentação, que tem como resultante a vinhaça que passa pelo processo de destilação, onde ocorre a purificação do bioetanol (BNDS, CGEE, 2008).

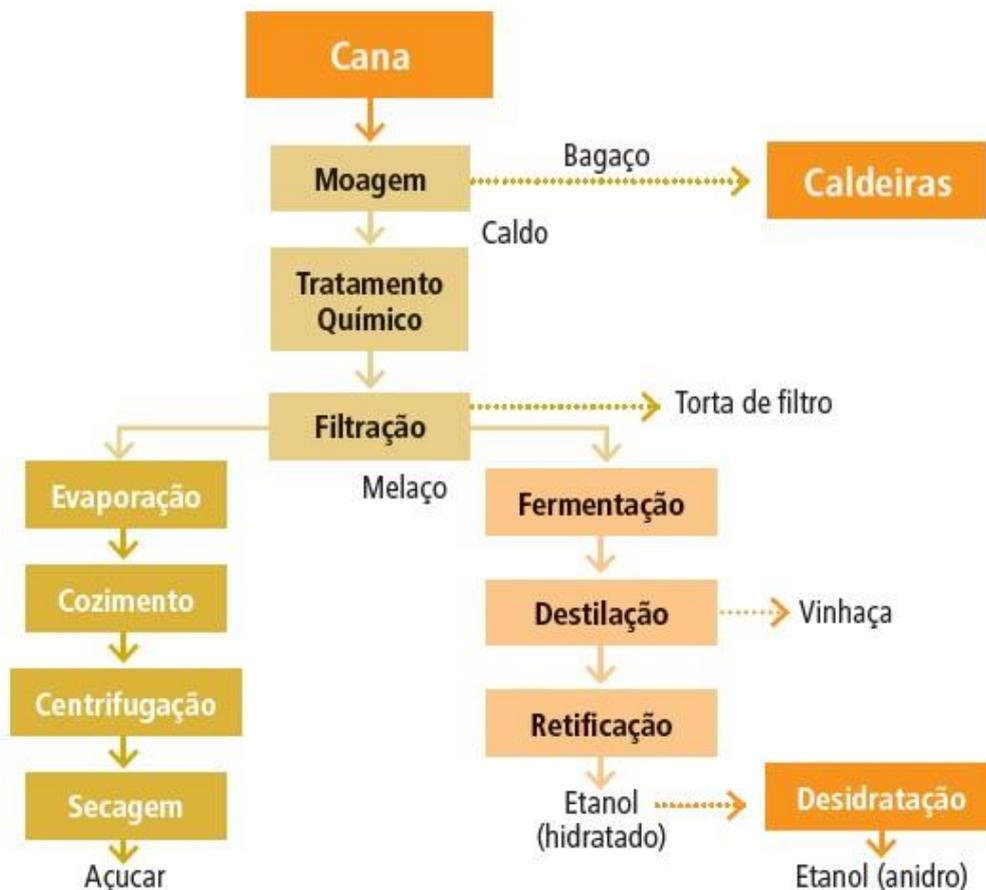


Figura 4- Produção de Etanol (adaptado BNDS, CGEE, 2008).

Hoje a principal matéria-prima para obtenção do etanol no Brasil é a cana-de-açúcar. Porém, com a nova demanda mundial estima-se que a produção de etanol advindo dessa matéria-prima não seja o bastante (BNDES, CGEE, 2008). Uma alternativa para diminuição do custo do etanol e para aumentar a sua produção seria

o uso de diferentes matérias-primas. Como matéria-prima alternativa e de baixo custo, o suco extraído a partir do pedúnculo de caju apresenta-se como uma opção interessante e viável. Ressaltando que etanol obtido através da fermentação do caju não substituiria o advindo da cana-de-açúcar, serviria apenas como mais uma opção à complementação ao etanol já produzido no país (PINHEIRO, 2011).

2.4. LEVEDURA

As leveduras são conhecidas mundialmente por sua capacidade fermentativa. Elas são muito usadas na produção de etanol, cerveja, vinho, álcool e de fermentos pelas indústrias. Esses organismos fazem parte ao grupo dos fungos, exibem-se sob a forma unicelular e consomem matéria orgânica. Por serem células simples, as leveduras crescem e se reproduzem (SANTIN,1996).

Leveduras são microrganismos capazes de fermentar a glicose para etanol e CO₂. Assim a glicose é convertida em piruvato que por sua vez é convertido em glicose (ROCHA, 2010).

Os microrganismos realizam a fermentação do açúcar pelo fato de precisarem da energia química para sobreviver sendo assim, o etanol um subproduto desse processo. Então, deve-se fazer estudos que permitam que as leveduras tenham condições ideais para que se tenha uma maior eficiência na produção de etanol (TOSSETTO,2002).

A levedura usada na indústria de produção de álcool é a *Saccharomyces cerevisiae*, sua estrutura celular e metabolismo permitem a fermentação de açúcares à etanol em altos rendimentos, mesmo em aerobiose. Deve acontecer uma triagem de leveduras que tenham altas velocidade e capacidade fermentativa, dominância e permanência sobre a safra, alta conversão de açúcar em etanol, baixas produções de glicerol e espuma, resistência à acidez, à elevadas temperaturas e concentrações de etanol, estabilidade genética e rápido crescimento celular, para se ter uma boa produção de etanol (SANTOS *et al.*,2013).

O microrganismo utilizado no presente trabalho foi a levedura do gênero *Saccharomyces cerevisiae* em diferentes marcas: a Dona Benta, Fermix, seco instantâneo (DA), Dona Benta, Fermix, seco instantâneo (DV) e a Safale Us-05 (SU), levedura utilizada na fermentação de cerveja artesanal.

2.5. BIOMASSA

A energia advinda da biomassa vegetal é vista com uma alternativa para o uso de energia de fontes renováveis (PROTÁSIO *et al.*, 2011). O Brasil é um grande produtor de resíduos oriundos da biomassa vegetal, atingindo cerca de 250 milhões de toneladas anuais (QUIRINO *et al.*, 2004).

A biomassa de frutas produzida nas cidades é classificada como resíduos orgânicos e dificilmente é reutilizada, quando lançada no meio ambiente. Assim uma forma de se aproveitar a biomassa de frutas é a produção de etanol, agregando valor a esta (JONER, 2012).

O Brasil possui uma grande variedade de frutas ricas em características que permitem realizar o processo de fermentação alcoólica para produção de etanol. Assim, com intuito de valorizar culturas das regiões Norte e Nordeste, onde há grande diversidade de frutos, escolheu-se o caju (*Anacardium occidentale L.*) para a obtenção de etanol primeira geração.

2.5.1. Caju (*Anacardium occidentale L.*)

O cajueiro (*Anacardium occidentale L.*) (Figura 5), é originário do Brasil, sendo uma planta típica de regiões tropicais. É uma árvore encontrada principalmente nas regiões Norte e Nordeste do Brasil (SANCHO *et al.*, 2007).



Figura 5- Cajueiro.

O Estado do Ceará responsável por metade de toda a área de cajueiros nativos do Brasil, cerca de 364 mil hectares, detém 54,4% dos hectares existentes no país desse tipo de espécie (COSTA *et al.*,2003).

O *Anacardium occidentale* L. (Figura 6) é composto da castanha (fruto) e o pedúnculo (pseudofruto). Sendo que seu pedúnculo é considerado um subproduto, onde suas perdas anuais no estado do Ceará chegam a um milhão de toneladas. O verdadeiro fruto do cajueiro é a castanha de caju, que tem um alto valor agregado tanto no país quanto exterior (SANCHO *et al.*,2007).



Figura 6-*Anacardium occidentale* L.

A área ocupada por cajueiro no Brasil corresponde cerca de 700000 hectares (EMBRAPA, 2005). Nos estados do Ceará, Rio Grande do Norte e Piauí, o caju apresenta grande importância, a castanha, um dos principais produtos respondendo por 90 % da produção nacional (EMBRAPA, 2011).

A composição do pseudofruto rica (açúcares redutores, fibras, vitaminas e sais minerais), torna o suco de caju interessante para a produção de etanol (ROCHA *et al.*, 2009) e conseqüentemente aumentará o valor agregado do pedúnculo, tornando um produto consumido *in natura* ou na forma de sucos, sorvetes, geléias, doces e aguardentes (ROCHA, 2010) em fonte de energia.

