



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE PROCESSOS**



TESE DE DOUTORADO

**PROCESSO DE BIOFERMENTAÇÃO DA POLPA DE JUÁ E
REAPROVEITAMENTO DO SUBPRODUTO PARA ALIMENTAÇÃO**

NUBÊNIA DE LIMA TRESENA

Campina Grande - PB

2019

NUBÊNIA DE LIMA TRESENA

**PROCESSO DE BIOFERMENTAÇÃO DA POLPA DE JUÁ E
REAPROVEITAMENTO DO SUBPRODUTO PARA ALIMENTAÇÃO**

Trabalho apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Doutora em Engenharia de Processos.

Orientadores: Mário Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti-Mata

Maria Elita Martins Duarte

CampinaGrande-PB

2019

T796p

Tresena, Nubenia de Lima.

Processo de biofermentação da polpa de juá e reaproveitamento do subproduto para alimentação / Nubenia de Lima Tresena. – Campina Grande, 2020.

125 f. : il. color.

Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, 2019.

"Orientação: Prof. Dr. Mario Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti-Mata, Profa. Dra. Maria Elita Martins Duarte".

Referências.

1. Bebida Alcoólica. 2. Secagem – Polpa de Juá. 3. Juá (*Ziziphusjoazeiro*). 4. Desenvolvimento de Processos. I. Cavalcanti-Mata, Mario Eduardo Rangel Moreira. II. Duarte, Maria Elita Martins. III. Título.

CDU 663.54(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE PROCESSOS



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO

Aprovado em 16/12/19

BANCA EXAMINADORA

PARECER

Mário Eduardo
Pr. Dr. Mário Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti Mata

APROVADO

Orientador (UFCG/CTRN/UAEA)

APROVADO

Maria Elita
Prof. Dr.ª Maria Elita Martins Duarte

Orientadora (UFCG/CTRN/UAEA)

APROVADO

Mathieu Augusto de Bittencourt Pasquani
Prof. Dr. Mathieu Augusto de Bittencourt Pasquani

Examinador Interno (UFCG/CTRN/UAEA)

APROVADO

Renato Sousa
Dr. Renato Sousa Aragão
Examinador externo (UFCG/CTRN/UAEA)

APROVADO

Angela Maria
Prof. Dr.ª Angela Maria Santiago

Examinador externo (UEPB)

Fabílica Oliveira
Prof. Dr.ª Fabílica Oliveira Galvão

APROVADO

Examinador externo (UEPB)

Examinador externo (UEPB)

Campina Grande - PB

2019

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus em que não posso e não devo definir algo tão grandioso numa simples palavra ou conceito, mas tenho a certeza que eu não estava só espiritualmente falando, e que essa espiritualidade começa no coração e não em liturgias.

Agradeço a minha amiga Elvira, pois foi com seu apoio e incentivo somado ao meu desejo de fazer doutorado que esse sonho se concretizou. Obrigada Elvira por sua motivação.

Aos meus orientadores Mário Eduardo R.M. Cavalcanti Mata e a Maria Elita Martins Duarte, que são referências de profissionalismo e competência para mim e para tantos outros dessa instituição, ambos tem a minha profunda admiração e o meu respeito. Agradeço aos dois pela oportunidade.

Ao Prof. Dr. Antônio Gilson por ser essa pessoa acessível, compreensiva e paciente e que sempre se disponibilizou a ajudar.

As Secretárias do Departamento de Pós graduação em Engenharia de Processos, nas pessoas de Fátima e Rose, por suas orientações, sanado as nossas dúvidas e sempre viabilizando todo o processo.

A Manoel Toletino, que acompanhou esse trabalho desde a fase embrionária, vivenciou todas as minhas inquietações, angústias, dificuldades, acertos e erros, e ele estava sempre presente, tentando encontrar caminhos, saídas, soluções, sempre pronto pra ajudar. Manoel, meu muito obrigada!

A Jorge Jacó por sua grande ajuda na estatística desse trabalho, permitindo a interpretação das informações advindas dos dados coletados durante a execução dessa pesquisa.

Agradeço a minha banca, nas pessoas de Renato Fonsceca Aragão, ao prof. Matheus Augusto de Bittencourt Pasquali, a prof.a Ângela Maria Santiago e a prof.a Pablícia Oliveira Galdino, pelas valiosas contribuições e colocações que foram extremamente pertinentes, me apresentando sugestões, caminhos e oportunizando melhorias na minha pesquisa.

DEDICO

Agora entro em outro campo de agradecimento, mais do que especial, o familiar, e queria agradecer a todos, minha irmã Núbia, meus sobrinhos, meus cunhados e sogro que de alguma maneira me ajudaram para chegar onde cheguei, mas quero agradecer em especial a três pessoas, a minha sogra D. Áurea, minha segunda mãe, não há palavras para o que ela fez e faz na minha vida, pelos seus cuidados comigo e com meu filho acerca de minhas ausências. Ao meu pai Adalberto Trezena, um homem simples, caririzeiro de Sumé, que mal sabe assinar o nome, mas que sempre disse que a maior riqueza que poderia deixar para as filhas era o estudo e formou as duas filhas como sempre sonhou, nos dando a oportunidade que ele jamais teve na vida. A minha mãe Maria das Neves de Lima Trezena, ou simplesmente Dona Nevinha, minha maior fã e incentivadora, sem ela nada disso seria possível, em suas orações meu nome sempre será citado.

E finalizo com minha base, meu alicerce, meus dois amores, meu esposo Rogério da Silva Leandro e meu filho Enzo Gabriel. A Enzo pela compreensão e maturidade desde bem pequenininho acerca de minha ausência, os abraços, os beijos e as palavras que tudo ia acabar bem, me fortalecia. A Rogério, por sua compreensão, por seu companheirismo, por me segurar quando fraquejava, quando eu mais precisava ele sempre estava lá; por me ajudar em todos os sentidos, por se alegrar com minha vitória. Rogério, essa conquista é nossa, você faz parte dela e sempre fará.

Enfim, agradeço a todos os amigos que foram muitos, que fiz durante essa trajetória e que contribuíram para essa minha vitória.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS	xi
RESUMO	xiii
1 INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVOS.....	16
1.1.1 Objetivo geral	16
1.1.2 Objetivos específicos	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 Aspectos gerais da cultura.....	17
2.2 Aplicações e uso de juá	19
2.3 Bebidas Alcoólicas	19
2.4 Fermentação Alcoólica.....	20
2.5 Controle de processos fermentativos.....	21
2.5.1 pH	21
2.5.2 Temperatura	22
2.5.3 ° Brix	23
2.5.4 Leveduras.....	24
2.5.5 Concentração de Leveduras (contagem de células).....	25
2.6 Aguardentes de Frutas	26
2.7 Destilação	28
2.7.1 Compostos voláteis presentes em destilados	30
2.7.2 Contaminantes	32

2.8 Aproveitamento dos resíduos sólidos agroindustriais	35
2.9 A secagem	35
2.9.1 A farinha	36
3 MATERIAL E MÉTODOS	37
3.1 Local de Realização do trabalho	37
3.2 Matéria-prima	37
3.3 Seleção, limpeza e sanitização	37
3.4 Obtenção da polpa de juá	38
3.4.1 Caracterização físico-química da polpa de juá	38
3.4.2 Etapas de elaboração da bebida alcoólica da polpa de juá	39
3.5 Processo Fermentativo	39
3.6 Cinética de fermentação	40
3.7 Análises realizadas durante o processo fermentativo	41
3.8 Trasfega e Engarrafamento da bebida alcoólica de juá	42
3.9 Processo de Destilação	42
3.9.1 Análises Físico-Químicas da bebida alcoólica de juá.....	42
3.9.2 Análise cromatográficas de qualidade da bebida alcoólica de juá.....	43
3.10 Percentual de produtividade, conversão, e parâmetros cinéticos de fermentação alcoólica	43
3.10.1 Cálculo da produtividade ($\text{g L}^{-1} \text{h}^{-1}$)	43
3.10.2 Rendimento do produto ($Y_{p/s}$).....	44
3.10.3 Rendimento em biomassa ($Y_{x/s}$)	44
3.10.4 Percentual de conversão (%)	44
3.11 Elaboração da farinha do resíduo de juá (casca e semente)	45

3.11.1 Secagem do resíduo (casca e semente)	45
3.12 Caracterização físico-química da farinha do resíduo de juá (casca e semente)	46
3.12.1 Cinética de Secagem – Casca e sementes de Juá.....	46
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4.1 Caracterização Físico-Química da polpa de Juá.....	51
4.2 Processo Fermentativo	53
4.2.1 Conversão, Rendimento e Produtividade	53
4.2.2 Rendimento em biomassa ($Y_{p/s}$)	55
4.2.3 Produtividade ($g L^{-1} h^{-1}$)	56
4.3 Estudo cinético da fermentação alcoólica	59
4.3.1 pH	59
4.3.2 Teor alcoólico	62
4.4 Secagem do resíduo de Juá.....	73
4.4.1 Cinética de Secagem (casca)	73
4.5 Cinética de Secagem (semente).....	83
4.5.1 Composição físico-química da farinha do resíduo de juá.....	93
5 CONCLUSÕES	100
REFERÊNCIAS	102

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Juazeiro (<i>Ziziphus joazeiro Mart</i>).....	17
Figura 2.2 Leveduras	24
Figura 2.3 Câmara de Neubauer espelhada (A) e Preparo da bancada (B)	26
Figura 3.1 Frutos maduros de juá.....	37
Figura 4.1 Valores de pH da levedura granulada em relação ao tempo de fermentação	61
Figura 4.2 Valores de pH da levedura fresca em relação ao tempo de fermentação.....	62
Figura 4.3 Valores do teor alcoólico em relação ao tempo para os experimentos E1 (fermento Granulado e 11 ° Brix), E2 (fermento Granulado e 12 ° Brix), E3 (fermento Granulado e 13 ° Brix) e E4 (fermento Granulado e 14 ° Brix).....	65
Figura 4.4 Valores do teor alcoólico em relação ao tempo para os experimentos E5 (fermento Fresco e 11 ° Brix), E6 (fermento Fresco e 12 ° Brix), E7 (fermento Fresco e 13 ° Brix) e E8 (fermento Fresco e 14 ° Brix)	66
Figura 4.5 Valores do ° Brix residual em relação ao tempo (Levedura Granulada).....	68
Figura 4.6 Valores do ° Brix residual em relação ao tempo (Levedura Fresca).....	69
Figura 4.7 Curvas da cinética de secagem de casca de juá obtidos por regressão não linear para diferentes condições de temperatura: (A) Page, (B) Midilli e (C) Cavalcanti-Mata	78
Figura 4.8 Efeito da temperatura na difusividade efetiva para diferentes condições de secagem de casca de juá.....	81
Figura 4.9 Curvas da cinética de secagem de sementes de juá obtidos por regressão não linear para diferentes condições de temperatura: (A) Page, (B) Midilli e (C) Cavalcanti-Mata	88
Figura 4.10 Efeito da temperatura na difusividade efetiva para diferentes condições de secagem de sementes de juá.....	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 Padrões de qualidade exigida pela legislação acerca de aguardente de fruta	27
Tabela 2.2 Limites de contaminantes permitidos em aguardente.....	32
Tabela 4.1 Características físico-químicas da polpa de juá.....	51
Tabela 4.2 Valores médios do percentual de Conversão, Rendimento em Biomassa (Y_x/s), Rendimento do Produto (Y_p/s) e Produtividade no fermentado de juá para produção do etanol em função do ° Brix selecionados na cinética de fermentação.	58
Tabela 4.3 Valores médios das variáveis dependentes: pH, teor alcoólico, ° Brix residual e contagem de células durante a cinética.....	60
Tabela 4.4 Resultados dos componentes voláteis na aguardente de Juá em relação às normas estabelecidas pela legislação para aguardentes de fruta.	70
Tabela 4.5 Parâmetros estimados do modelo proposto por Page, Midilli e Cavalcanti-Mata obtidos por meio de regressão não linear para diferentes temperaturas de secagem com os respectivos coeficientes de determinação (R^2) Desvio quadrático médio (DQM) e Tendência de distribuição de resíduos (TDR), para cascas de juá.....	77
Tabela 4.6 Parâmetros do modelo proposto por Fick, com seu respectivo coeficiente de determinação (R^2) para diferentes condições de temperatura (casca de juá).....	80
Tabela 4.7 Propriedades termodinâmicas obtidas pela cinética de secagem de casca de juá para diferentes temperaturas.	82
Tabela 4.8 Parâmetros estimados do modelo proposto por Page, Midilli e Cavalcanti-Mata obtidos por meio de regressão não linear para diferentes temperaturas de secagem com os respectivos coeficientes de determinação (R^2) Desvio quadrático médio (DQM) e Tendência de distribuição de resíduos (TDR), para sementes de juá. ...	84
Tabela 4.9 Parâmetros do modelo proposto por Fick, com seu respectivo coeficiente de determinação (R^2) para diferentes condições de temperatura (sementes de juá)...	90

Tabela 4.10 Propriedades termodinâmicas obtidas pela cinética de secagem de sementes de juá em diferentes temperaturas	92
Tabela 4.11 Resultados dos componentes da farinha do resíduo da semente de juá após operações de secagem.....	94
Tabela 4.12 Resultados dos componentes da farinha do resíduo da casca de juá após operações de secagem.....	97