O caju é mais uma fonte de açúcares que pode vir aumentar a produção de etanol nos meses de baixa produção do etanol a partir da cana-de-açúcar, em função do mesmo ser uma matéria prima abundante a partir do mês de setembro (PINHEIRO, 2015).

2.6. CARACTERIZAÇÃO DO ETANOL

No presente trabalho algumas análises técnicas foram utilizadas para caracterização do bioetanol advindo do caju, as mesmas estão descritas a seguir.

2.6.1. Ressonância Magnética Nuclear de Hidrogênio (RMN¹H)

A ressonância magnética nuclear uma ferramenta importante para a elucidação da estrutura das espécies químicas e para determinação quantitativa de espécies absorventes (CROUCH *et al.*, 2009).

A espectrometria de RMN é uma forma de espectrometria de absorção, sob condições apropriadas em um campo magnético, onde a amostra pode absorver radiação eletromagnética na região de radiofrequência em uma frequência orientada pelos parâmetros estruturais da amostra (SILVERSTEIN *et al.*, 2005).

RMN é a ferramenta disponível com maior poder para a determinação de uma estrutura orgânica e é usada para estudar uma grande variedade de núcleos que possuem estados de spin de +1/2 e -1/2, como hidrogênio, carbono, nitrogênio, flúor e fósforo. A relação fundamental das medidas de Ressonância Magnética Nuclear de Hidrogênio (RMN¹H) é que a área do sinal desse espectro é diretamente proporcional ao número de hidrogênios que absorvem energia na radiofrequência referente a este sinal (SANTOS, COLNAGO, 2013).

2.6.2. Graduação Alcólica

A graduação alcólica é uma técnica usada para medir a quantidade em percentual de álcool presentes em líquidos, como no etanol, álcool etílico, em bebidas alcólicas, entre outros. Pode ser expressa em grau Gay Lussac (°GL) que representa o percentual em volume do álcool puro existente no volume da mistura ou grau INPM (°INPM), onde a sigla refere-se a Instituto Nacional de Pesos e Medidas,

que mostra o percentual em massa de álcool puro existente na massa total da mistura (FERNANDES, 2011).

2.6.3. Sólidos solúveis totais- °Brix

Parâmetro que determina a porcentagem de sólidos solúveis em uma solução pura de sacarose, ou seja, mostra o teor de sacarose na solução em porcentagem peso/peso (DAL BEM *et al.*, 2003).

2.6.4. Potencial hidrogeniônico- pH

O potencial hidrogeniônico (pH) determina a acidez ou alcalinidade da solução, que pode variar entre 1 e 14. O pH do etanol varia entre 6 e 8, o que significa que a solução é praticamente neutra (RODRIGUES, DORNELLES, 2006).

2.6.5. Acidez Titulável

A acidez titulável determina a quantidade total de ácido em uma solução, ou seja, é a quantidade de ácido de uma amostra que reage com uma base de concentração conhecida. É utilizada para expressar a acidez de vinhos, etanol, leites, iogurtes, frutas, entre outros (MIELE, RIZZO, 2002).

3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

O fluxograma (Figura 7) descreve as etapas realizadas para obtenção do etanol a partir da fermentação do suco do caju.

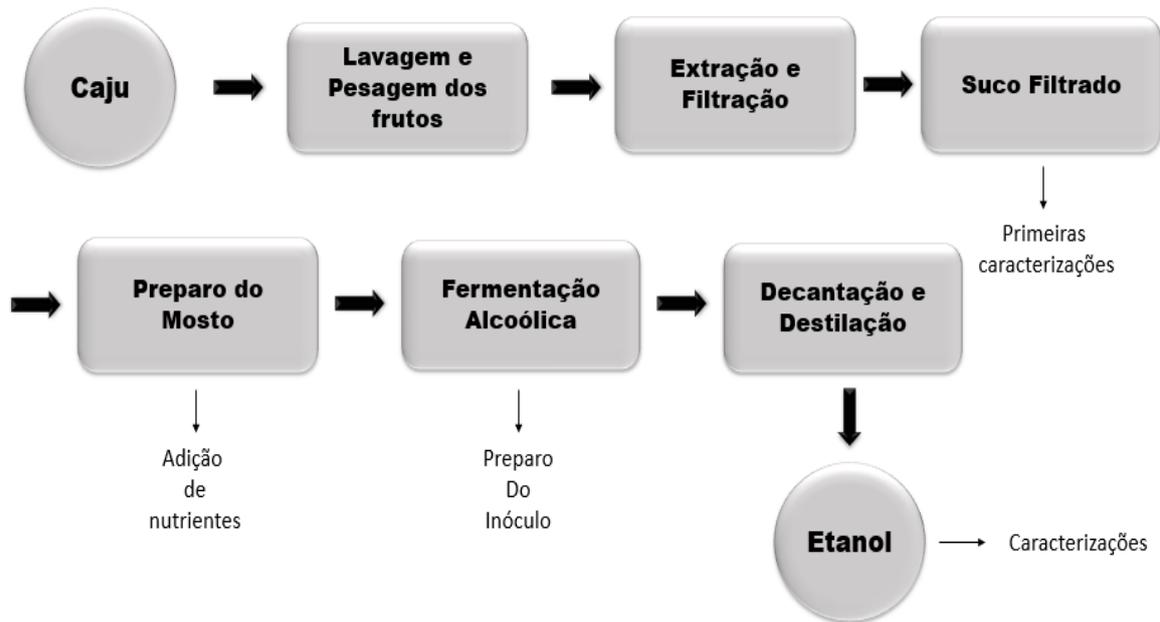


Figura 7- Fluxograma obtenção etanol.

Os cajus usados nos experimentos foram adquiridos a partir de compra na feira do Guará e de um mesmo produtor (Boa Fruta) vindos do estado do Piauí, no Distrito Federal. A Figura 8 mostra os frutos usados na produção de etanol.



Figura 8- Frutos do caju usados para produção de etanol.

A Figura 9 mostra as marcas das leveduras utilizadas, da espécie *Saccharomyces cerevisiae*, a Dona Benta Fermix de embalagem Azul (DA), Dona Benta Fermix embalagem vermelha (DV) e a Safale Us-05 (SU).



Figura 9- Leveduras utilizadas: (a) DA (b) DV (c) SU.

3.1. PRODUÇÃO DO ETANOL

Os experimentos aconteceram no Laboratório de Química da Faculdade do Gama (FGA), em biorreatores em batelada descontínuo de polietileno (Figura 10) com capacidade variável de até 5 L, onde foram produzidas 3 bateladas diferentes: a primeira com 1,35 L de fermentado utilizando a levedura (DA), a segunda com 975 ml de fermentado usando a levedura (DV) e a terceira com 975 ml de fermentado usando a levedura (SU).



Figura 10- Biorreatores com o fermentado.

3.2. LAVAGEM DOS FRUTOS

As lavagens foram feitas em uma solução desinfetante de frutas composta por hipoclorito de sódio (NaClO) de concentração 0,96% p/p de cloro ativo com intuito de eliminar as sujeiras impregnadas aos frutos. Os frutos foram imersos na água com 10 ml do desinfetante durante 10 minutos. Em seguida foi feita uma nova lavagem em água corrente para retirar as sujeiras restantes e eliminar o resíduo de cloro que permaneceram da lavagem anterior. A Figura 11 mostra a lavagem dos frutos.



Figura 11- Lavagem dos frutos.

3.3. PESAGEM DOS FRUTOS

As pesagens foram feitas em uma balança analítica, para obtenção do rendimento da produção. Foi feita a pesagem do fruto inteiro e das castanhas. Após essa etapa, os frutos foram cortados para realização da centrifugação e filtração do suco. A Figura 12 mostra a pesagem dos frutos.



Figura 12- Pesagem dos frutos.

3.4. EXTRAÇÃO DA POLPA E ARMAZENAMENTO

A extração da polpa foi realizada com o auxílio de uma centrífuga (Mondial). Em seguida, a polpa foi colocada em embalagens de 1,5 L, fazendo a identificação e armazenando em um freezer. Após a extração do suco, verificou-se a presença de grande quantidade de pectina. A Figura 13 mostra o suco após a extração.

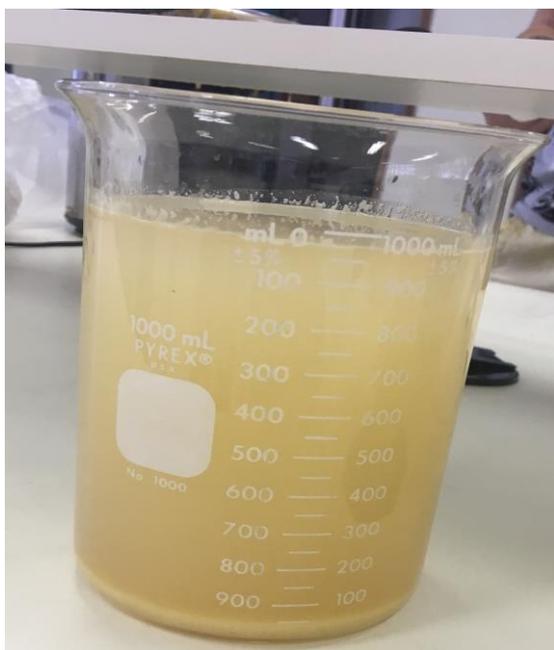


Figura 13- Suco após a extração.

3.5. CLARIFICAÇÃO E SEPERAÇÃO

A clarificação foi feita usando uma solução de gelatina a 10% (comercial, incolor e inodora, Royal), em uma proporção de 6 mL.L⁻¹ de suco, deixando em seguida o mosto por 2h a temperatura ambiente para ocorrer uma melhor floculação da gelatina com a pectina. Em seguida, foi realizada a separação do mosto da pectina que floculou com a gelatina. A clarificação foi feita para remover a pectina que é um polissacarídeo encontrado em nível mais elevado em frutos de origem tropical. Sua presença no mosto pode favorecer a produção de metanol que é indesejado ao processo. A Figura 14 mostra a separação da pectina do mosto após a clarificação.



Figura 14- Mosto após clarificação.

3.8. ANÁLISES DO MOSTO

3.7.1. Acidez total titulável

A acidez total titulável foi feita a partir da titulação de 50 mL de uma amostra do suco do caju com solução padrão de NaOH (0,1 M), utilizando 3 gotas de fenolftaleína como indicador. A acidez total é calculada a partir da Equação 2 (ADOLFO, 2005).

$$ATT = \frac{n \times M \times f \times PM}{10 \times V} \times \text{g de ácido por 100 ml de amostra} \quad (2)$$

Onde:

ATT = acidez total titulável (g.mL⁻¹);

n = volume gasto na titulação da solução de NaOH (mL);

M = molaridade da solução de NaOH (M);

f = fator de correção da solução de NaOH;

PM = peso molecular do ácido acético (60 g);

V = volume da amostra (mL).

3.7.2. Medição de pH

A medição do pH foi realizada com um medidor de pH portátil para analisar a acidez presente no mosto e a correção a ser feita antes e durante a fermentação.

3.7.3. Sólidos solúveis totais (°Brix)

Na análise de sólidos solúveis totais foi usado um refratômetro analógico expresso em °Brix para fazer a leitura. As medidas foram feitas em três estágios, antes da fermentação, durante e após, para medir dos açúcares consumidos e geração da curva de fermentação.

3.7.4. Medição da temperatura

Para mensurar a temperatura foi usado um termômetro digital. As medidas foram realizadas durante a fermentação.

3.7.5. Rendimento em peso

O rendimento em peso foi calculado para mensurar a quantidade de mosto extraído para cada amostra de cajus centrifugados. O rendimento foi calculado com a Equação 3:

$$RP = \frac{VM}{P} \text{ mL de mosto por g de caju}$$

(3)

Onde:

RP = rendimento em peso (mL.g⁻¹);

VM = volume do mosto extraído (L);

P = peso dos cajus centrifugados (g).

3.5. PREPARO DO MOSTO

3.5.1. Correção de pH

A correção do pH foi realizada com acréscimo de solução 0,5 M de NaOH até que o pH do mosto chegasse em um valor de 5,4.

3.5.2. Chaptalização

Houve diluição dos sólidos solúveis totais devido a adição da solução de NaOH para correção do pH, o que acarretou na diminuição do °Brix. Assim para retornar ao °Brix original foi adicionada sacarose ao mosto.

3.5.3. Adição de Nutrientes

A adição de nutrientes, fósforo e nitrogênio foi realizada visando suplementar, satisfatoriamente, as necessidades do microrganismo. Esses dois nutrientes foram adicionados ao mosto nas formas de fosfato de potássio (K_3PO_4) (VETEC), e sulfato de amônio $[(NH_4)_2SO_4]$ (VETEC, P.A), nas concentrações de 0,6 e 0,2 gramas para cada litro de mosto, respectivamente. Metabissulfito de potássio ($K_2S_2O_5$) (VETEC), foi adicionado ao mosto numa concentração de 0,3 g para cada L de suco. A Figura 15 mostra os nutrientes adicionados ao mosto.



Figura 15- Nutrientes para suplementação do microrganismo.

3.5.2. Preparo dos Inóculos

Os microrganismos utilizados foram as leveduras do tipo *Saccharomyces cerevisiae*, de diferentes marcas: Dona Benta Fermix, Dona Benta Fermix e a Safale Us-05, que foram adicionadas na concentração de 10 g/L. Foram realizadas três bateladas para cada levedura citada anteriormente.

3.6. FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA

A fermentação (Figura 16) é a etapa de inoculação do microrganismo ao mosto, para que ele consuma o substrato e produza álcool.

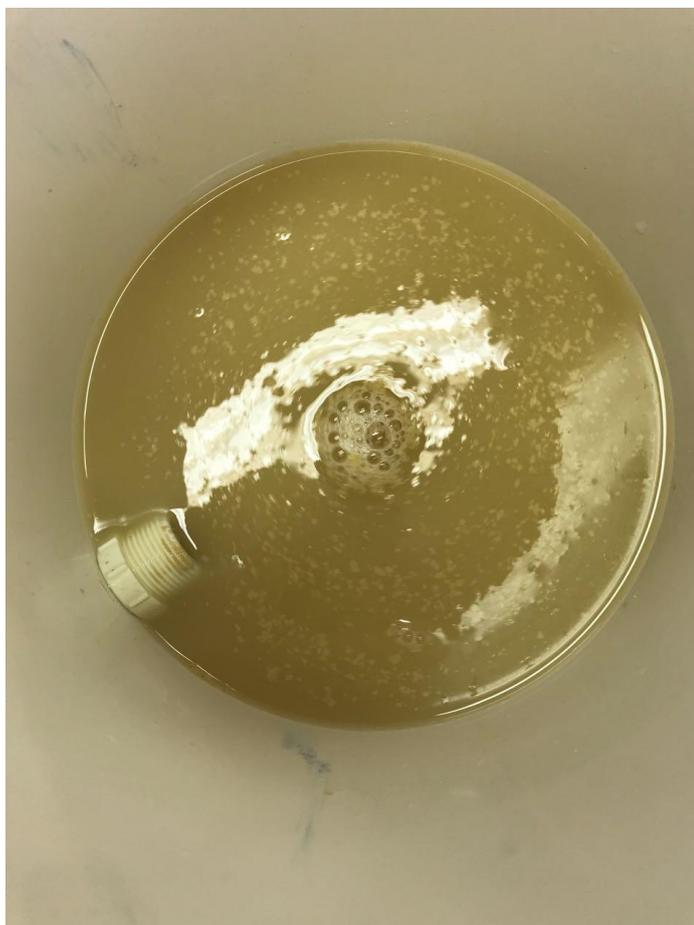


Figura 16- Fermentação do suco do caju.

As fermentações foram conduzidas em reatores em batelada de polietileno (capacidade de 5 L), com saída inferior, para que no final do processo fosse possível retirar toda a parte que não foi fermentada, com a utilização de agitadores magnéticos (marca Quimis). As análises da fermentação foram realizadas em intervalos de hora em hora, analisando decaimento de substrato (°Brix), temperatura e pH.

3.7. DECANTAÇÃO

Finalizada a fermentação, a vinhaça foi levada à geladeira por 24 h para facilitar a decantação da levedura, pelo fato da levedura ser menos solúvel a baixas

temperaturas. Dessa forma, após 24 h foi feita à primeira separação da vinhaça e levedura. Essa etapa foi repetida outras vezes, até que se eliminasse a maior quantidade de levedura possível.