RESUMO

O presente trabalho foi realizado com o objetivo principal de produzir uma bebida alcoólica de juá (*Ziziphusjoazeiro*) e elaborar uma farinha a partir do resíduo (casca e semente). Após a coleta, seleção e sanitização dos frutos, foi feita a extração da polpa e caracterização físico-química (teor de água, cinzas, proteínas, lipídios, carboidratos, calorias, acidez total, vitamina C, fibra alimentar, açúcares redutores, totais e não redutores). Antes de iniciar o processo de fermentação, a polpa do juá foi ajustada para os valores desejados de °Brix (11, 12, 13 e 14). Em seguida adicionou-se 3 L da polpa diluída em cada biorreator (4) com capacidade para 10 L, onde foi primeiramente colocada a levedura (*Saccharomycescerevisiae*) granulada. Em cada biorreator, a concentração celular foi de 20 g/L. Foi repetido o mesmo procedimento para a levedura fresca. Empregou-se o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4 x 2: quatro valores de °Brix (11, 12, 13 e 14) e dois tipos de leveduras (granulada e fresca). Neste estudo, avaliou-se a influência das variáveis independentes (valores de °Brix e tipo de levedura) sobre as dependentes (pH, Brix residual, contagem de células e teor alcoólico). Após a fermentação, foram realizadas as seguintes etapas: trasfega para garrafas, decantação e centrifugação da parte sobrenadante. Em seguida, foi feita a segunda parte do trabalho: a destilação, realizando as análises físico-químicas e cromatográficas do destilado, seguindo a legislação para aguardentes de frutas. Foi realizada a secagem do resíduo (casca e semente) para elaboração da farinha. Essa etapa teve como objetivo estudar o comportamento da secagem do resíduo (casca e semente) do juá, em diferentes temperaturas e definir a temperatura que atinge o ponto de quebra (fragmentação) em menor tempo, preservando as características originais da matéria-prima. Para a secagem do produto, utilizou-se o método de camadas finas, nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C. Durante este processo, monitorou-se a perda de massa através de pesagens periódicas, até massa constante. Os resíduos, tanto da casca como da semente, submetidos às quatro temperaturas de secagem foram moídos (fragmentados) até a obtenção de um material uniforme. Concluiu-se que a caracterização físico-química da polpa do juá apresentou as maiores frações para a umidade, carboidratos e vitamina C, com valores de 77,41%, 19,27% e 11,24%, respectivamente. A fermentação utilizando tanto a levedura granulada quanto a fresca apresentou teor alcoólico inferior a 4 °GL (limite estabelecido pela legislação para aguardar frutas). Comparando-se os dois tipos de leveduras, a granulada teve um melhor desempenho para o teor alcoólico, conversão, rendimento em biomassa e produtividade. Em relação ao °Brix (variável de entrada), não houve diferença estatística entre os °Brix 13 e 14, mostrando-se os de melhor desempenho tanto para as variáveis dependentes como para os parâmetros cinéticos. Nas análises do destilado, o teor alcoólico, o metanol e o ácido acético não estão de acordo com a legislação, no entanto os demais parâmetros (acetaldeídos, acetona, acetato de etila e álcoois superiores) estão dentro do que se preconiza a legislação para aguardentes de frutas. Todos os modelos testados podem ser usados na secagem da casca e da semente, e o modelo de Cavalcanti Mata, em especial, foi o que melhor se ajustou aos dados da cinética de secagem do juá. As farinhas resultantes do experimento na temperatura de 70 °C, tanto para casca quanto para semente, apresentaram as melhores características nutricionais de proteínas, cinzas e carboidratos, além de apresentarem teor de água dentro do valor requerido pela legislação para farinhas que é de até 15%.

Palavras-chave: *Ziziphusjoazeiro*, bebida alcoólica, secagem.

ABSTRACT

The present work was carried out with the objective of producing an alcoholic beverage of juá (*Ziziphusjoazeiro*) and elaborating a flour from the residue (peel and seed). After the collection, selection and sanitization of the fruits, it was realized the pulp extraction and physical-chemical characterization (water content, ash, proteins, lipids, carbohydrates, calories, total acidity, vitamin C, dietary fiber, reducing sugars, total sugars and non-reducing sugars). Before starting the fermentation process, the juá pulp was adjusted to the desired values of °Brix (11, 12, 13 and 14). Then, 3 L of the diluted pulp was added in each bioreactor (4) with a capacity of 10 L, where the granulated yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) was first placed. In each bioreactor, the cell concentration was 20 g / L. The same procedure was repeated for fresh yeast. A completely randomized design was used, in a 4 x 2 factorial scheme: four values of °Brix (11, 12, 13 and 14) and two types of yeasts (granulated and fresh). In this study, it was assessed the influence of the independent variables (values of °Brix and yeast type) on the dependent ones (pH, residual Brix, cell count and alcohol content). After fermentation, the following steps were taken: racking to bottles, decantation and centrifugation of the supernatant. Then, the second part of the work was done: the distillation, carrying out the physical-chemical and chromatographic analyzes of the distillate, following the legislation for fruit spirits. The residue (peel and seed) was dried to produce the flour. This step aimed to study the drying behavior of the residue (peel and seed) of juá, at different temperatures and to define the temperature that reaches the breaking point (fragmentation) in less time, preserving the original characteristics of the raw material. For drying the product, the thin-layer method was used, at temperatures of 40, 50, 60 and 70 ° C. During this process, mass loss was monitored through periodic weighing, up to constant mass. The residues, both of the peel and of the seed, submitted to the four drying temperatures were ground (fragmented) until obtaining a uniform material. It was concluded that the physical-chemical characterization of the juá pulp presented the highest fractions for water content, carbohydrates and vitamin C, with values of 77.41%, 19.27% and 11.24%, respectively. Fermentation using both granulated and fresh yeast had an alcohol content of less than 4 °GL (limit established by legislation to wait for fruit). Comparing the two types of yeasts, the granulated yeast had a better performance for alcohol content, conversion, biomass yield and productivity. In relation to °Brix (input variable), there was no statistical difference between °Brix 13 and 14, showing the best performance for both dependent variables and kinetic parameters. In the analysis of the distillate, the alcohol content, methanol and acetic acid are not in accordance with the legislation, however the other parameters (acetaldehydes, acetone, ethyl acetate and higher alcohols) are within the scope of the legislation for fruit spirits. All the tested models can be used to dry the peel and seed, and the Cavalcanti Mata model, in particular, was the one that best fit the data on the drying kinetics of the juá. The flours resulting from the experiment at a temperature of 70 °C, for both peel and seeds, showed the best nutritional characteristics of proteins, ash and carbohydrates, in addition to having a water content within the value required by the legislation for flours, which is up to 15%.

Key-words: *Ziziphusjoazeiro*, alcoholic beverage, drying.

1 INTRODUÇÃO

O juazeiro (*Ziziphus joazeiro* Mart) pertencente a família das *Rhamnaceae*, é conhecido popularmente como juá, joá-de-espinho, laranjeira de vaqueiro dentre outras denominações e ocorre em todos os estados do Nordeste brasileiro até o norte de Minas Gerais. É uma espécie endêmica da caatinga, bioma tipicamente brasileiro que apresenta uma grande biodiversidade. Se desenvolve onde existe água no subsolo, e seu profundo sistema radicular possibilita a absorção da água de maneira eficaz, fazendo que essa espécie se mantenha verde mesmo em períodos de estiagem, se destacando das demais vegetações.

É uma árvore que cresce lentamente e vive mais de 100 anos. Existem mais de 100 espécies, floresce durante os meses de novembro e dezembro e a maturação dos seus frutos ocorre no período de junho a julho (LORENZI e MATOS, 2002; ITF, 2008).

Os frutos são globosos, amarelos, drupáceos de 1,0 a 1,5 centímetros de diâmetro, comestíveis, com pedúnculos orlados, possuem uma polpa mucilaginosa doce e branca. É rico em vitamina C, saponina, hidratos de carbono, celulose e açúcares, com uma semente dura que se parte em duas metades (DINIZ *et al.*, 2006; ITF, 2008; CAVALCANTI *et al.*, 2011).

Apesar da riqueza nutricional presente nos frutos, a exploração do juazeiro limita-se ao extrativismo e são poucos ainda os conhecimentos capazes de contribuir para o desenvolvimento tecnológico dessa cultura (BRITO *et al.*, 2005). Isso indica, possivelmente, a falta de conhecimento que os produtores, a indústria e a população em geral tem em relação a certas espécies da caatinga e seu potencial alimentício e nutricional (SANTOS; JÚNIOR e PRATA, 2010).

Dentre as alternativas para a utilização de juá para fins comerciais está a produção de fermentados a partir de sua polpa. As frutas por serem fontes naturais de açúcares são substratos que podem ser utilizadas na elaboração de fermentados, uma alternativa viável para o aproveitamento de frutos, a elaboração de novos produtos, agregando valor. A fermentação é uma tecnologia eficiente e de baixo custo, representando um novo ramo para a fruticultura industrial e para a elaboração de novas bebidas fermentadas (SILVA *et al.*, 2007; ASQUIERI *et al.*, 2008; FAGUNDES *et al.*, 2015).

Assim, o estudo através da técnica de fermentação pelo processo de destilação da polpa de juá e reaproveitamento do subproduto para alimentação dará novas perspectivas para pequenos e médios produtores da região, de modo que os mesmos tenham a possibilidade de

ter outras alternativas de valia e desenvolverem meios de acrescer valores às suas rendas familiares através da inclusão de novas tecnologias.

No entanto, a otimização das etapas básicas de fabricação de bebidas alcoólicas a partir dos açúcares extraídos da polpa de juá, requer estudos técnicos e científicos que comprovem a viabilidade técnica, econômica e social do processo.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Produzir uma bebida alcoólica de juá e elaborar uma farinha a partir do resíduo (casca e semente).

1.1.2 Objetivos específicos

- Caracterizar fisicoquimicamente a polpa de juá *in natura*;
- Produzir a bebida fermentada da polpa de juá utilizando as leveduras *Saccharomyces cerevisiae* (granulada e fresca);
- Estudar a cinética do processo fermentativo, verificando os efeitos das variáveis de entrada (° Brix e tipos de leveduras) sobre as respostas (pH, teor alcoólico, ° Brix residual e contagem de células);
- Avaliar os parâmetros cinéticos do processo de fermentação alcoólica, na produção da bebida fermentada: $Y_x(s)$, $Y_p(s)$, produtividade, rendimento e conversão;
- Analisar na bebida destilada: concentração de etanol, substâncias voláteis (ácido acético, acetaldeído, acetato de etila e acetona), metanol e álcoois superiores (n-propanol, iso-butanol, n-butanol iso-amílico, n-amílico);
- Produzir e caracterizar as farinhas do resíduo (casca e semente) de juá;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Aspectos gerais da cultura

O juazeiro (Figura 2.1) que tem como nome científico *Ziziphus joazeiro* Mart., pertence à família *Rhamnaceae* (DANTAS, 2014). É conhecido popularmente como juazeiro, juá, juá espinho, juá fruta, laranjeira-de-vaqueiro, enjuá, juá mirim, juá de boi, juá bravo, loquiá, entre outros. O nome do seu fruto, juá, deriva do tupi “a-ju-á”, que significa “fruto obtido dos espinhos” (BRAGA, 2010).



Figura 2.1 Juazeiro (*Ziziphus joazeiro* Mart)

Fonte: Dados da Pesquisa

É uma planta típica do semiárido nordestino, onde está localizada a Caatinga, que é um bioma exclusivamente brasileiro. Dessa forma, podemos encontrá-lo nos oito estados que compõem a região Nordeste (Alagoas, Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe) e até mesmo no norte de Minas Gerais (DIÓGENES *et al.*, 2010).

É uma planta perenifólia, heliófita e seletiva higrófila, característica e exclusiva de várzeas da região semi-árida. O juazeiro desenvolve-se preferencialmente em solos aluviais argilosos; no entanto, pode ser encontrado em tabuleiros pedregosos e áridos. Todos os anos, ele gera um amplo número de sementes, que são largamente distribuídas pela fauna nativa. É uma espécie que resiste a longos períodos de estiagem, e mesmo nessas situações inóspitas, suas folhas não caem, diferentemente das demais plantas do bioma, isso deve-se principalmente pelo seu profundo sistema radicular que permite retirar água do subsolo para manter-se verde mesmo durante o período de estiagem. Dessa forma, mesmo em solos impróprios ao seu progresso, ele cresce e exibe-se sempre verdejante, porém, com tamanho as vezes inferior e com menor quantidade de folhas e ramos (COSTA, 2011).

Não existem matas naturais dessa espécie, ela ocorre de forma isolada nas matas adaptadas à aridez. A planta caracteriza-se, ainda, por um porte que varia de médio a alto, pelo tronco alinhado ou sinuoso, pela lentidão no crescimento e pela presença de espinhos resistentes com ramos tortuosos (BEZERRA, 2006).

Floresce durante os meses de novembro e dezembro e a maturação dos frutos ocorre no período de junho a julho (LORENZI e MATOS, 2002; ITF, 2008). As partes mais utilizadas são as folhas, cascas, entrecasas, frutos e raízes.

O fruto do juazeiro é uma drupa globosa de coloração amarelo-pardo, de 1,0 a 1,5 centímetros de diâmetro, com pedúnculos orlados e caroço envolto em uma polpa mucilagínosa, doce e branca, com elevados teores de vitamina C (SILVA *et al.*, 2011).

Seu caule possui cor cinza-escura, suavemente castanha, com pouco desenvolvimento do ritidoma (porção mais externa do tronco, formada por células mortas), sendo que seu tronco apresenta, em geral, diâmetro variando de 30 a 50 centímetros. Sua casca não apresenta cheiro, porém, tem gosto amargo (DANTAS, 2014).

Já as folhas do juazeiro exibem formato ovalado e alongado, com um tom verde-claro exuberante, que as diferencia das outras espécies vegetais do bioma Caatinga do semiárido brasileiro, tornando o juazeiro o destaque da geobiocenose (DANTAS, 2014).