3.8. ANÁLISES DA VINHAÇA

3.8.1. Teor alcóolico

O teor alcóolico final foi averiguado por meio de um ebulliômetro, onde a partir das temperaturas de ebulição do fermentado e da água, utilizou-se uma régua própria do equipamento para determinar a graduação alcoólica. Para o levantamento da curva de fermentação, as estimativas dos teores alcóolicos durante a fermentação foram quantificadas a partir das leituras de °Brix utilizando o refratômetro e pela transformação desses valores em peso específico, a partir da Equação 4 e o cálculo final realizado a partir da Equação 5.

O departamento de agricultura dos Estados Unidos fez uma tabela internacional de conversão de sucrose onde foi provinda a Equação 4, já a Equação 5 vem das relações da equação geral de fermentação e são hipóteses para as análises, expressas em mL de etanol em 100 mL de amostra, também conhecido como °GL (FERREIRA, 2013). Estas hipóteses foram realizadas devido o volume de mosto na fermentação ser baixo e a impossibilidade da retirada de 50 mL de amostra a cada hora para realização da técnica de ebulliometria.

$$SG = \frac{^{\circ}\text{Brix}}{268,6 - \left(\frac{^{\circ}\text{Brix}}{258,2} \times 227,1\right)} + 1 \quad (4)$$

Onde:

SG = peso específico;

°Brix = medida do refratômetro.

$$^{\circ}\text{GL} = (\Delta\text{SG}) \times 131 \quad (5)$$

Onde:

°GL = graus de Gay-Lussac (mL de etanol/100 mL de amostra);

ΔSG = variação do peso específico a cada h de fermentação.

3.8.2. RMN¹H

As amostras foram analisadas em um espectrômetro Bruker Avancer III HD, 14 T e frequência de 600 MHz, utilizando a água deuterada como solvente e referência dos espectros. Os espectros foram analisados por meio do programa 2D RMN processor.

3.9. DESTILAÇÃO

A destilação ocorreu em um aparato de destilação simples e durante 4 h, até que a vinhaça fosse toda destilada e a etapa finalizada. A Figura 15 mostra o aparato usado na destilação da vinhaça.

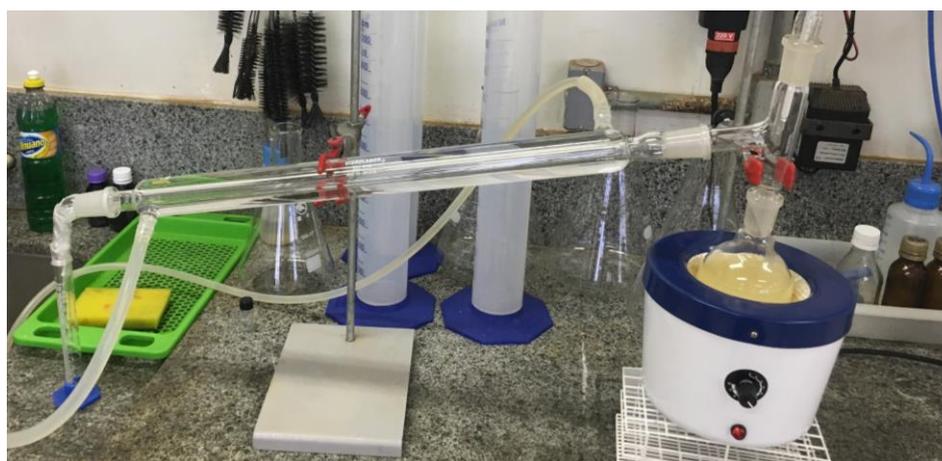


Figura 17- Aparato de destilação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DO MOSTO

Na Tabela 2 estão apresentados os valores obtidos da análise do mosto antes da fermentação para as diferentes marcas das leveduras.

Tabela 2- Parâmetros mosto antes da fermentação.

Parâmetros do mosto	
°Brix	11,2
pH	4,3
ATT (g de ácido acético / 100 mL de amostra)	0,24
RP (mL de mosto / g de caju)	0,5854

O teor de sólidos solúveis é uma medida utilizada como indicador da qualidade dos frutos. Ele é de grande importância para os frutos, tanto para o consumo “*in natura*” como para o processamento industrial, devido aos elevados teores de constituintes que possui a matéria-prima e acarretam menor adição de açúcares, diminuição no gasto de energia e maior rendimento do produto, resultando em maior economia no processamento (SILVA *et al.*, 2002).

O parâmetro sólidos solúveis determinado neste trabalho atingiu valor próximo a outros trabalhos realizados com o caju. Os caju usados neste trabalho apresentaram um teor de sólidos solúveis de 11,2 °Brix. Crisóstomo *et al.*, (2002) obtiveram resultados parecidos, onde o °Brix variou entre 11,1 a 14,1 utilizando pedúnculos do município de Pacajus-CE. Silva *et al.*, (2010) obtiveram o valor de teor de sólidos solúveis de 11 °Brix, com caju provenientes do município de Aracati-CE.

A Instrução Normativa N° 1, de 07 de janeiro de 2000 do MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento) regulamenta a polpa do caju qualificando-a a um valor mínimo de sólidos solúveis para o mesmo como 10 °Brix, o que coloca a polpa do caju usado no presente trabalho dentro dos padrões de qualidade (PINHEIRO,2006).

O potencial hidrogênico para uma boa fermentação, é na faixa entre 4,5 e 5,5 (LIMA *et al.*, 2001). Neste trabalho, o pH foi de 4,3, que não difere muito entre as variedades encontradas por Rocha (2010) que obteve uma média de 4,47 e Crisóstomo *et al.*, (2002) que encontrou uma variação de 4,1 a 5,1 com frutos colhidos no estado do Ceará. O valor de pH do mosto foi corrigido para 5,4 com solução 0,5 M de NaOH, com intuito de deixar o pH ideal para uma boa fermentação.

A ATT calculada neste trabalho apresentou um valor de 0,24%, o que demonstrou baixas quantidades de ácidos livres nos caju. O valor obtido neste experimento teve valor próximo ao de Silva *et al.*, (2010) que teve média de 0,20% e ao de Santos (2016) que obteve a média de 0,20% de frutos oriundo do município de Redenção-Pará.

O valor de RP calculado foi de 0,5854 neste trabalho, que é o rendimento em mosto a partir de sua polpa. Resultados obtidos por Santos (2016) mostraram eficiência 83,71%. O valor inferior de RP do presente trabalho é explicado em função da diferente forma de preparo do mosto. Neste trabalho foi realizado o congelamento

dos frutos para obtenção do suco, o que diminui o rendimento devido à perda de parte da polpa caju.

4.2. ANÁLISES DO DESEMPENHO APÓS A FERMENTAÇÃO ALCÓOLICA

Nas Tabelas 3 e 4 estão apresentados os valores obtidos da análise da graduação alcóolica e os parâmetros após fermentação dos mostos das diferentes marcas de leveduras.

Tabela 3-Parâmetros após fermentação.

Parâmetros após fermentação			
	°Brix	pH	Temperatura(°C)
DA	4,4	4,8	31
DV	3,8	4,6	30
SU	4	4,6	28

Tabela 4- Teor alcoólico após a fermentação.

Teor Alcoólico (g.L ⁻¹)		
	Téorico	Experimental
DA	40,63	51,35
DV	46,65	42,26
SU	44,67	48,98

Os teores alcoólicos encontrados no presente trabalho variaram de 6,5 para DA, 5,35 para o DV e 6,2 °GL para SU, mostrando que os açúcares consumidos durante o processo foram convertidos em etanol. A diferença do teor alcoólico ocorreu devido as diferentes marcas das leveduras e suas condições intrínsecas. A DV foi a que apresentou o menor grau alcoólico, seguido da SU e a DA foi a que apresentou a maior concentração de etanol pelo fato de apresentar em sua composição emulsificante de monoestearato de sorbitana, um componente que não se encontra nas outras leveduras, que fez com que as excreções que as leveduras liberam além do etanol se homogeneizassem contribuindo para que as leveduras produzissem uma maior graduação alcóolica quando comparada às outras diversidades da *Saccharomyces cerevisiae* usadas no presente trabalho. A concentração de etanol em g.L⁻¹ para os fermentados foram 51,35, 42,26 e 48,98 g.L⁻¹ para o DA, DV e SU, respectivamente. Rocha (2010) em seu trabalho com produção de etanol a partir do caju obteve concentração de 44,35 g.L⁻¹ de etanol com tempo de fermentação de 11 horas. Pinheiro (2011) obteve concentração de 45 g.L⁻¹, em 10 h de fermentação de mosto de caju. Esses resultados foram

semelhantes aos encontrados na vinhaça deste trabalho para leveduras das marcas DV e SU, diferindo apenas da DA.