Segundo Carvalho (2007), suas folhas são alternas, de consistência membranácea a levemente coriácea, ovalada a elíptica, com base cordada a obtusa, ápice curto-acuminado ou agudo, raro emarginado, margem, não raro, finamente serreada, face adaxial ou superior glabrescente a abaxial ou inferior glabrescente, raro pubescente, notadamente ao longo das nervuras, por vezes pubérula na reticulação; medem de 3 cm a 10 cm de comprimento por 2

cm a 6 cm de largura, com três a cinco nervuras inferiormente pubescentes bem visíveis, partindo da base; pecíolo medindo de 0,5 cm a 0,8 cm de comprimento, pubescente; estípulas com 1,0 mm a 1,5 mm de comprimento e 0,8 mm a 1,0 mm de largura.

2.2 Aplicações e uso de juá

É uma árvore muito conhecida pelos nordestinos, possuindo uma variada gama de utilidades, que vão desde medicamentos, cosméticos à alimentação humana e de animais. Possui ainda grande importância econômica e ecológica, sendo comumente utilizada para produção de lenha e carvão, arborização de ruas e jardins.

É de grande importância ecológica. A árvore é observada na etnobotânica como indicadora de chuvas para o semiárido (ARAÚJO *et al.*, 2013; DINIZ, 2016), conserva-se sempre verde e se estabelece em áreas degradadas, sendo uma espécie pioneira em estágios sucessionais (FERNANDES *et al.*, 2013; DINZ, 2016).

Muitas partes do juazeiro podem ser utilizadas, como as cascas entrecascas, frutos, sementes para os mais diversos fins. O suco é usado para tratar a peleacnéica, bem como para amaciar e limpar a pele do rosto (SILVA *et al.*, 2016).

Entre os constituintes químicos do juazeiro estão a saponina, os hidratos de carbono, a celulose e a vitamina C, sendo que essa última se apresenta em grande concentração em seus frutos. Dessa forma, devido as suas características nutricionais permitem uma utilização benéfica para alimentação humana (DANTAS *et al.*, 2014).

Pesquisas ainda revelam que os frutos em geral são ricos em nutrientes e antioxidantes, sendo que esses compostos foram encontrados em maiores quantidades nas cascas e sementes, e que se consumidos de maneira regular trazvantagens significativas à saúde devido à presença de compostos antioxidantes como os compostos fenólicos, ácido ascórbico e carotenoides associando-se à baixa incidência de doenças degenerativas, incluindo o câncer, doenças cardiovasculares, inflamações, artrites, declínio do sistema imune, disfunção cerebral, diabetes, mal de Alzheimer e alguns tipos de catarata (SOUZA *et al.*, 2012; ARAUJO *et al.*, 2013).

2.3 Bebidas Alcoólicas

Conforme a legislação brasileira, Decreto Lei nº 3510 de 16 de junho de 2000, a bebida alcoólica é definida como um produto refrescante, aperitivo ou estimulante, destinada

à ingestão humana no estado líquido, sem finalidade medicamentosa e contendo mais de 0,5° GL de álcool etílico (LIMA e FILHO, 2011).

Dentre as bebidas alcoólicas existem as fermentadas e destiladas. As primeiras se caracterizam por apresentarem teores alcoólicos inferiores em relação as destiladas (AVARENGA, 2011). Durante a fermentação alcoólica, ocorrerá a decomposição de álcool etílico e dióxido de carbono a partir dos açúcares presentes nos mostos fermentados. Além destes, há também a formação de outros componentes em menor quantidade, os quais são chamados de componentes secundários da fermentação alcoólica, como os ácidos carboxílicos, metanol, ésteres, aldeídos e álcool superiores (CANCELIER *et al.*, 2013; MORO, 2016).

2.4 Fermentação Alcoólica

A fermentação alcoólica tem sido utilizada desde a mais remota antiguidade. Há mais de 4000 anos os egípcios fabricavam pão e produziam bebidas alcoólicas a partir de cereais e frutas, sem conhecer a causa do processo fermentativo. Os primeiros indícios que a fermentação era um fenômeno microbiológico apareceram por volta dos séculos XIV e XV (MONGELO, 2012).

Fermentação alcoólica é um processo anaeróbio para produção de energia, que ocorre com degradação de carboidratos e formação de etanol e CO₂ como compostos principais ($C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_6O + 2CO_2$) e, como subprodutos, glicerol, ácidos pirúvico e succínico e álcoois superiores.

Esse processo fermentativo é realizado por leveduras, principalmente do gênero *Saccharomyces*, pois essas linhagens são consideradas as mais importantes na obtenção de álcool. Além, da espécie, linhagem e concentração da levedura, há outros fatores que afetam a fermentação, ou seja, a eficiência da conversão de açúcar em etanol como: fatores físicos (temperatura, pressão osmótica), químicos (pH, oxigenação, nutrientes minerais e orgânicos, inibidores) e microbiológicos (contaminação bacteriana) (NELSON *et al.*, 2014).

A fermentação alcoólica pode utilizar matérias primas diversas, tanto o uso tradicional da cana de açúcar, como também outros substratos na qual destacamos as frutas, cereais e até mesmo o mel. Temos um clima que favorece essa variedade de frutas, e estas além de servirem como base para produção de uma infinidade de itens alimentícios, podem ser utilizadas também na fabricação de fermentados e aguardentes.

Zauli *et al.* (2014) reforça essa ideia afirmando que o Brasil por ser um país continental e com climas variados apresenta uma vasta quantidade de frutas que podem ser aproveitadas para produção de vinhos com aromas e sabores diferenciados.

Segundo Alvarenga (2011) tanto na fermentação da cana de açúcar como na fermentação de outros produtos como as frutas no caso, o açúcar como também os outros substratos presentes no mosto serão transformados em CO₂ e etanol e uma infinidade de outros compostos pela ação das leveduras utilizadas no processo. Esses compostos segundo o autor são responsáveis pelo sabor das bebidas alcoólicas.

No entanto, para que a fermentação alcoólica tanto da cana de açúcar, como a de outras matérias primas ocorra de maneira eficaz, se faz necessário que alguns aspectos estejam favoráveis para que haja um bom rendimento.

Um dos fatores de maior importância é a temperatura de fermentação. Embora as leveduras alcoólicas sejam organismos que crescem em diferentes temperaturas, a fermentação pode ocorrer dentro de uma faixa de 10°C até 35°C (TONIATO, 2013).

2.5 Controle de processos fermentativos

É sabido, portanto, que na fermentação há elementos que dependendo da concentração tanto podem ser benéficos como maléficos para o processo fermentativo. Dentre esses fatores podemos destacar o pH, a temperatura, o ° Brix, tipos e concentração de leveduras. A seguir a tem-se a importância de cada parâmetro no rendimento.

2.5.1 pH

O potencial hidrogeniônico ou simplesmente pH, é um parâmetro importante no processo fermentativo pois, a partir dele pode-se precisar o quanto um meio se encontra ácido ou alcalino. Portanto, para que a fermentação ocorra de maneira eficaz e com um bom rendimento é preciso que o pH esteja dentro da faixa adequada.

Para Ribeiro (2010), na maioria dos processos fermentativos o pH do meio afeta tanto o crescimento, como a formação do produto.

A maioria dos microrganismos apresenta uma faixa estreita de pH, na qual crescimento e formação de produto ocorrem a altas velocidades e desta forma ele é controlado na maioria das fermentações. Embora haja exceções, bactérias usualmente crescem no

intervalo de pH de 4 a 8, leveduras de 3 a 6, mofos de 3 a 7 e células superiores na faixa de 6,5 a 7,5 (SOUSA e MONTEIRO, 2011).

Para Bonassa (2013) a faixa de pH mais adequada para a fermentação alcoólica está entre 4 e 5, os mostos industriais geralmente possuem pH entre 4,5 e 5,5; sendo características das leveduras industriais adaptação até faixas de pH entre 5,2 e 6,8.

Observa-se nas falas dos autores acima que há certa variância nos pH's ideais para fermentação, embora todos tendem a se manter dentro de uma mesma faixa. Muitas vezes se faz necessário ajustes para que o pH do material trabalhado se mantenha dentro da faixa ideal e conseqüentemente otimize o processo fermentativo.

Seguindo essa tendência Fontan *et al.* (2011) manteve o suco de melancia em repouso por 2 horas, o qual foi filtrado e teve o pH corrigido para 4,4 com ácido tartárico, antes de passar pelo processo de fermentação.

No trabalho de Campos (2011) intitulado: “Estudo dos Parâmetros Fermentativos na Obtenção do Aguardente de Mel”, o pH foi ajustado para 4,5 com H₂SO₄ 0,5N e as fermentações foram realizadas em duplicata.

Ajustes foram feitos também na pesquisa de Teixeira *et al.* (2014), em que para elaboração do fermentado alcoólico de maracujá, o pH sofreu um ajuste para 4,0. Segundo o autor, o pH dos vinhos é um fator importante na sua estabilidade, sendo que valores ao redor de 4,00 favorecem o crescimento da levedura.

2.5.2 Temperatura

Sem dúvida a temperatura é um dos fatores mais importantes no processo fermentativo. Através de várias pesquisas observou-se que a temperatura ideal para o desenvolvimento das leveduras é a temperatura ambiente em torno de 25°C, embora haja algumas leveduras que conseguem ter um favorecimento em seu crescimento com temperaturas tanto inferiores quanto superiores a esta.

No trabalho de Alvarenga (2011) com aguardente de banana, após o despulpamento, a polpa foi hidrolisada com o complexo enzimático por 2 horas a uma temperatura de 30 ± 1°C.

Já na pesquisa de Moro (2016) para submeter ao processo fermentativo os caldos de banana e de abacaxi com banana foram acondicionados em recipientes de 5 litros e colocados em uma sala climatizada com temperatura de 16°C, bem diferente das temperaturas consideradas ideais para o processo fermentativo. No entanto, a fermentação durou 7 dias para

o caldo de banana e 5 dias para o de abacaxi com banana, até a estabilização do ° Brix, essa demora da estabilização é condicionada pela baixa temperatura.

Constata-se, portanto, que a temperatura estabelecida no processo fermentativo varia, no entanto, há uma tendência dessas temperaturas estarem numa faixa que vai de 25 a 30 °C. Essa ideia corrobora com as proposições de Ribeiro (2010), onde afirma que as temperaturas ótimas para o crescimento e formação de produto não são necessariamente as mesmas e devem ser analisadas separadamente. Portanto, o controle da temperatura num processo fermentativo dentro de intervalos estreitos é de grande importância.

2.5.3 ° Brix

Derivada da escala de Balling, a escala ° Brix é comumente utilizada no segmento alimentício para a quantificação de açúcares na própria indústria de açúcar, na fabricação de sucos de frutas, vinhos, bebidas gaseificadas, leite condensado, geleias, gelatinas, entre outros. O refratômetro é o instrumento utilizado para realizar a medição da concentração das soluções aquosas. O princípio de funcionamento desse equipamento é através da refratometria (BRASEQ, 2016).

No processo da utilização de frutas como matéria prima para fermentação, os sólidos solúveis totais (° Brix) desempenham um papel primordial para a sua qualidade, devido a influência nas propriedades termofísicas, químicas e biológicas da fruta. A determinação do ° Brix do material, revela uma informação importante, o quanto de sólidos solúveis tem esse substrato e que ali pode ter açúcares fermentescíveis, essenciais no bom rendimento da fermentação alcoólica. Na indústria, a análise do ° Brix tem grande importância, no controle dos ingredientes a serem adicionados ao produto e na qualidade final (SANTOS, 2016).

Nas análises de Parente (2014) com a produção de aguardente de abacaxi concentração de açúcar no mosto foi corrigida com sacarose até concentrações de sólidos solúveis de 14, 17 e 20° Brix.

Regulações também foram feitas na pesquisa de Alvarenga (2011) com o destilado de banana onde o teor de sólidos solúveis da polpa foi ajustado com água destilada para: 10 ° Brix, 12 ° Brix e 15 ° Brix.

No estudo de Gonçalves (2016) na elaboração e caracterização físico-química de bebida alcoólica mista de laranja com beterraba, o° Brix encontrado foi de 23,4 não havendo ajustes antes de se iniciar o processo fermentativo.

Percebemos que há uma variância no ° Brix para dar início ao processo fermentativo. O ° Brix escolhido vai depender muito da natureza e da composição química da matéria-prima. Essa modulação além de se dá pela compatibilidade do material escolhido se dá também pela levedura utilizada na fermentação alcoólica.

2.5.4 Leveduras

As leveduras são fungos de interesse industrial pertencentes à classe dos Ascomicetos, sendo a espécie mais importante a *Saccharomyces cerevisiae* (Figura 2.2). As leveduras (*S. cerevisiae*), quando crescem anaerobiamente em meio com glicose, convertem piruvato em acetaldeído, e então reduzem o acetaldeído em etanol (NELSON *et al.*, 2014).

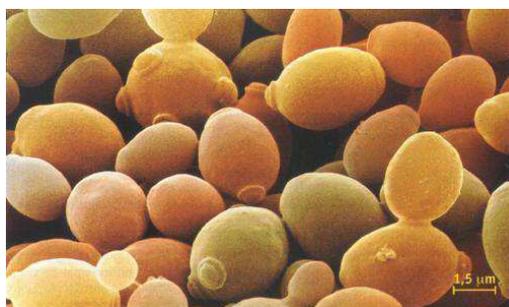


Figura 2.2Leveduras

Fonte: Artigos e Reportagens (2015)

Convém ressaltar que a levedura *S. cerevisiae* é um aeróbio facultativo, ou seja, tem a capacidade de fazer um ajuste em seu metabolismo, e atuar tanto em meios aeróbios como em meios anaeróbios (ausência de oxigênio molecular). Os produtos finais da metabolização do açúcar irão depender das condições ambientais em que a levedura se encontra. Assim, enquanto uma porção do açúcar é transformada em biomassa, CO₂ e H₂O em aerobiose, a maior parte é convertida em etanol e CO₂ em anaerobiose, processo denominado fermentação alcoólica (WEBER, 2017; BORZANI *et al.*, 2001).

A escolha da levedura e a concentração das mesmas estão entre os fatores determinantes no processo fermentativo, estas devem apresentar características como: alta tolerância ao etanol e bom rendimento, fermentar rapidamente o meio diminuindo assim o risco de contaminações, produzir melhor concentração e balanço de compostos secundários desejáveis para a qualidade da bebida, apresentar estabilidade genética e no final da

fermentação ser removida com facilidade do meio por floculação ou centrifugação (OLIVEIRA, 2001).

A escolha da leveduras (*Saccharomyces cerevisiae*), em uma concentração de 1,65 g/L, mostrou-se adequada para obtenção de teores alcoólicos dentro dos padrões exigidos para uma fermentação alcoólica a um prazo mais longo da fermentação do morango (ANDRADE, 2013).

Na pesquisa de Bizinoto (2017) na produção do fermentado alcoólico de murici (*Byrsonima crassifolia* (L.) Kunth), a levedura *Saccharomyces cerevisiae* ICV D47 (Lalvin®), livre de OGM, com viabilidade de 97,0%, foi inoculada no pé-de-cuba na concentração de 8,0 g L⁻¹.

Já no trabalho de Parente (2014) foram utilizadas três diferentes concentrações de 10, 15 e 20 g/L de leveduras, avaliando-se quais dessas concentrações obteriam um melhor desempenho na fermentação alcoólica do aguardente de abacaxi. Nessa pesquisa os experimentos do ponto central com 17° ° Brix e 15g/L de levedura apresentaram a melhor condição para obter-se um fermentado alcoólico com um teor de etanol suficiente para obtenção da aguardente.

Observamos nos trabalhos acima que a quantidade em gramas de leveduras no mosto variou bastante. No entanto, embora haja uma profusão de concentrações desses microrganismos, todos optaram pela mesma espécie (*Saccharomyces cerevisiae*), pelas vantagens já mencionadas anteriormente.

2.5.5 Concentração de Leveduras (contagem de células)

Um dos métodos mais aplicados para a contagem de células é a contagem direta de células de levedura utilizando a câmara de contagem de Neubauer, também conhecida por hemacitômetro. De uma forma geral, neste método utiliza-se uma suspensão diluída da amostra a analisar que vai ser colocada na câmara de contagem de Neubauer e observada ao microscópio. O que torna possível efetuar a contagem neste método é o fato do hemacitômetro se encontrar dividido em quadrados de dimensões bem definidas, sendo assim o seu volume conhecido (RODRIGUES, 2011). As Figuras 2.3A e 2.3B representam o hemacitômetro e o preparo para execução da análise, respectivamente.

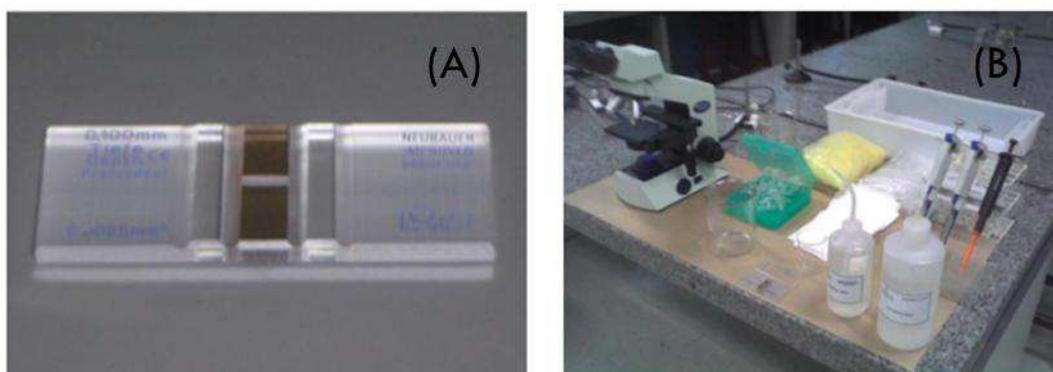


Figura 2.3 Câmara de Neubauer espelhada (A) e Preparo da bancada (B)

Fonte: Gonçalves (2011)

Rodrigues (2011) ainda relata que embora seja um método fácil e simples de aplicar, a este estão associadas algumas limitações tais como: a não distinção das células vivas das células mortas, a dificuldade de contagem de células no microscópio devido ao fraco contraste entre as células e o meio que as circunda, e a baixa precisão que o método apresenta, sendo esta dependente da técnica do experimentalista.

2.6 Aguardentes de Frutas

Há uma abundância de frutas tropicais no Brasil com potencial para ser utilizado pela indústria de alimentos (DA SILVA *et al.*, 2014; BERTAGNOLLI, 2014). Para o processamento dessas frutas, novos usos e métodos diferenciados precisam ser desenvolvidos para minimizar as perdas de produção e gerar mais lucro. Um possível uso desses frutos é na produção de fermentados de frutas (DUARTE *et al.*, 2010; BERTAGNOLLI, 2014).

No caso de juá especificamente há um desperdício evidente, já que não é comum o consumo do fruto na alimentação humana. Normalmente o fruto ao cair das árvores serve de alimentação para animais.

Com todas as propriedades já comprovadas de juá, é importante que haja um emprego adequado, de modo que possa ser melhor aproveitado. A produção de bebidas fermentadas e destiladas passa a ser um caminho, no entanto, análises criteriosas precisam ser realizadas com o objetivo de saber se os constituintes do produto escolhido estão de acordo com o que preconiza a legislação.

Conforme o anexo VI da Portaria Nº65 de Abril de 2008 define-se aguardente de fruta como a bebida com graduação alcoólica de 36 a 54 % em volume, a 20 °C, obtida de destilado alcoólico simples de fruta, ou pela destilação de mosto fermentado de fruta. A destilação deverá ser efetuada de forma que o destilado tenha o aroma e o sabor dos elementos naturais voláteis contidos no mosto fermentado, derivados do processo fermentativo ou formados durante a destilação (PARENTE, 2014).

Na Tabela 2.1 encontram-se os limites de compostos presentes nos aguardentes de frutas de acordo com o que preconiza a legislação.

Tabela 2.1 Padrões de qualidade exigida pela legislação acerca de aguardente de fruta

Componentes	Padões
Grau alcoólico	36 a 54° GL a 20 °C
Acidez volátil	100 mg/100 mL de álcool etílico
Ésteres	250 mg de acetato de etila por mL de álcool
Alcoóis superiores	360 mg/100 mL de álcool etílico
Aldeídos	30 mg de acetato de etila por mL de álcool etílico

Fonte: Brasil (2008)

Segundo Moro (2016), os processos de preparação de aguardentes à base de frutas encontrados na literatura, são bastantes semelhantes, no entanto para cada fruta utilizada como matéria prima é necessário fazer os ajustes. No mix de banana e abacaxi utilizados na produção de aguardente também se mostrou viável em sua pesquisa, onde todos os constituintes químicos presentes no destilado estão dentro dos limites exigidos pela legislação brasileira para aguardentes de frutas, com exceção apenas para o constituinte metanol.

No trabalho de Oliveira (2015) foi feita uma bebida fermentada à base de caldo de cana e polpa de jambolão com concentrações distintas e se mostrou viável no aspecto tecnológico, onde os parâmetros analisados estão dentro da faixa determinada pela legislação brasileira vigente.

Ajustes também foram feitos na pesquisa de Parente (2014) com abacaxi onde apresentou características físico-químicas dentro dos parâmetros exigidos pela legislação vigente (BRASIL, 2008), exceto o teor de cobre.

Segundo Oliveira (2014) no estudo cinético, análises cromatográficas e sensoriais no desenvolvimento de bebidas fermentadas a base de cupuaçu e ciringuela forneceu um produto de elevado teor alcoólico, com parâmetros dentro do estabelecido e preconizado pela lei federal além de propriedades organolépticas desejáveis, sinalizando um futuro promissor neste mercado pouco explorado.

Observamos então que várias matérias primas podem ser utilizadas, e que mesmo apresentando características distintas se enquadram dentro do padrão desejado. É necessário apenas ajustes na metodologia de maneira que se adéque ao substrato. A escolha da matéria prima muitas vezes se dá pela disponibilidade da mesma.

Tal fato está de acordo com o que sugere Carneiro (2004) onde afirma que algumas aguardentes predominam em determinadas regiões, segundo a disponibilidade das matérias-primas que as originam; desta forma, onde há abundância de uvas, a preferência é do tipo conhaque, a bagaceira ou a graspa, da destilação dos resíduos da vinificação. O uísque de cevada ou de milho, o rum e a aguardente de cana das regiões tipicamente canavieiras, o saquê do arroz, o araque do mosto de tâmaras, o quirch que é feito da cereja, a vodka que vem da cereja ou da batata, o gim que provém de cereais e bagas de zimbro.

2.7 Destilação

A Destilação é um processo que volatiliza líquidos pelo aquecimento, condensando-os a seguir, objetivando especialmente a purificação ou formação de produtos novos por decomposição de frações (VENTURINI FILHO, 2016).

Corroborar-se com essa ideia, Canuto (2013) evidenciando que a destilação é o processo responsável por separar as substâncias voláteis (água, álcool etílico, aldeídos, álcoois superiores, ácido acético, gás carbônico, etc.) das não voláteis (sólidos em suspensão, sais minerais ou oriundas da decomposição de células de leveduras ou bactérias, etc.). O autor ainda ressalta que através do aquecimento do vinho no alambique formam-se vapores ricos em etanol e demais substâncias voláteis, as quais são condensadas pelo resfriamento, retornando à forma líquida. De um vinho com 7 a 8°GL chega-se a um destilado com 38 a 54°GL de etanol. O produto resultante, de composição diferente daquela do vinho (mais rico em substâncias voláteis) é a aguardente ou cachaça. A parte que permanece na panela do alambique, chamada de vinhoto, é rica em água e em substâncias não voláteis do vinho.

Portanto, na destilação ocorrem separação, seleção e concentração dos componentes voláteis oriundos do mosto fermentado e, ainda, algumas reações químicas induzidas pelo calor. A qualidade da bebida dependerá do tipo de levedura, da forma pela qual é conduzida a destilação, do tipo de destilador, das condições operacionais e a experiência do alambiqueiro no momento dos cortes que é de fundamental importância.

O primeiro corte é destinado a separar a fração cabeça, enquanto o segundo corte separa a fração coração da cauda. A fração cabeça é, às vezes, esbranquiçada ou esverdeada, a fração cauda é turva e a fração coração é incolor e também é a única que possui valor comercial. Para determinar o melhor ponto de corte entre as três frações de destilado, deve-se equacionar o perfil qualitativo e quantitativo dos álcoois, ésteres, ácidos graxos e aldeídos, com especial atenção para o conteúdo de metanol (que é tóxico) e 2-butanol (responsável por sabores desagradáveis). Entretanto, o corte é ainda feito de forma totalmente empírica, baseado na experiência, e sobre as concentrações de álcoois, avaliada por medidas de densidade. O corte entre as frações cabeça e coração é feito tipicamente entre 70 e 80°GL em etanol, enquanto que o corte entre as frações coração e cauda normalmente é feito entre 35 e 50°GL de etanol. Um bom procedimento de realizar a fermentação é que esta seja de forma lenta, de modo a evitar o desenvolvimento de supraaquecimentos e consequente degradação térmica do destilado (CANUTO, 2013).

Segundo ABUJAMRA (2009), a qualidade da aguardente no Brasil é regulamentada pelo Decreto Federal nº 2314, de 04/09/97, que regulamenta a Lei no 8.918, de 14 de Julho de 1994, que estabelece os seguintes padrões de identidade e qualidade: o teor alcoólico deve ser de 38 a 54% em volume à 20 °C e o coeficiente de congêneres (aldeídos, ácidos, ésteres, furfural e alcoóis) não pode ser inferior a 200 mg/100 mL de álcool anidro, sendo os teores máximos de cada congêneres: acidez volátil em ácido acético (g.100 mL⁻¹ álcool anidro)- 0,150; ésteres em acetato de etila (g.100 mL⁻¹ álcool anidro)- 0,200; aldeídos em aldeído acético (g.100 mL⁻¹ álcool anidro)- 0,030 ; furfural (g.100 mL⁻¹ álcool anidro)- 0,005; alcoóis superiores (g.100 mL⁻¹ álcool anidro)- 0,360 ; metanol (g.100 mL⁻¹ álcool anidro) – 0,020.

Ainda a mesma autora relata que foram também definidas quantidades máximas permitidas de alguns contaminantes não mencionados anteriormente, como carbamato de etila (150µg.L⁻¹), acroleína (5mg.100mL⁻¹ de álcool anidro), álcool sec-butílico (10mg.100mL⁻¹ de álcool anidro), chumbo (200µg.L⁻¹) e arsênico (100µg.L⁻¹).

2.7.1 Compostos voláteis presentes em destilados

A destilação deve ser efetuada de forma que o produto obtido preserve o aroma e o sabor dos principais componentes contidos na matéria prima e daqueles usados na fermentação. No processamento, o destilado deve ser fracionado em três frações: cabeça, coração e cauda; a cachaça deve ser exclusivamente constituída da fração coração do destilado. É permitido o re-destilamento uma única vez, das porções cabeça e cauda (OLIVEIRA, 2017).

Há componentes além do álcool etílico e o gás carbônico produzidos na fermentação alcoólica, que conferem ao aguardente características sensoriais importantes, como aroma e sabor, esses componentes são designados “secundários” que tornam o aguardente mais do que uma simples solução alcoólica são eles: ácidos, aldeídos, álcoois superiores, ésteres, furfural, lactonas, furanos, pirazinas, entre outros.

2.7.1.1 Acidez

Entre os ácidos, produtos secundários da fermentação alcoólica, o ácido acético tem sido quantitativamente o principal componente da fração ácida de aguardentes, tendo sido expresso em acidez volátil. A acidez em aguardentes é de grande importância, constituindo um fator de qualidade, uma vez que, durante sua produção, os ácidos reagem com os álcoois presentes, aumentando a formação dos ésteres. Entretanto, o excesso de acidez promove sabor indesejado e ligeiramente “agressivo”, depreciando a sua qualidade (FRANÇA *et al.*, 2010; GARCIA, 2016).