Os valores experimentais deram superiores aos teóricos, provavelmente, em função da chaptalização ocorrida, pois como a sacarose é um açúcar diferentes dos açúcares contidos no suco do caju, essa diferença pode ter ocorrido a partir deste motivo, incluindo também as fontes de erro associadas ao experimento.

4.3. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE AS VARIAÇÕES DA LEVEDURA

4.3.1. Cinética Fermentativa Primeira Batelada (DA)

Na primeira batelada foi utilizado 1,35 L de suco de caju e foi adicionada uma concentração de $13,5 \text{ g.L}^{-1}$ de levedura no mosto, com teor de sólidos solúveis inicial de $11,2 \text{ °Brix}$, pH de 5,4 e temperatura de 28°C . Nessas condições foi iniciada a fermentação da primeira batelada com cerca de 8 h de reação. A Figura 18 mostra a cinética fermentativa da reação da levedura DA, onde pode-se observar o consumo de substrato na mesma proporção em que o álcool é formado em função do tempo de reacional.

Para esta fermentação, foi visto que houve um maior nível de formação de etanol entre 5 e 8 h de reação. A reação foi observada por 12 h, tendo um decaimento de $6,8 \text{ °Brix}$, com duração de 8 h de reação. Foi observado que a levedura decantou para o fundo do reator, gerando uma concentração de etanol de $51,35 \text{ g.L}^{-1}$.

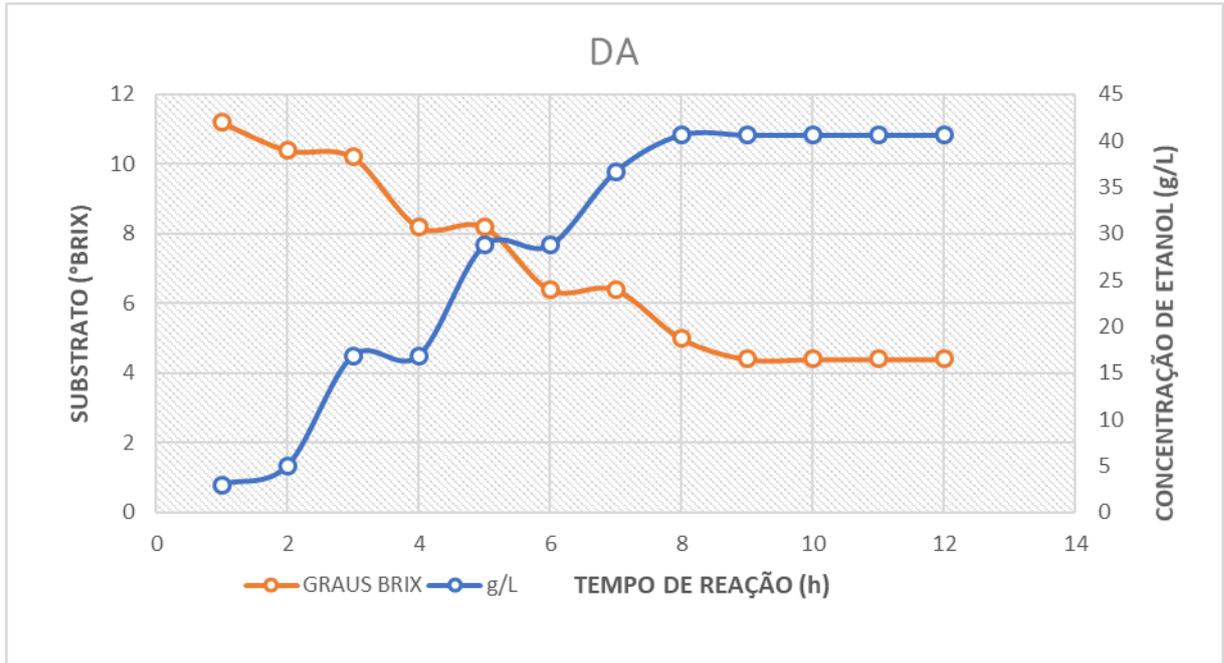


Figura 18- Cinética Fermentativa DA.

4.3.2. Cinética Fermentativa Segunda Batelada (DV)

Na segunda batelada, foi utilizada a levedura DV e 0,975 L de suco de caju, com uma concentração de $9,75 \text{ g.L}^{-1}$ de levedura no mosto, teor de sólidos solúveis inicial de $11,2 \text{ }^\circ\text{Brix}$, pH de 5,4 e temperatura de 25°C .

Nessas condições foi iniciada a fermentação com cerca de 8 h de reação. A Figura 19 mostra a cinética fermentativa da reação da levedura DV.

Para esta fermentação, foi visto que houve um maior nível de formação de etanol entre 6 e 8 h de reação. A reação foi observada por 12 h, tendo um decaimento de $7,4 \text{ }^\circ\text{Brix}$, gerando uma concentração de etanol de $42,26 \text{ g.L}^{-1}$.

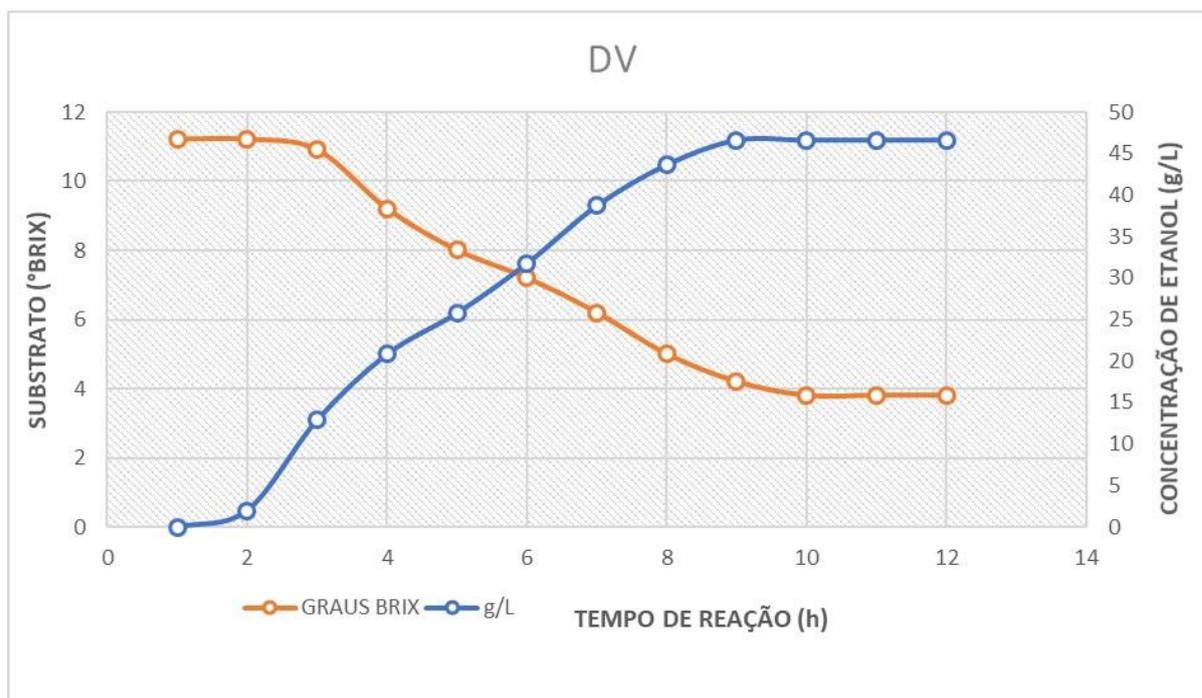


Figura 19- Cinética Fermentativa DV.

4.3.3. Cinética Fermentativa Terceira Batelada (SU)

Por fim, na terceira batelada, utilizou-se a levedura SU, com 0,975 L de suco de caju e concentração de $9,75 \text{ g.L}^{-1}$ de levedura no mosto. O teor de sólidos solúveis inicial foi de $11,2 \text{ }^\circ\text{Brix}$, pH de 5,4 e temperatura de 14°C , pelo fato dessa levedura necessitar de baixas temperaturas para sobreviver ($12 \text{ e } 25^\circ\text{C}$).

Nessas condições foi iniciada a fermentação, com cerca de 13 h de reação, um tempo reacional bem maior quando comparado às outras. A Figura 20 mostra a cinética fermentativa da reação da levedura SU, nela observa-se uma linha constante, que pode ser explicada pelo fato de que a partir das 13 às 24 h de reação não foi possível realizar medições.