Além disso, na produção de aguardentes durante o processo fermentativo, deve-se evitar a aeração do mosto, uma vez que o aumento de oxigênio faz com que o levedo transforme o açúcar em ácido acético, em vez de etanol (CARDOSO, 2013; GARCIA, 2016).

2.7.1.2 Aldeídos

Podem ser produzidos durante o processo de fermentação alcoólica pela ação de leveduras em estágios preliminares no processo fermentativo. O principal aldeído formado é o acetaldeído, normalmente esse composto tende a desaparecer no final pela oxidação do acético. Esses são compostos voláteis de odor penetrante que influenciam no aroma das bebidas alcólicas; durante a destilação, encontram-se em maiores concentrações na fração da

“cabeça” do destilado, restando pouca quantidade na fração seguinte, o “coração” (CARDOSO, 2013).

A intoxicação com aldeídos pode levar a sérios problemas relacionados com o sistema nervoso central, dentre os sintomas pós bebida pode-se destacarmos náuseas, vômitos, inquietação, sudorese, confusão mental, queda de pressão sanguínea, aceleração dos batimentos cardíacos e dores de cabeça. Esses sintomas geralmente estão associados pela intoxicação por aldeídos (CARDOSO, 2013).

2.7.1.3 Álcoois superiores

Os álcoois superiores constituem o maior grupo de substâncias voláteis em bebidas destiladas, formados por mais de dois átomos de carbono, produzidos durante o processo oxidativo. Esses também podem ser oriundos das transformações dos aminoácidos durante o processo de fermentação, devido à baixa atividade das leveduras, às altas temperaturas e ao baixo pH do mosto. Os álcoois frequentemente encontrados em bebidas alcoólicas destiladas possuem de três a cinco átomos de carbono, sendo esses conhecidos como óleo fúsel. Apresentam odor característico de flores, e juntamente com os ésteres, são responsáveis pelo buquê da aguardente. Os principais álcoois superiores encontrados nas aguardentes são os álcoois isoamílico (3-metilbutanol-1), amílico (pentanol-1), isobutílico (2-metilpropanol-1), propílico (propanol-1), butílico (butanol-1) e sec-butílico (butanol-2) (CARDOSO, 2013; GARCIA, 2016).

2.7.1.4 Ésteres

Os ésteres são derivados dos ácidos carboxílicos (CAVALCANTE *et al.*, 2015), são compostos orgânicos sintetizados através de reação de esterificação de um ácido graxo e um álcool (ROESLER *et al.*, 2017) e estão entre as classes de substâncias orgânicas responsáveis pelo odor agradável de flores e frutos (OLIVEIRA *et al.*, 2014).

O principal éster encontrado nas aguardentes é o acetato de etila que, em pequenas quantidades na aguardente, incorpora um aroma agradável de frutas; no entanto, em grandes quantidades, confere à cachaça um sabor indesejável e enjoativo (CANUTO, 2013).

Segundo Bortoletto (2013) durante a fermentação alcoólica, uma parte do etanol reage com o ácido acético formando o acetato de etila, da mesma forma outros álcoois reagem com

o ácido acético resultando em outros ésteres, os quais favorecem o aroma da bebida e cada éster tem um aroma peculiar.

2.7.2 Contaminantes

A legislação brasileira estabelece limites para os valores máximos permitidos para os contaminantes, já para aguardentes de fruta, a legislação ainda não alterou a Portaria nº 371 de 1974, acrescentando exigências quanto aos teores de alguns contaminantes. Porém, a legislação para aguardente de cana já reformulada e exige limites destes contaminantes para a bebida, descritos na Tabela 2.2. Segundo Parente (2014) as principais substâncias que oferecem perigo para a saúde humana e que podem comprometer a qualidade sensorial de bebidas destiladas podem ter origem orgânica (álcool butílico, álcool sec-butílico, acroleína, carbamato de etila, diacetil e metanol) ou inorgânica (arsênio, chumbo e cobre). A seguir tem-se alguns dos principais contaminantes em destilados.

Tabela 2.2 Limites de contaminantes permitidos em aguardente.

Contaminantes	Limite máximo
Acroleína	5 mg/100 mL álcool etílico
Álcool butírico	3 mg/mL álcool etílico
Alcool Sec-Butírico	10 mg/mL álcool etílico
Carbamato de Etila	150 µg/L de aguardente
Diacetil	25 mg/100 mL álcool etílico
Metanol	40 mg/100 mL álcool etílico
Chumbo	200 µg/L de aguardente
Arsênio	100 µg/L de aguardente
Cobre	5 mg/L de aguardente

Fonte: Brasil (2005)

2.7.2.1 Cobre

No que se refere a presença desse composto em destilados há controvérsias, pois muitos pesquisadores admitem que sua presença confere características sensoriais agradáveis na bebida, desde que esteja dentro dos limites toleráveis. Ainda há outra funcionalidade desse

composto que atuam como catalisadores na desidrogenação de álcoois e aldeídos e agirem na transformação de compostos sulfurados voláteis do destilado (CORRÊA, 2015).

O cobre é considerado um metal essencial, a nível traço de 1,5 a 3,0 mg/ dia/adulto, participando como cofator de diversas enzimas, como a catalase, a citocromoxidase, a dopamina- β -hidroxilase e peroxidases. Sua deficiência (hipocupremia) acarreta disfunções cardíacas, aumento do colesterol HDL e LDL, diminuição da metionina, diminuição da depuração de glicose dentre outros (DUTRA, 2015; TRINDADE, 2017). Já em casos onde os níveis de cobre no organismo estão acima do considerável aceitável (hipercupremia) surge a doença de Wilson (degeneração hepato-lenticular), epilepsia, melanoma, esclerose, aceruloplasminemia (neurodegeneração da retina e dos gânglios basais), doença de Alzheimer e artrite reumática (DUTRA, 2015; TRINDADE, 2017). Portanto, muitas doenças estão associadas ao excesso de cobre e a afinidade desse composto com grupos S-H de muitas proteínas e enzimas (CARDOSO, 2013).

Portanto, quantidades acima do tolerável à saúde humana traz danos irreversíveis ao indivíduo, existindo assim uma atenção para quantificação desse composto em destilados. Quantidades de cobre acima do permitido pela legislação é um problema muito frequente em aguardentes, tal fato deve-se a falhas na higienização do alambique, essa situação foi constatada na pesquisa de Parente (2014) com aguardente de abacaxi que apresentou elevados teores de cobre: 3,1mg/100mL (recém-destilada) e 4,5mg/100mL (descansada).

2.7.2.2 Metanol

O metanol é um álcool particularmente indesejável na aguardente, o álcool metílico origina-se pela degradação enzimática da pectina e esta última é um constituinte dos tecidos vegetais, principalmente de frutas (PARENTE, 2016).

Cardoso (2013) também admite que o metanol provém da degradação da pectina, e que este polissacarídeo está presente também no bagaço da cana-de-açúcar. Reforça ainda, que a formação do metanol é acentuada quando a fermentação ocorre na presença de sucos, ou polpas de frutas ricas em pectina, tais como laranja, limão, maçã, abacaxi, dentre outros.

O mesmo autor ainda relata que a molécula de pectina é formada pela associação de centenas de moléculas de ácidos galacturônico, que possuem fragmentos de moléculas de metanol, as quais são liberadas durante o processo de fermentação por meio de hidrólise (ácida ou enzimática). No organismo, o metanol é oxidado a ácido fórmico e, posteriormente,

a CO₂, provocando acidose grave (diminuição do pH sanguíneo), afetando o sistema respiratório, podendo levar ao coma e até mesmo à morte.

2.7.2.3 Acroleína

A acroleína, também conhecida como 2-propenal, é uma substância carcinogênica oriunda do processo de fermentação, podendo ser formada pela desidratação do glicerol ou por contaminação bacteriana (ZACARONI *et al.*, 2011; GONÇALVES, 2015).

A acroleína é formada pela reação do glicerol produzido pelas leveduras com o beta-hidroxiopropionaldeído sintetizados por contaminantes bacterianos (OLIVEIRA, 2012; GONÇALVES, 2015).

Fernandes (2013) relata que a acroleína possui gosto amargo, odor penetrante e apimentado, e pode ser formada pela desidratação do glicerol, produto da fase inicial da fermentação, na presença de ácidos, a quente, quando em contato com as superfícies metálicas da coluna de destilação.

Na pesquisa de Gonçalves (2015) na produção de cachaça de alambique o teor de acroleína encontrado na CPEP (Cachaça Produzida em Plano Piloto) foi menor que 0,85 mg 100mL⁻¹ de álcool anidro, enquanto que na CPEA (Cachaça Produzida em Escala de Alambique) foi menor que 0,73 mg 100mL⁻¹ de álcool anidro. Percebe-se que são valores bem abaixo do máximo que é permitido pela legislação que é de 5 mg 100mL⁻¹ de álcool anidro.

2.7.2.4 Carbamato de etila

Também conhecido por uretana ou etiluretana, é o éster do ácido carbâmico e se apresenta na forma de cristal incolor, inodoro, de sabor salino refrescante e levemente amargo (TÁBUA, 2017).

É um contaminante encontrado em baixas concentrações em bebidas alcoólicas e alimentos fermentados. É um éster etílico do ácido carbâmico que apresenta ponto de ebulição de 185°C e é muito solúvel em água e álcool (MOSER, 2012).

Pode ser encontrado em diversos alimentos e bebidas produzidas por fermentação de microrganismos, tais como o pão, iogurte, vinho, cerveja e, principalmente, em bebidas fermento-destiladas, como uísque, vodca, rum, graspa, cachaça e tiquira (ANJOS *et al.*, 2011).

O íon cianeto, formado pela degradação enzimática de glicosídeos cianogênicos presentes na matéria prima, é considerado o principal precursor do carbamato de etila em bebidas destiladas (CORRÊA, 2015).

2.8 Aproveitamento dos resíduos sólidos agroindustriais

Um dos principais entraves ao desenvolvimento da indústria de processamento mínimo de frutas e hortaliças em diversas partes do mundo está associado à significativa quantidade de resíduos orgânicos que são gerados durante essa atividade. Em muitos casos, durante o processamento, grande parte da matéria-prima é descartada como resíduo (PINTO, 2002).

O aproveitamento desses resíduos passa a ser uma alternativa viável, para isso é importante que se conheça a sua composição, qual técnica será empregada na obtenção do produto, dentre outros.

A secagem é uma técnica que se destaca por sua grande importância dentro do sistema de produção agrícola, ressaltando-se que, por meio dela, pode-se aproveitar resíduos evitando a sua deterioração e desperdício, aumentando a gama de possibilidades de utilização de produtos que antes seriam descartados.

No caso do juazeiro, foco dessa pesquisa, embora seja uma árvore de grande conhecimento da região Nordeste, e que possui propriedades, medicamentosas, ecológica e econômica; a utilização dos seus frutos em grande parte se restringe à alimentação animal em épocas de seca. O aproveitamento de resíduos, casca e semente na produção de farinha pode tornar-se um caminho promissor na utilização desse fruto na alimentação humana.

Num mundo globalizado, onde parte significativa da população encontra sérias dificuldades diariamente para conseguir alimento, é inconcebível que uma atividade agroindustrial continue desperdiçando um resíduo que potencialmente poderia ser utilizado como matéria-prima na indústria de alimentos (MORETTI; MACHADO, 2006).

2.9 A secagem

A secagem tem a finalidade de eliminar um líquido volátil contido num corpo não volátil, através de evaporação. Portanto, a secagem de nosso interesse é caracterizada pela evaporação da água do material biológico (PARK *et al.*, 2014). Envolve a redução do teor de

água da semente até atingir um nível seguro que garanta a preservação da qualidade fisiológica do produto a ser armazenado durante um longo período de tempo (SOUZA, 2017).

De acordo com Cavalcanti-Mataet *al.* (2006) a retirada parcial de água da semente ocorre através da transferência contínua e simultânea de calor e massa entre o produto e o ar de secagem, podendo ocorrer por convecção ou por condução. A transferência de calor ocorre devido à diferença de temperatura entre o ar de secagem e o produto, enquanto a transferência de massa, em forma de vapor de água, surge devido à diferença de pressão parcial de vapor de água entre o ar e a superfície do produto a ser secado. A retirada da umidade deve ser feita em nível tal que o produto fique em equilíbrio com o ar do ambiente onde será armazenado e deve ser feita de modo a preservar a aparência e a qualidade nutritiva (BORGES, 2016).

2.9.1 A farinha

É o produto obtido pela moagem da parte comestível de vegetais, passível de sofrer, previamente processos tecnológicos adequados (CNNPA, 1978). Hoje, devido ao grande crescimento populacional, e às condições climáticas, demográficas e socioeconômicas, tem-se tido a preocupação de buscar novos meios para o uso de outros tipos de materiais, além do trigo, para a produção do pão, biscoitos e massas.

No trabalho de Diniz (2016) no processamento do fruto do juazeiro para obtenção da farinha e do óleo, a farinha que apresentou menor teor de umidade (12,40%) foi seca na temperatura de 70 °C e velocidades de ar de 2,0 m/s. Os resultados da caracterização da farinha mostraram as potencialidades nutricionais do fruto.

Cavalcanti *et al.* (2011) no trabalho da obtenção da farinha do fruto do juazeiro (*Ziziphus joazeiro* mart.) e caracterização físico-química, obteve uma farinha que apresentou cor e aroma sensorialmente agradáveis, alto teor de açúcares, com sólidos solúveis totais de 4,75 ° Brix e baixo teor de proteínas e lipídios (1,12%), 4,31% de cinzas e umidade de 8,53%, pH ácido de 4,78 e baixa acidez total titulável com 2,76%.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local de Realização do trabalho

Este trabalho foi desenvolvido nos seguintes Laboratórios: Engenharia de Alimentos (LEA) da Unidade Acadêmica de Engenharia de Alimentos (UAEALI), da Agroindústria da UFCG, Tecnologia de Alimentos (LTA) do Departamento de Engenharia de Alimentos do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Cromatografia Instrumental do Departamento de Engenharia Química (UFPE).

3.2 Matéria-prima

A matéria-prima utilizada foi o fruto do juazeiro (*Ziziphus joazeiro. Mart*), coletado nas seguintes regiões: microrregião do Cariri Ocidental (Município de Sumé e Congo) e microrregião de Campina Grande.

3.3 Seleção, limpeza e sanitização

Os frutos foram coletados manualmente em estágio de maturação, maduro, acondicionadas em sacos de plásticos e transportados para o laboratório da agroindústria. Foram selecionados os frutos (Figura 3.1) de acordo com o estado de conservação, descartando os danificados por ataque de insetos e fungos. Foram também retirados galhos e pedras existentes no material.



Figura 3.1 Frutos maduros de juá

Para sanitização dos frutos foi feita inicialmente uma lavagem em água corrente, em seguida fez-se necessário uma sanitização, sendo imersos em uma solução de hipoclorito de sódica concentração de 50ppm (2,5mL/L) onde permaneceram por 15 minutos. Para higienização dos equipamentos e utensílios usou-se uma solução de hipoclorito de sódio na concentração de 200ppm (10mL/L) por 30 minutos.

3.4 Obtenção da polpa de juá

Para a extração da polpa de juá utilizou-se a despoldadeira da marca Bonina. As polpas foram acondicionadas em recipientes plásticos com tampas e capacidade volumétrica de 2 litros, Figura 3.2, e armazenadas em câmara fria na temperatura de -15 °C. Em seguida retirou-se amostras para a realização das análises físico-químicas.



Figura 3.2 - Polpa de Juá

3.4.1 Caracterização físico-química da polpa de juá

Os parâmetros físico-químicos analisados na polpa de juá foram: teor de água, minerais, açúcares redutores, açúcares não redutores, açúcares totais, proteínas, ácido ascórbico, lipídios, fibra total, acidez total, carboidratos e valor calórico total conforme metodologia descrita na AOAC (1997).

3.4.2 Etapas de elaboração da bebida alcoólica da polpa de juá

Na Figura 3.3 encontra-se o fluxograma referente às etapas descritas no procedimento de elaboração da bebida alcoólica da polpa de juá.

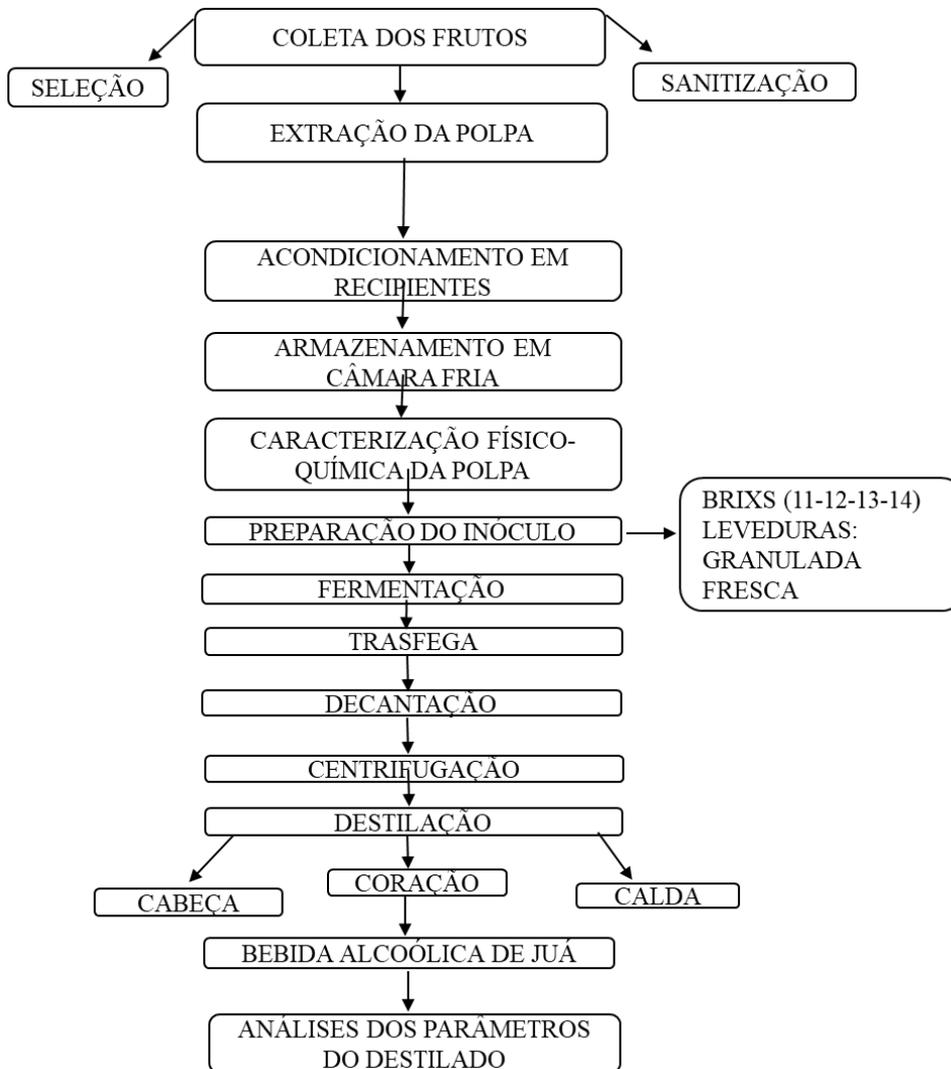


Figura 3.3 Fluxograma de elaboração da bebida alcoólica de juá

3.5 Processo Fermentativo

Inicialmente, foi adicionada água potável na polpa de juá para ajustar o teor de sólidos solúveis totais (SST) nas concentrações de 11, 12, 13 e 14 °° Brix, conforme Equação (1).

$$C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2 \quad (1)$$

Onde:

C_1 = Valor do ° Brix da polpa integral;

V_1 =Quantidade de volume necessário da polpa;

C_2 =° Brix desejado;

V_2 = Volume total estabelecido (3litros).

Antes de iniciar o processo de fermentação, a polpa de juá foi descongelada em temperatura ambiente, ajustada com água potável para os ° Brix's desejados de 11, 12, 13 e 14. Em seguida adicionou-se 3 L de polpa diluída em cada biorreator (4) de polietileno com capacidade para 10L nos quais foram primeiramente colocados a levedura (*Saccharomyces cerevisiae*) granulada. Em cada biorreator a concentração celular foi de 20 g/L, correspondendo a 60 g da levedura, fazendo o uso do próprio mosto para a diluição. Em seguida foi iniciado o processo de fermentação alcoólica na temperatura ambiente e pH de 4,5. Foi repetido o mesmo procedimento para a levedura fresca.

3.6 Cinética de fermentação

No processo da fermentação alcoólica da produção do fermentado de Juá, foram obtidos dados referentes aos valores do ° Brix, teor alcoólico, temperatura e pH em intervalos de 2 h. Paralelamente retirou-se amostras de 30 mL as quais foram congeladas em freezer para posterior análise de contagem celular. As cinéticas foram realizadas separadamente, iniciando com a levedura granulada com os ° Brix de 11, 12, 13 e 14 e posteriormente foi feito o mesmo utilizando a levedura fresca. A cinética de fermentação ocorreu até a estabilização da concentração de sólidos solúveis do mosto, expressos em ° Brix, que no caso de juá ocorreu em média 12 horas.

Empregou-se o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4 x 2, sendo quatro concentrações de ° Brix e dois tipos de levedura, com três repetições (Tabela 3.1). Os tratamentos foram constituídos de quatro ° Brix (11, 12, 13 e 14), com dois tipos de leveduras (granulada e fresca). Neste estudo se avaliou a influência das variáveis independentes: ° Brix e tipo de levedura sobre as dependentes: pH, temperatura, contagem de células e teor alcoólico.

Tabela 3.1 Matriz de planejamento fatorial 4 x 2, da fermentação alcoólica da polpade juá

Ensaio	Tipo de fermento	° Brix	Legenda
1	Granulado	11	E1
2	Granulado	12	E2
3	Granulado	13	E3
4	Granulado	14	E4
5	Fresco	11	E5
6	Fresco	12	E6
7	Fresco	13	E7
8	Fresco	14	E8

3.7 Análises realizadas durante o processo fermentativo

Durante o processo fermentativo foram realizadas as seguintes análises: sólidos solúveis (° Brix), temperatura, pH, contagem de células e concentração de etanol seguindo a metodologia descrita na AOAC (1997).

- Sólidos solúveis (°Brix)-foram determinados por refratometria, utilizando o refratômetro de Abbé.
- Temperatura-foi medida com o auxílio de termômetro de vidro com escala variável de 0 a 100 °C.
- pH- foi determinado pelo método potenciométrico, com o pHmetro previamente calibrado com as soluções tampões de pH 4,0 e pH 7,0.
- Contagem de células- a contagem de leveduras foi feita utilizando a câmara de Neubauer que consiste geralmente em uma lâmina grossa de uso microscópico com uma profundidade específica para depósito da amostra. Seu centro é formado por duas câmaras nas quais são gravadas linhas divididas em quadrantes de dimensões conhecidas, chamadas de malhas de leitura que são utilizadas para determinar o número de células em um volume específico de solução.
- Concentração de etanol-foi determinada utilizando-se o ebulliômetro. Inicialmente foi feita a calibração do equipamento com água destilada, até a temperatura de ebulição, a

qual serve de referência para o etanol. Com a temperatura de ebulição da água e da amostra, determinou-se a concentração de etanol da amostra em °GL utilizando a régua de conversão que acompanha o equipamento. A concentração de etanol expressa em g/L foi obtida a partir da graduação alcoólica na escala Gay Lussac (°GL). Sabendo que 1°GL equivalente a 1% de etanol, que por sua vez equivale a 1mL/100mL.

3.8 Trasfega e Engarrafamento da bebida alcoólica de juá

Finalizada a cinética de fermentação, foi feita a trasfega do fermentado dos biorreatores para garrafas plásticas previamente sanitizadas e levadas à geladeira para facilitar a decantação da levedura. Após esse período a parte sobrenadante do fermentado foi centrifugado em uma centrífuga artesanal com capacidade para 2 L com a finalidade de eliminar a maior quantidade de levedura possível. O fermentado foi acondicionado em recipientes fechados e mantidos sob refrigeração até o momento da destilação.

3.9 Processo de Destilação

A destilação foi realizada utilizando um destilador de vidro com capacidade para 1 L, composto de balão de fundo redondo, garras, condensador, suporte universal e béquer. Antes de dar início ao processo de destilação do fermentado de Juá, fez-se necessário uma limpeza do destilador usando água destilada com a finalidade de evitar a contaminação do destilado.

Após a limpeza foi iniciado o processo de destilação, utilizando em cada ciclo de destilação 600 mL do fermentado de juá, desse valor foi separado as frações correspondente a cabeça (10%), coração (80%) e cauda (10%).

3.9.1 Análises Físico-Químicas da bebida alcoólica de juá

As análises de caracterização foram efetuadas para avaliar a qualidade da bebida, segundo os Métodos Oficiais de Análises para Destilados Alcoólicos, Retificados e Alcoólicos por Mistura, segundo o Decreto 2314, de 04/09/1997. Artigo 91 (BRASIL, 1997).

- Teor alcoólico-as concentrações de etanol nos destilados foram determinadas por densimetria, utilizando-se o alcoômetro de Gay Lussac e corrigindo os resultados da leitura a 25°C. Os resultados obtidos por meio do ebuliômetro foram corrigidos com a

régua de conversão que acompanha o equipamento e multiplicados pelo fator de diluição e pela concentração encontrada.

- Acidez volátil- expressa em ácido acético, em mg/100mL de álcool anidro.

3.9.2 Análise cromatográficas de qualidade da bebida alcoólica de juá

Para saber se os parâmetros da bebida estavam de acordo com o que preconiza a legislação foi feita a cromatografia da aguardente de juá. As determinações dos teores de acetaldeído (10,230 mg/100 mL), acetona (10,050 mg/100 mL), acetato de etila (10,030 mg/100 mL), metanol (10,240 mg/100 mL), n-propanol (10,250 mg/100 ml), iso- butanol (10,130 mg/100 ml), n-Butanol (10,050 mg/100 ml), iso- amílico (10,160 mg/100 mL), n-amílico (10,250 mg/100 mL), furfural (5,150 mg/100 mL) e etanol na beida alcoólica de juá, foram determinadas através do cromatógrafo HP 5890 com detector de ionização de chama; coluna carbovax com 60 metros de comprimento; 0,25 mm de diâmetro interno e 1 μ de espessura; temperatura inicial 60 °C durante 3 min, aquecido 20 °C por minuto até 90 °C, mantido por mais 5 minutos; gás de arraste: hidrogênio; volume de injeção 2 μ l. De acordo com o padrão interno do Laboratório de Cromatografia Instrumental, Departamento de Engenharia Química (UFPE).

3.10 Percentual de produtividade, conversão, e parâmetros cinéticos de fermentação alcoólica

Para esse estudo, foi utilizado o planejamento fatorial 2 x 4 em triplicata, sendo as variáveis independentes: o tipo de fermento (fresco e granulado a 20 g L⁻¹) e sólidos solúveis totais (° Brix), e as dependentes: produtividade de álcool etílico (g L⁻¹ h⁻¹), percentual de rendimento teórico. (Yp/s), percentual de rendimento em biomassa (Yx/s) e percentual de conversão. Para a constituição dos resultados das análises estatísticas, foi utilizado o software ASSISTAT versão 7.7 beta. Os resultados foram comparados pelo teste de Tukey a 5% de significância a fim de observar se houve diferença significativa.