Para esta fermentação, foi visto que houve um maior nível de formação de etanol entre 10 e 13 h de reação. A reação foi observada por 25 h, tendo um decaimento de $7,2 \text{ }^\circ\text{Brix}$, gerando uma concentração de etanol de $48,98 \text{ g.L}^{-1}$.

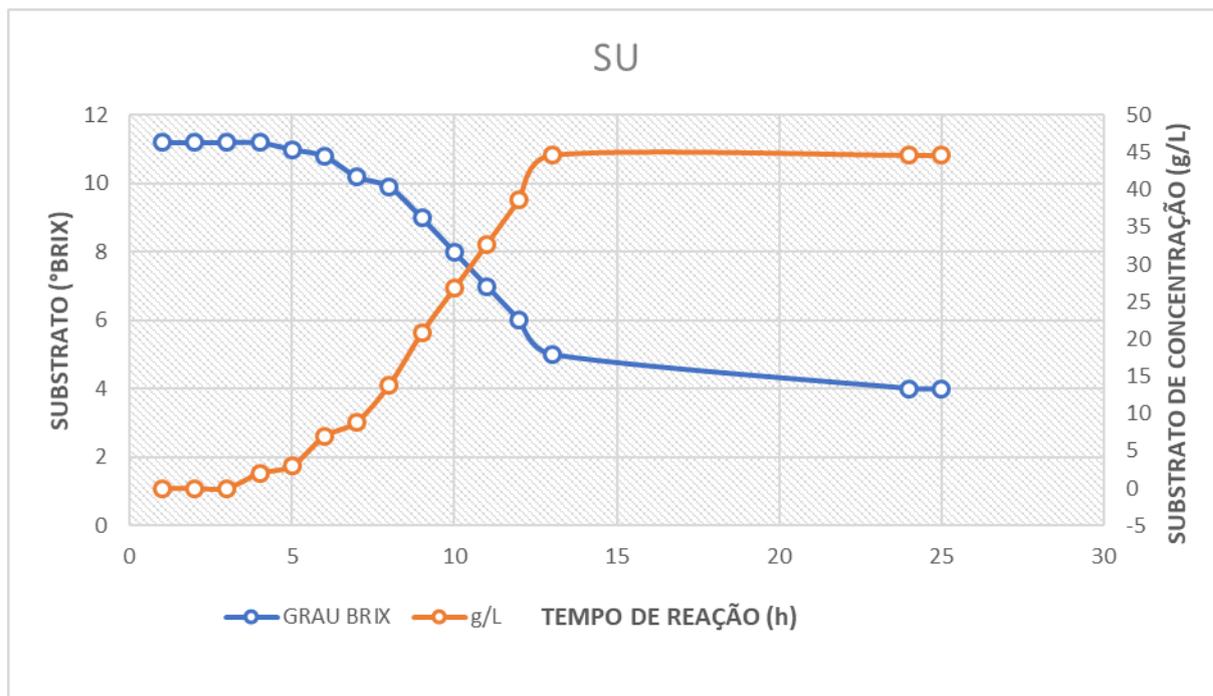


Figura 20- Cinética Fermentativa SU.

A partir das cinéticas fermentativas e dos resultados alcançados foi possível averiguar a influência das diferentes marcas da levedura na reação de fermentação. As variações DA e DV obtiveram tempos reacionais iguais e bem menores quando comparadas com a SU, sendo que com esta, a reação chegou a demorar 13 h para que finalizasse a fermentação, enquanto as outras apenas 8 h, isso ocorreu devido ao fato da mesma ter sido colocada para trabalhar com a faixa de temperatura de fermentação superior ao qual é indicada pelo fabricante. O consumo de substrato, seguido pelo maior decaimento do °Brix foi observado para a levedura DV e a com menor declínio foi a DA. Já formação de etanol ocorreu de forma diferente, uma vez que a DA foi a que teve a maior grau alcóolico e a DV a menor graduação alcóolica.

4.4. ANÁLISES POR RMN¹H

A Figura 21 mostra os espectros obtidos na análise de RMN¹H para os etanóis obtidos a partir da fermentação do suco do caju, por meio de três leveduras de fontes diferentes.

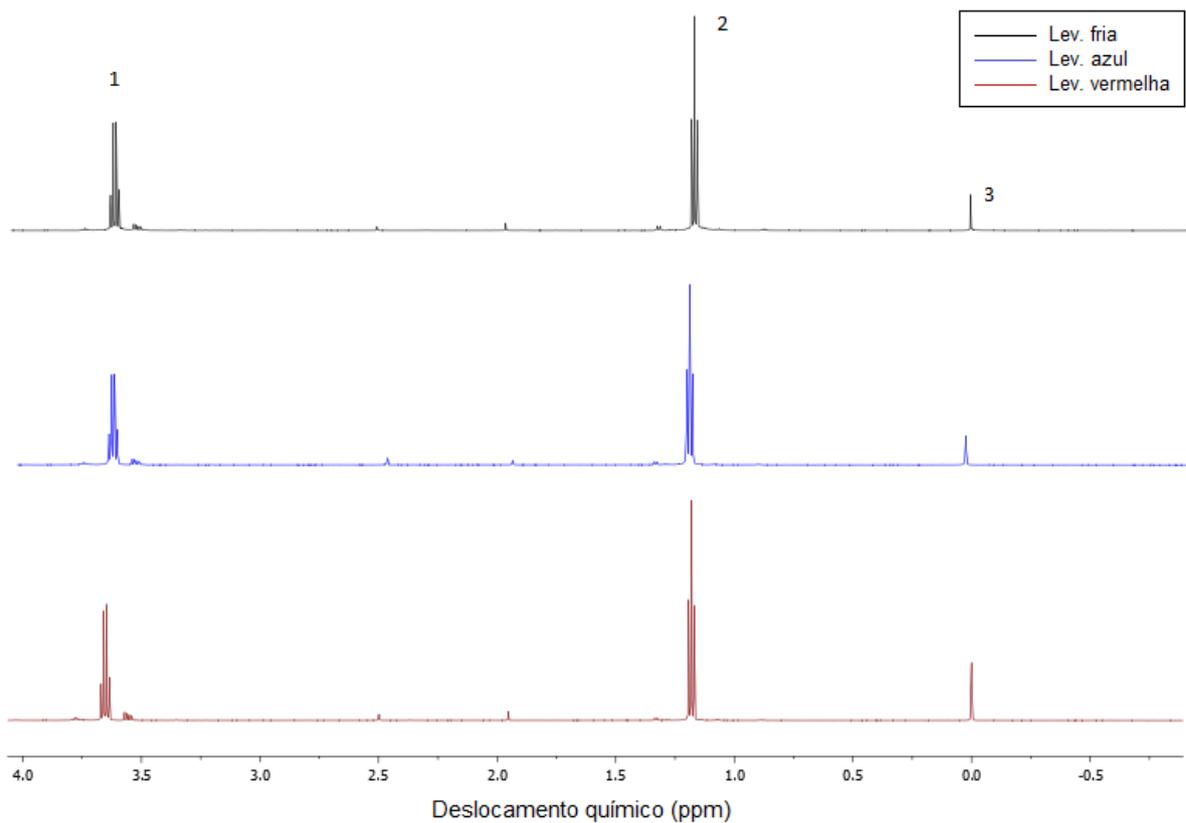


Figura 21- Espectro RMN¹H variações da levedura.

No RMN¹H, o número de sinais mostra quantos tipos diferentes de hidrogênios estão presentes, assim a molécula de etanol é composta por (CH₃CH₂OH) de forma que exibe três hidrogênios (CH₃) vizinhos a um quadripeto, dois hidrogênios vizinhos (CH₂) que forma um tripleto e um hidrogênio vizinho (OH) onde forma um dubleto (GOTTLIEB *et al.*, 1997). A Figura 22 mostra a relação de picos do RMN¹H.

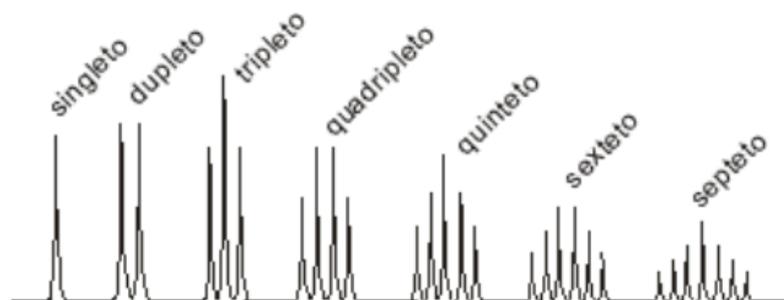


Figura 22- Picos RMN¹H.