3.10.1 Cálculo da produtividade (g L⁻¹ h⁻¹)

Para saber a quantidade de álcool produzido em um determinado tempo, em hora, foi utilizada a Equação(2):

$$\text{Produtividade (g L}^{-1}\text{h}^{-1}) = \frac{P \text{ (g/L)}}{T \text{ (h)}} \quad (2)$$

Em que:

P - concentração de etanol (g L⁻¹)

t - tempo de fermentação (h)

3.10.2 Rendimento do produto (Y_{p/s})

Para determinar a conversão do substrato (açúcar) do fermentado em produto (etanol) foi utilizada a Equação (3):

$$Y_{p/s} = \frac{P - P_0}{S_0 - S} \quad (3)$$

Em que:

S - concentração final de substrato (g L⁻¹)

S₀ - concentração inicial de substrato (g L⁻¹)

P - concentração final de produto (g L⁻¹)

P₀ - concentração inicial de produto (g L⁻¹)

3.10.3 Rendimento em biomassa (Y_{x/s})

Para calcular a quantidade de biomassa formada em relação à quantidade de substrato limitante consumida, foi utilizada a Equação(4):

$$Y_{x/s} = \frac{X - X_0}{S_0 - S} \quad (4)$$

Em que:

X - concentração final de biomassa (g L⁻¹);

X₀ - concentração inicial de biomassa (g L⁻¹);

S - concentração final de substrato (g L⁻¹);

S₀ - concentração inicial de substrato (g L⁻¹).

3.10.4 Percentual de conversão (%)

O percentual de conversão no fermentado para produção do etanol antes da destilação foi calculado pela Equação (5).

$$\text{Convers\~{a}o (\%)} = \frac{P}{S_0 \times 0,511} \times 100 \quad (5)$$

Em que:

P - concentra\~{c}o de etanol experimental;

S₀ - concentra\~{c}o inicial de substrato (° Brix);

0,511 - fator de convers\~{a}o de a\~{c}ucar em \~{a}lcool.

3.11 Elabora\~{c}o da farinha do res\~{i}duo de ju\~{a} (casca e semente)

3.11.1 Secagem do res\~{i}duo (casca e semente)

Essa etapa teve como objetivo estudar o comportamento da secagem do res\~{i}duo (casca e semente) de ju\~{a}, em diferentes temperaturas e definir a temperatura que atinge o ponto de quebra (fragmenta\~{c}o) em menor tempo, preservando as caracter\~{i}sticas originais da mat\~{e}ria-prima.

Para a secagem do produto utilizou-se o m\~{e}todo de camadas finas, nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C, em que toda superf\~{i}cie de uma \~{a}rea isolada troca calor e massa, n\~{a}o havendo contato f\~{i}sico entre as part\~{i}culas suficiente para a troca de calor por condu\~{c}o ou troca de massa por difus\~{a}o, entre elas. Durante este processo se monitorou a perda de massa atrav\~{e}s de pesagens peri\~{o}dicas, at\~{e} massa constante. A secagem foi realizada em um secador de ar for\~{c}ado vertical, composto de um soprador que impulsiona o ar no interior da linha de alimenta\~{c}o do leite, rot\~{a}metro, que mede a vaz\~{a}o do ar de secagem.

O ar de secagem foi aquecido por resist\~{e}ncias el\~{e}tricas, controlador de temperatura, esta c\~{a}mara de secagem com 0,760 m de altura, 0,975 cm de largura e 0,400 m de profundidade possui uma se\~{c}o inferior retangular com fluxo de ar vertical a 0,5 m/s, \~{e} isolada termicamente nas laterais com l\~{a} de vidro e possui um sensor NTC, que mede a temperatura de trabalho.

3.11.1.1 Moagem

Os res\~{i}duos tanto da casca como da semente que foram submetidas as quatro temperaturas de secagem (40, 50, 60 e 70 °C) foram mo\~{i}dos (fragmentados) em moinho el\~{e}trico multiuso, at\~{e} a obten\~{c}o de um material uniforme. Posteriormente foram acondicionados separadamente de acordo com temperatura de secagem, tanto para a semente

como também para casca, em embalagens a vácuo, para que subsequentemente fossem feitas as análises físico-químicas das amostras.

3.12 Caracterização físico-química da farinha do resíduo de juá (casca e semente)

As análises físico-químicas da farinha de Juá foram realizadas conforme a metodologia descrita na AOAC (1997). O teor de água foi determinado em estufa a 105°C até massa constante, cinzas em mufla a temperatura de 550 °C, teor de proteínas pelo método de Kjeldahl, lipídios por extração direta em Soxhlet, carboidratos por diferença, sódio por fotometria de emissão, cálcio por titulação, ferro e fósforo foram mensurados por espectrofotometria, pH medido através do pHmetro devidamente calibrado. A quantidade de calor foi determinada multiplicando carboidratos e proteínas por 4 e os lipídeos por 9.

3.12.1 Cinética de Secagem – Casca e sementes de Juá

No estudo da cinética de secagem, as bandejas contendo as amostras foram pesadas e direcionadas para a secagem em camada de 0,01 m de espessura em estufa com circulação forçada de ar, nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 °C.

Monitorou-se a perda de água através de pesagens em períodos regulares, de 5, 10, 15, 30 e 60 min até que as amostras atingissem massa constante. Ao final da secagem determinou-se o teor de água.

Ajustou-se os modelos matemáticos de Page, Midilli e Cavalcanti-Mata (Tabela 3.2) aos dados experimentais da cinética de secagem, utilizando-se o programa computacional Statistica 7.0[®] através de análise de regressão não linear.

Tabela 3.2 Modelos matemáticos ajustados à cinética de secagem das cascas e sementes de juá

Designação do modelo	Equação	
Page	$RX = \exp(-k t^n)$	(06)
Midilli	$RX = a \exp(-k t^n) + b t$	(07)
Cavalcanti-Mata	$RX = a_1 \exp(-k_1 t^{n_1}) + a_2 \exp(-k_1 t^{n_2}) + a_3$	(08)

As razões de água (RX) foram calculadas e construídas a partir dos dados de perda de massa das amostras de cascas de juá durante as secagens e dos teores de água determinados no final das mesmas. Para a determinação das razões de água foi utilizada a Equação (06).

$$RX(t) = \frac{X - X_e}{X_i - X_e} \quad (06)$$

Em que:

RX - razão de água (adimensional);

X - teor de água;

X_i - teor de água inicial;

X_e - teor de água de equilíbrio.

Para seleção do modelo matemático que melhor representa o processo de secagem das cascas de juá, utilizou-se como critério de avaliação o coeficiente de determinação (R²) e o desvio quadrático médio (DQM), em que quanto menor o valor de DQM melhor é a representação do modelo empregado (MARTINS *et al.*, 2014), de acordo com a Equação 07.

$$DQM = \left[\frac{1}{n} \sum_{n=1}^{\infty} (RX_{pred,n} - RX_{exp,n})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (07)$$

Em que:

DQM - desvio quadrático médio;

RX_{pred} - razão de água predita pelo modelo;

RX_{exp} - razão de água experimental;

n - número de observações.

3.12.1.1 Difusividade efetiva das cascas de juá

Considerando que as cascas de juá apresentaram consistência pastosa, as mesmas foram distribuídas em bandeja para serem secas em estufa com circulação forçada de ar, sendo a espessura da massa de 1 cm. Assumindo geometria de placa plana, movimento

unidirecional de teor de água, distribuição uniforme de teor de água inicial, que a umidade migra somente por difusão, com resistência externa e encolhimento desprezíveis, a solução matemática foi representada pela Equação (08):

$$RX = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(- (2n+1)^2 \pi^2 D_{ef} \frac{t}{4L^2}\right) \quad (08)$$

Em que:

Def - difusividade efetiva, $m^2 \cdot s^{-1}$;

L- Espessura da camada

n - número de termos;

t - tempo de secagem, s.

3.12.1.2 Difusividade efetiva das sementes de juá

A difusividade efetiva (D_{ef}) da água no interior das sementes foi determinada pressupondo um modelo esférico, com valores constantes para o volume, bem como para as temperaturas e para o teor de água inicial, sendo calculada por meio da Equação (09):

$$RX = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp\left(-n^2 \frac{\pi^2}{r^2} D_{ef} t\right) \quad (09)$$

Em que:

Def - difusividade efetiva, $m^2 \cdot s^{-1}$;

r - raio da esfera equivalente a semente, m;

n - número de termos;

t - tempo de secagem, s;

r = raio da esfera equivalente, m.

Para o cálculo do raio equivalente utilizado no modelo da difusão líquida, fez-se a medição dos três eixos ortogonais das sementes: comprimento (a), largura (b) e espessura (c), com o auxílio de um paquímetro digital com resolução de 0,01 mm, escolhendo-se 30

sementes aleatoriamente. O raio equivalente é definido como o raio de uma esfera cujo volume é igual ao do grão. O volume de cada semente (V), considerado uma esfera, foi calculado com base nos diâmetros perpendiculares, segundo a Equação 10, descrita por Moshenin (1986):

$$V = \frac{\pi (a b c)}{6} = \frac{4 \pi r^3}{3} \quad (10)$$

Em que:

- a - maior eixo do grão (comprimento), mm;
- b - eixo intermediário do grão (largura), mm;
- c - menor eixo do grão (espessura), mm.

3.12.1.3 Energia de ativação

A influência da temperatura no coeficiente de difusividade efetiva pode ser avaliada utilizando a equação de Arrhenius, descrita na Equação (11).

$$D_{ef} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (11)$$

Em que:

- D_0 - coeficiente de difusão limite, $m^2 s^{-1}$;
- E_a - energia de ativação, $J mol^{-1}$;
- R = constante do vapor d'água, $8,314 J mol^{-1} K^{-1}$;
- T - temperatura absoluta, K.

3.12.1.4 Propriedades termodinâmicas

A determinação da energia de ativação possibilitou o cálculo das diferentes propriedades termodinâmicas, como: entalpia, entropia e energia livre de Gibbs, utilizando-se o método descrito por Jideani e Mpotokwana (2009), de acordo com as seguintes Equações:

$$\Delta H = \Delta E_a - R T \quad (12)$$

$$\Delta S = R \left[\ln D_0 - \ln \left(\frac{k_b}{k_p} \right) - \ln T \right] \quad (13)$$

$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S \quad (14)$$

Em que:

ΔH - entalpia, J mol⁻¹;

ΔS - entropia, J mol⁻¹K⁻¹;

ΔG - energia livre Gibbs, J mol⁻¹;

k_b - constante de Boltzmann, 1,38 x 10⁻²³ J K⁻¹;

k_p - constante de Planck, 6,626 x 10⁻³⁴ J s⁻¹.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização Físico-Química da polpa de Juá

A Tabela 4.1 exibe os resultados das análises físico-químicas da polpa de juá *in natura*.

Tabela 4.1 Características físico-químicas da polpa de juá

Componentes	Média
Teor de Água (%)	77,41
Cinzas (%)	0,93
Proteínas (%)	1,81
Lipídios (%)	0,58
Carboidratos (%)	19,27
Calorias (kcal/100g)	89,54
Acidez Total (%) expressa em ác.cítrico	0,33
Vitamina C (mg/100g)	11,24
Fibra Alimentar (%)	1,43
Açúcares redutores (%)	12,12
Açúcares totais (%)	12,21
Açúcares não redutores (%)	0,10

Na tabela 4.1 observa-se que o teor de água foi de 77,41%, acima do obtido por Diniz (2016) em frutos de *Z. joazeiro* que encontrou 71,47% de teor de água. Silva (2014) encontrou para esse parâmetro um valor bastante aproximado com o obtido neste estudo, sendo este valor de 79,01% para o fruto de juazeiro. As características físicas e físico-químicas dos frutos sofrem influência das condições edafoclimáticas, dos tratos culturais, época de colheita, constituição genética, estágio de maturação e do tratamento pós-colheita, entre outros (FAGUNDES; YAMANISHI, 2001).

A quantidade de resíduos inorgânicos e teor de cinzas, da polpa de juá (Tabela 4.1) foi de 0,93%, inferior ao encontrado na farinha do fruto do juazeiro (4,32%) relatado por Cavalcanti *et al.* (2011) e por Almeida *et al.* (2017) na caracterização físico-química da casca do juazeiro para produção de farinhas, cujo teor de cinzas foi de 6,95%. Os valores superiores

do teor de cinzas encontrados nessas pesquisas atribui-se provavelmente a presença da casca, por esta ser mais exposta a fatores externos, como o clima, ao qual é esperado um valor mais elevado que o da polpa sem a casca como da presente pesquisa (CAIRES, 2002).

O teor de proteínas do presente estudo foi de 1,81%, inferior ao encontrado por Diniz (2015) na secagem do fruto de juá que foi de 2,13%, e por Silva (2014) na caracterização físico-química do fruto do juazeiro cujo teor de proteínas foi de 2,01%.

Quanto ao valor de lipídeos, o juá apresentou teor de 0,58%, sendo este valor inferior ao encontrado para o mesmo fruto por Diniz (2016) que foi de 1,15%. Esse comportamento pode ser explicado mediante o fato dos lipídeos serem moléculas altamente energéticas, porém, são encontradas em pequenas quantidades em frutas e hortaliças (LAGO-VANZELA *et al.*, 2011; DINIZ, 2016).

Para o teor de carboidratos, o juá apresentou um total de 19,27%. Este valor é menor que o encontrado por Cavalcanti *et al.* (2011), com fruto de juá cujo valor para esse parâmetro foi de 80,45% e por Diniz (2015) quando trabalhou com o mesmo produto e obteve o valor de 24,12% mais próximo ao encontrado no presente trabalho.

Quanto ao valor energético, o juá apresentou 89,54 Kcal/100g. Em estudo da caracterização química de cajá manga (*Spondias cythera* Sonn), Damiani *et al.* (2011) observaram o valor energético inferior de 64,10 Kcal/100g.