A relação das medidas de Ressonância Magnética Nuclear de Hidrogênio (RMN¹H) representa a área do sinal desse espectro é diretamente proporcional ao número de hidrogênios que absorvem energia na radiofrequência referente a este sinal (SANTOS, COLNAGO, 2013). A Tabela 5 mostra cada um dos três picos de hidrogênio de cada um dos componentes do etanol.

Tabela 5- Espectro RMN¹H.

Pico	Faixa Espectro – ppm	Componente
1	3,6	CH ₂
2	1,1	CH ₃
3	0	Solvente

Determina-se o que cada pico do espectro representa, através do solvente usado, neste trabalho foi utilizado a água deuterada (D₂O). Assim, como pode-se observar o hidrogênio do OH não foi determinado pelo fato de não ser possível identificar a troca de sinais de prótons referentes a ele, isso acontece porque a água deuterada vai trocar de lugar com o hidrogênio do O-H e no pico referente a ele fica ausente, ou menos intenso. Foi determinado pico do CH₃ em 1,1 ppm e do CH₂ em 3,6 ppm, sendo ambos espectros iguais para as três variações da levedura. Dessa forma, a análise de RMN¹H para as amostras de etanol, com diferentes marcas de levedura confirma a presença de etanol na mistura obtida após a fermentação e destilação.

5. CONCLUSÃO

O caju apresenta-se factível para a obtenção de etanol a partir da fermentação do seu suco, uma vez que apresentou propriedades físico-químicas satisfatórias e semelhantes a outros estudos com mesmo fruto, como acidez total titulável, °Brix e pH.

O fermentado apresentou parâmetros análogos à literatura, quanto a concentração alcóolica das variações SU e DV, diferindo apenas da DA que obteve uma maior graduação alcóolica entre as leveduras usadas neste trabalho e dos estudos encontrados, mostrando-se a melhor opção para produção de etanol. O tempo de fermentação da DV e DA foram semelhantes aos da literatura, porém o da

SU diferiu bastante utilizando mais que o dobro do tempo de reação que ambas variações usadas.

A análise por RMN¹H, confirmou que a reação de fermentação ocorreu com sucesso, portanto, houve produção de etanol no destilado do mosto de caju quando comparados seus picos referentes aos seus componentes a outros trabalhos da literatura.

Assim, o caju torna-se uma alternativa para produção de etanol como complementação nos meses de baixa produção do etanol a partir da cana-de-açúcar, uma vez que o pendúnculo é uma parte do fruto pouco usada e, portanto, descartada, mas que pode ser aproveitada para obtenção de bioetanol, agregando assim valor ao subproduto.

6. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ALBARELLI, J. Q. **Produção De Açúcar E Etanol De Primeira E Segunda Geração: Simulação, Integração Energética E Análise Econômica**. Universidade Estadual De Campinas, Faculdade De Engenharia Química, Campinas, 2013. Tese de Doutorado.

BALAT, M. **Production of bioethanol from lignocellulosic materials via the biochemical pathway: A review**. Energy Conversion And Mangement, Trabzon, p.858-875, 2010.

BETTINGA, M.; HAHN-HÄGERDAL, B.; GORWA-GRAUSLUND, M. F. **Comparing the xylose reductase/xylytol dehydrogenase and xylose isomerase pathways in arabinose and xylose fermenting *Saccharomyces cerevisiae* strains**. Biotechnol Biofuels. v. 1, 2008.

BNDS; CGEE. **Bioetanol de cana-de-açúcar: Energia para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro.2008.

CARNEIRO, N. S.; NETO, A. P.; DINIZ, M.; PORTES, M. N. **ANÁLISE DA QUALIDADE DO ÁLCOOL COMBUSTÍVEL: UMA PROPOSTA DE APRENDIZAGEM**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro, Campus Uberaba,2015.

CHANDEL, A.; CHAN, E.; RUDRAVARAM, R.; NARASU, L.; RAO, V.; RAVINDRA, P. **Economics and environmental impact of bio-ethanol production technologies: An appraisal**. Biotechnology and Molecular Biology Review, v. 2, n. 1, p. 014-032, 2007.

COLLINS, C. H.; JARDIM, I. C.; COLLINS, K. E.; KENNETHH, E. T. **FASES ESTACIONÁRIAS PARA CROMATOGRAFIA LÍQUIDA DE ALTA EFICIÊNCIA EM FASE REVERSA (CLAE-FR) BASEADAS EM SUPERFÍCIES DE ÓXIDOS INORGÂNICOS FUNCIONALIZADOS.** Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP. *Quim. Nova*, Vol. 25, No. 4, 616-623, 2002.

COSTA, T. S. A.; LIMA, A.; LIMA, M. V. **Determinação de tanino em pedúnculo de caju: método da vanilina versus método do butanol ácido.** *Química Nova*, v. 26, n. 5, 2003.

CRISÓSTOMO, J. R. et al. **Melhoramento do cajueiro-anão-precoce: avaliação da qualidade do pedúnculo e a heterose dos seus híbridos.** *Rev. Bras. Frutic.*, Jaboticabal - SP, v. 24, n. 2, p. 477-480, agosto 2002.

CROUCH, S. R.; SKOOG, D. A.; HOLLER, F. H. **Princípio de Análise Intrumental. Sexta edição, Ed.Bookman.** 2009.

DAL BEM, A. J.; KOIKE, G. H.; PASSARINI, L. C. **Modelagem e simulação para o processo industrial de fabricação de açúcar e álcool.** *Minerva*, 33-46.2003.

EMBRAPA. **Cultivo do cajueiro - Características da planta.** Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Caju/CultivodoCajueiro/>.2011. Acesso em: 17 out 2015.

ERENO. S., CÉSAR, E. **Álcool de celulose.** *Revista FAPESP*, 133,p9. 29-31, 2007.

FERNANDES, A. C. **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar.** Piracicaba: Stab. 2011.

FERREIRA, A. L. **Demanda e Conservação de Óleo Diesel na Fase Agrícola do Proálcool.** Campinas: Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 1992. Dissertação Mestrado.

FERREIRA, J. **ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO: definição e perspectivas.** Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP).2014.

FERREIRA, V. S.; MARTINS, P. K. B.; TRINDADE, J. L. F.; TOZETTO, L. M. **Produção de cerveja artesanal com gengibre.** 8º encontro de engenharia e tecnologia dos campos gerais, Ponta Grossa, PR, p. 1-9, ago. 2013.

FUKUDA, H.; KONDOB, A.; TAMALAMPUDIA, S. **Bioenergy: sustainable fuels from biomass by yeast and fungal whole-cell.** *Biochemical Engineering Journal*, v. 44, 2009.

FURLAN, V. J. M. **Produção de bioetanol a partir de resíduos celulósicos da agroindústria do arroz.** 2009.

GOTTLIEB, H. E.; KOTLYAR, V.; NUDELMAN, A. **NMR chemical shifts of common laboratory solvents as trace impurities.** The Journal of organic chemistry, v. 62, n. 21, p. 7512-7515, 1997.

JONER, G. C. **Obtenção de etanol a partir da biomassa de frutas.** Rio Grande do Sul, XXXII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Desenvolvimento Sustentável e Responsabilidade Social: As Contribuições da Engenharia de Produção, 2012. José do Rio Preto – SP. 2015.

JÚNIOR, J. E. S.; SANTOS, R. C. **Divergência genética por análise multivariada de caracteres fenotípicos de *Anacardium humile* (St. Hilaire).** Rev. Ceres, Viçosa, v. 62, n.6, p. 553-560, novembro, 2015.

LANÇAS, F. M. *et al.* **A cromatografia líquida moderna e a espectrometria de massas: finalmente “compatíveis”.** Scientia chromatographica, v. 1, n. 2, p. 35-61, 2009.

LEITE, R.C.C, LEAL, M.R.L.V.. **O BIOCOMBUSTÍVEL NO BRASIL,** 2007.

LIMA, U. A.; BASSO, L. C.; AMORIM, H. V. **Biotechnologia Industrial: Processos Fermentativos e Enzimáticos;** Edgard Blücher: São Paulo, Brazil, 2001; Vol. 3, p. 1-43.

MARQUES, M. S. B..**A aceleração inflacionária no Brasil: 1973-83.** R.B.E., 1985.

MATRIZ ENERGÉTICA - **Biocombustível.** Portal Brasil. 14 de out. 2010. Disponível em:< <http://www.brasil.gov.br/sobre/economia/matriz-energetica/biocombustivel>>. Acesso em: 18 de out. 2017.

MIELE, A.; RIZZO, A. **ACIDEZ NA VINIFICAÇÃO EM TINTO DAS UVAS ISABEL, CABERNET SAUVIGNON E CABERNET FRANC.** Ciência Rural, Santa Maria, v.32, n.3, p.511-515.2002.

MISSAWA, S. K. **Modificação de linhagens industriais de *Saccharomyces cerevisiae* para o aumento da produtividade de álcool e floculação condicional.** Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009. Tese de Doutorado.

MME, M. **Resenha Energética Brasileira** – Exercício de 2016. 2017

MOTTA, R. S. **Um estudo de custo-benefício do Proálcool.** Pesq. Plan. Econ.,1987.

NAZARETH, P. B.; BARAT, J.. **Transporte e Energia no Brasil: as repercussões da crise do petróleo**.1984.

OLIVEIRA, M. E. B. et al.. **Avaliação de parâmetros de qualidade físico-química de polpas congeladas de acerola, cajá e caju**. Ciência e Tecnologia de Alimentos. Vol.19, n.3. Campinas, 1999.

PACHECO, T. F. **Produção de Etanol: Primeira ou Segunda Geração?** Circular Técnica, n. 04., , 2011.

PARRO, J. E. **A visão do setor automobilístico**. In: Fernandes, E. S. L. & Coelho, S. T. (orgs.). Perspectivas do álcool combustível no Brasil. São Paulo.

PIACENTE, E. A.. **Perspectiva do Brasil no mercado internacional de etanol**. Dissertação de Mestrado de Engenharia Mecânica. Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2006.

PINHEIRO, A. D. T. **Fermentação Alcoólica Do Suco De Caju (Anacardium Occidentale L.): Influência De Condições Operacionais**. Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia Departamento de Engenharia Química,2011. Dissertação de Mestrado.

PINHEIRO, Á. D. T. **Fermentação alcoólica do suco de caju (anacardium occidentale L.): influencia de condições operacionais**. 2011. Tese de Doutorado.

PINHEIRO, A. D. T. **Viabilidade Técnica e Econômica da Produção de Etanol a partir do Suco de Caju por saccharomyces cerevisiae flocculante**. Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia Departamento de Engenharia Química,2015. Tese de doutorado.

PINHEIRO, A. M. et al.. **Avaliação química, físico-química e microbiológica de sucos de frutas integrais: abacaxi, caju e maracujá**. Ciência e Tecnologia de Alimentos, vol. 26, núm. 1, enero-marzo, 2006, pp. 98-103. Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos Campinas, Brasil.

PITARELO, A. P. et al. **Efeito do teor de umidade sobre o pré-tratamento a vapor e a hidrólise enzimática do bagaço de cana-de-açúcar**. Química Nova, Curitiba, p.1-8, 2012.

PROTÁSIO, T. P.; ALVES, I. C.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, V. O.; BALIZA, A. E. **Compactação de biomassa vegetal visando a produção de biocombustíveis sólidos**. Universidade Federal de Lavras, pesquisa florestal brasileira, Colombo, v.31, n.68, p. 273-283, 2011.

QUIRINO, W.F; VALE, A.T.; ANDRADE, A.P.A; ABREU, V. L.; AZEVEDO, A. C. **Poder calorífico da madeira e de resíduos lignocelulósico**. Biomassa & Energia. Viçosa, MG, v. 1, n. 2, p. 173-182,2004.

RAMOS, L. P. **Aproveitamento Integral de Resíduos Agrícolas e Agroindustriais**. Curitiba, p.1-11, 2000.

RIBEIRO, C. A.; BLUMER, S. A.; HORII, J. **Fundamentos da Tecnologia Sucroalcooleira: Tecnologia do álcool**. Piracicaba. (1999).

ROCHA, M. V. P. **Produção de Bioetanol a partir de Pedúnculo de Caju (*Anacardium occidentale L.*) por Fermentação Submersa**. Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2010. Tese de Doutorado.

ROCHA, M. V. P.; GOMES, B.; RAPHAELA, V.; MELO, V. M.; GONÇALVES, L. R. B. **Evaluation of Cashew Apple Juice for Surfactin Production by *Bacillus subtilis* LAMI008**. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, v. 155, p. 63-75, 2009.

RODRIGUES, S.; DORNELLES, A. S. **Fermentação alcoólica de caldo de cana utilizando grãos de kef**. Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE.2006.

ROSSELL, C. E. **Fermentação do hidrolisado**. III Workshop Tecnológico sobre Hidrólise para Produção de Etanol, São Paulo, dez. 2006.

SANCHO, S. O.; MAIA, G. A.; FIGUEIREDO, R. W.; RODRIGUES, S.; SOUSA, P. H. M. **Alterações químicas e físico-químicas no processamento de suco de caju (*Anacardium occidentale L.*)**. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, vol. 27, núm. 4, outubro-diciembre, 2007, pp. 878-882 Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos Campinas, Brasil.

SANTIN, A. P. et al. **Estudo da secagem e da inativação de leveduras: *Saccharomyces cerevisiae***. Florianópolis: UFSC, 1996. Dissertação de Mestrado.

SANTOS, F.; COLODETTE, J.; QUEIROZ, J.H. Energia da Cana-de-Açúcar. **Bioenergia e Biorrefinaria: Cana-de-Açúcar e Espécies Florestais**. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa. Brasil, 2013.

SANTOS, M. S.; COLNAGO, L. A. **Validação de método quantitativo por RMN de ¹H para análises de formulações farmacêuticas**. *Quim. Nova*, v. 36, n. 2, p. 324-330, 2013.

SANTOS, R. C.; JÚNIOR, J.E.S. **Divergência genética por análise multivariada de caracteres fenotípicos de *Anacardium humile* (St. Hilaire)**. Universidade Federal de Minas Gerais, 2015.

SANTOS, W. F., **Características físicas e químicas do caju (*Anacardium occidentale*)**. *Tecnologia & Ciência e Agropec.*, João Pessoa, v.10, n.5, p.23-28, julho de 2016.

SHIKIDA, P. F. A.; BACHA, C. J. C.. **Evolução da Agroindústria Canavieira Brasileira de 1975 a 1995**. RBE, Rio de Janeiro, 1999.

SILVA, J. et al.. **Determinação da qualidade e do teor de sólidos solúveis nas diferentes partes do fruto da pinheira (annona squamosa I.)**. Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal - SP, v. 24, n. 2, p. 562-564, agosto 2002.

SILVA, M. E. ; ARAÚJO, G. T.; ALVES, J. J. N. **Avaliação das características físico-químicas da polpa do pseudofruto do caju (anacardium occidentale I.) Visando obter um fermentado para a produção de etanol hidratado**. 2010. 11 p. Doutor (Doutorando UAEQ/DEQ/CCT, Universidade Federal de Campina Grande), PB.

SILVA, N. L. C. **Produção de bioetanol de segunda geração a partir de biomassa residual da indústria de celulose**. Escola de Química Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2010. Dissertação de Mestrado.

SILVERSTEIN, R. M.; WEBSTER, F. X.; KIEMLE, D. J. **Identificação Espectrométrica de Compostos Orgânicos**. Sétima Edição. Ed. abdr, 2005.

TOSSETO, G. M. **Influência da matéria-prima no comportamento cinético de levedura na produção de etanol**.2002. Universidade Estadual de Campinas, Campinas. Dissertação de Mestrado.

VÁSQUES, M. P. **Desenvolvimento de processo de hidrólise enzimática e fermentação simultâneas para a produção de etanol a partir de bagaço de cana-de-açúcar**. Universidade Federal de Rio de Janeiro Escola de Química 2007.

VIAN, C. E. F. **Expansão e Diversificação do Complexo Agroindustrial Sucoalcooleiro no Centro-Sul do Brasil – 1980/96**. São Carlos: Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, 1997. Dissertação Mestrado.

VIAN, C. E. F. **Inércia e Mudanças Institucional: Estratégias Competitivas do Complexo Agroindustrial Canavieiro no Centro-Sul do Brasil**. Campinas: Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, 2002. Tese Doutorado.