No que diz respeito a acidez, ela é um importante parâmetro na apreciação do estado de conservação de um produto alimentício. A polpa de juazeiro apresentou um valor de acidez total de 0,33%, valor ligeiramente maior ao encontrado por Sousa *et al.* (2013) que trabalharam com o mesmo produto encontrando valor de 0,23%. Esses resultados são superiores aos mencionados por Silva *et al.* (2011) ao caracterizar os frutos de cinco variedades de juazeiro, os quais encontraram valores variando entre 0,12 e 0,14%.

O fruto do juazeiro é um alimento típico dos sertões nordestinos, possui coloração amarelo-parda, é doce, comestível e com quantidade significativa de vitamina C (FEITOZA, 2011). Este fato justifica a presença de vitamina C na polpa do juazeiro que na presente pesquisa foi de 11,24% o que é excelente para alimentação humana levando ao enriquecimento das farinhas elaboradas com esse mesmo fruto (ALMEIDA, 2017).

No tocante a presença de fibras alimentares, Amorim (2012), relata que elas apresentam benefícios e em consequência de seu baixo custo, a indústria vem empregando fontes alternativas vegetais com o intuito de elaborar produtos saudáveis e economicamente

viáveis. Para esse parâmetro foi encontrado o valor de 1,43%, valor superior ao detectado por Silva *et al.* (2017) que foi de 0,11% para caracterização físico-química e composição centesimal e mineral do fruto do juazeiro.

Segundo Fabbri (2014), o sabor e o valor nutricional dos alimentos vegetais estão relacionados ao seu conteúdo de carboidratos. Sacarose, glicose e frutose são os principais açúcares dos produtos da horticultura. Sendo assim, quanto maior a quantidade de açúcares nesses produtos, maior a aceitação por parte dos consumidores. Dessa forma, identificar esses compostos nos alimentos é de extrema importância para análise da qualidade dos produtos. Os açúcares redutores da polpa de juá apresentou valor médio de 12,12%, os açúcares totais 12,21% e os não-redutores 0,10%. Na pesquisa de Silva (2017) com o mesmo produto os açúcares redutores foram de 1,14g/100g, os açúcares solúveis totais de 31,90 g/100 g.

A elevada concentração de açúcares em frutos é de grande importância também para o processamento industrial. No processamento de doces e geleias, por exemplo, se a matéria-prima apresentar elevada concentração de açúcares, menor será a adição de açúcares, menor o tempo de evaporação da água, menor o gasto de energia e maior o rendimento do produto, resultando em maior economia no processamento e, conseqüentemente, em maior lucro para a indústria (SILVA, 2017).

4.2 Processo Fermentativo

4.2.1 Conversão, Rendimento e Produtividade

4.2.1.1 (%) Conversão

Na Tabela 4.2 encontram-se os parâmetros cinéticos para o fermentado de juá. No que se refere ao percentual de conversão, a levedura fresca apresenta os melhores comportamentos para os ° Brixs 13 e 14, com valores de 52,69% e 50,32 % respectivamente. Os ° Brixs 13 e 14 também foram os que apresentaram os maiores percentuais de conversão para levedura granulada, com valores de 54,19% para o ° Brix 13 e de 51,72% para o ° Brix 14.

Comparando-se os dois tipos de levedura, a granulada teve um melhor desempenho em relação à fresca para todos os ° Brixs trabalhados.

Dantas *et al.* (2017) utilizaram a levedura *Saccharomyces cerevisiae* granulada (seco) e essa se mostrou eficaz na produção do fermentado alcoólico de umbu. A bebida obtida

apresentou boas características físico-químicas, com a maioria dos resultados dentro dos limites exigidos pela legislação brasileira.

Percebe-se, portanto que os melhores desempenhos foram nos ° Brixs mais elevados, pois em unidades de ° Brix maiores, pode-se ter quantidades maiores de açúcares fermentescíveis proporcionando uma maior conversão desses açúcares em etanol. Através da determinação de °GL é possível definir a velocidade de conversão do substrato em etanol, até a sua estabilidade (PEREIRA *et al.*, 2013).

No trabalho de Alvarenga (2011) na produção da aguardente de banana o teor de sólidos solúveis da polpa foi ajustado com água destilada para: 10 ° Brix, 12 ° Brix e 15 ° Brix, utilizando quatro linhagens de leveduras *Saccharomyces cerevisiae*, aos quais as maiores taxas de rendimento, eficiência e conversão foram também no ° Brix de maior unidade (15 ° Brix).

Del Bel (2016) trabalhando com fermentado de pêssego utilizando a levedura *Saccharomyces cerevisiae* à temperatura de 25°C e o mosto ajustado para 18°° Brix apresentou uma maior conversão de açúcares em etanol em relação a outras formulações.

Oliveira *et al.* (2016) evidenciaram que na produção do fermentado misto de água de côco com tamarindo os resultados obtidos demonstraram êxito em termos de conversão desejada de açúcar em álcool, para as formulações de 12 e 16 ° Brix.

A linhagem de levedura *Sacharomyces* é bastante utilizada nos processos fermentativos por apresentarem bons resultados de conversão, além de outros parâmetros avaliados durante a cinética fermentativa.

Barbosa (2014) destaca que na produção e caracterização do vinho de manga a linhagem de levedura *S. cerevisiae* apresentou os maiores valores médios para os parâmetros analisados, tais como, produção de etanol, velocidade de consumo de ART, taxa de conversão de produto em substrato, produtividade e rendimento.

Parente (2014) ressalta ainda que na produção da aguardente de abacaxi, os resultados dos parâmetros percentual de conversão, produtividade, $Y_{P/S}$ e $Y_{X/S}$ do processo fermentativo do suco de abacaxi comprovou o bom desempenho da levedura comercial *Saccharomyces cerevisiae*.

4.2.2 Rendimento em biomassa ($Y_{p/s}$)

O rendimento determinado pela conversão do substrato (açúcar) em produto (etanol) para as leveduras granulada e fresca com os ° Brixs 11, 12, 13 e 14 do fermentado de juá se encontram na Tabela 4.2. Para esse parâmetro observa-se que a levedura fresca apresentou um melhor comportamento no tratamento E7 (° Brix 13), com exceção apenas da primeira leitura (2 horas) onde os maiores valores de rendimento foram registrados nos tratamentos E5 (° Brixs 11) e E8 (° Brix 14). Essa mesma condição foi verificada para a levedura granulada, onde o melhor rendimento para conversão de açúcar em álcool ocorreu no tratamento E3 (° Brix 13). Comparando-se os dois tipos de leveduras em relação ao rendimento do produto em biomassa, verifica-se que a levedura granulada apresentou resultados superiores em relação a levedura fresca durante toda a cinética para os ° Brixs 11 e 13 ficando inferior apenas no ° Brix 12 nos períodos de 8 e 10 horas da cinética fermentativa, onde a levedura fresca apresentou para essas duas leituras o valor de $0,36 \text{ g L}^{-1}$, superior ao valor encontrado na levedura granulada onde apresentou o rendimento de $0,33 \text{ g L}^{-1}$ para o mesmo tempo (8 e 10 horas de fermentação). No ° Brix 14 também houve uma superioridade da levedura fresca, no entanto, ela apresentou melhores valores em relação a granulada, apenas nas duas primeiras horas com os valores de $0,30$ e $0,24 \text{ g L}^{-1}$ comparado com $0,16$ e $0,20 \text{ g L}^{-1}$ da granulada, porém nas leituras subsequentes a levedura granulada apresentou os melhores resultados para o rendimento.

A linhagem *Saccharomyces cerevisiae*, na forma de fermento seco (granulado), foi também apropriada para o processo de fermentação, por se mostrar tolerante ao etanol produzido, bem como pelas respostas as taxas de conversão de substrato em produto na elaboração de fermentados alcoólicos de jabuticaba (CAMPOLINA, 2018).

Os maiores valores de rendimento geralmente se encontram em ° Brixs de maiores unidades, pois ° Brix indica o teor aproximado de açúcar no mosto. Assim, um mosto com 10 ° Brix contém, aproximadamente, 10% de açúcar, com 14 ° Brix, apresenta em média 14% de açúcar e assim sucessivamente. Considera-se que 2 graus ° Brix produz, aproximadamente, 1 °GL após a fermentação (CORAZZA *et al.*, 2001).

Na pesquisa de Muniz *et al.* (2018) constataram que o fermentado de maior teor alcoólico foi quando o mosto de seringueira (*Spondias purpurea*) encontrava-se com 18 °

Brix produzindo 58,1 g de álcool por litro de mosto fermentado, isto porque, maiores teores de sólidos solúveis totais (SST) favorecem uma maior produção de etanol.

Os fermentados em geral, utilizam a levedura *Saccharomyces cerevisiae* em seu processo fermentativo por esta apresentar bons resultados em relação ao teor alcoólico produzido, devido à capacidade de consumo de açúcar, bons rendimentos e alta eficiência fermentativa (ALCÂNTARA; MENEZES, 2017; MADIGAN *et al.*, 2016)

Esta ideia está de acordo com Zinnai *et al.* (2013), onde relatam que várias espécies de *Saccharomyces* têm sido amplamente utilizadas na produção de fermentados. A espécie *Saccharomyces cerevisiae* é a levedura mais comum na fermentação alcoólica e, é utilizada pela capacidade de produzir e tolerar altas concentrações de etanol em meio ácido e com elevado conteúdo de açúcares.

4.2.3 Produtividade ($\text{g L}^{-1} \text{h}^{-1}$)

A quantidade de álcool produzido em um determinado tempo é determinado pela produtividade. Na Tabela 4.2 constata-se que os melhores desempenhos de produtividade da levedura fresca ocorrem nos ° Brixs 13 e 14. Para levedura granulada, nas primeiras 2 horas de fermentação os maiores valores de produtividade são encontrados nos ° Brixs 11 e 12, com $0,95 \text{ g L}^{-1} \text{h}^{-1}$ e $0,65 \text{ g L}^{-1} \text{h}^{-1}$, respectivamente. Na segunda leitura (4 horas de fermentação) o melhor desempenho para a produtividade foi de $0,57 \text{ g L}^{-1} \text{h}^{-1}$ para o ° Brix 11. Nas leituras subsequentes de 6, 8, 10 e 12 horas, os ° Brixs 13 e 14 apresentaram os maiores valores de produtividade com uma diferença ínfima entre esses dois tratamentos.

Comparando-se os dois tipos de leveduras a granulada apresentou um melhor desempenho no quesito produtividade para todos os tratamentos, mostrando-se mais viável no que se refere a quantidade de álcool produzido num determinado intervalo de tempo.

A produtividade baseia-se na quantidade de etanol produzido por hora, refletindo diretamente na eficácia da levedura em transportar os açúcares presentes no mosto ao interior de sua célula (BARBOSA, 2014).

No trabalho de Clayton *et al.* (2016), o suco de melão também foi ajustado para 14 ° Brix alcançando-se a maior produtividade após 10 horas de fermentação, a levedura *Saccharomyces cerevisiae* do tipo granulada consumiu todo o açúcar presente transformando-o em etanol, na produção da bebida destilada a partir de melão amarelo (*Cucumis melo L.*).

Na pesquisa de Bessa *et al.* (2018) na produção do fermentado de melão o ° Brix mais alto de 18 foi o de melhor desempenho no quesito produtividade (produção de etanol).

Pinheiro (2015), no seu estudo de obtenção de um fermentado alcoólico e acético de cupuaçu, obteve no processo fermentativo alcoólico produtividade de 1,45 g/L.h⁻¹, com o mosto ajustado para 24° Brix, superior ao da presente pesquisa.

Alvarenga (2011) ressalta que a produtividade é um excelente aspecto para seleção de leveduras, quanto maior forem os valores, mais apta será a levedura para o processo fermentativo.

Com Henriques (2014), o rendimento em produto para a fermentação alcoólica de marmelo foi 0,434g de etanol/g de sacarose, o que significa que foram produzidas 0,434g de etanol por cada grama de sacarose consumida.

Na pesquisa de Tessaro *et al.* (2010) com a produção de vinho de laranja foi analisado à produtividade, demonstrando que no tratamento 1 (T1) onde se utilizava o suco de laranja puro, o valor da produtividade foi de 0,10 g L⁻¹ h consideravelmente inferior aos encontrados nos tratamentos: T2 (com 18 ° Brix) e T3 (com 22 ° Brix), com valores de 0,28 e 0,25 g L⁻¹ h, respectivamente. Para a fermentação alcoólica do suco de laranja foi utilizado um cultivo puro de *Saccharomyces cerevisiae*, obtido a partir de fermento biológico comercial granulado (seco).

Nessas pesquisas acima, a produtividade foi superior em ° Brix mais elevado isso deve-se ao fato de maiores teores de açúcar propiciarem uma maior produção de etanol.

Tabela 4.2 Valores médios do percentual de Conversão, Rendimento em Biomassa ($Y_{x/s}$), Rendimento do Produto ($Y_{p/s}$) e Produtividade do fermentado de juá para produção do etanol em função do ° Brix selecionados na cinética de fermentação.

° Brix	Tempo (h)	Parametros cinéticos							
		Levedura Fresca				Levedura Granulada			
		$Y_{x/s}$	$Y_{p/s}$	Produtividade (g/L/h)	Conversão (%)	$Y_{x/s}$	$Y_{p/s}$	Produtividade (g/L/h)	Conversão (%)
11	2		0,29	0,25	8,90	0,50	0,95	33,80	
	4		0,23	0,25	17,80	0,38	0,57	40,92	
	6		0,22	0,18	19,57	0,35	0,40	42,69	
	8		0,28	0,19	26,68	0,36	0,31	44,47	
	10		0,33	0,20	35,58	0,36	0,25	44,47	
	12		0,33	0,16	35,58	-	-	-	
12	2		0,10	0,15	4,89	0,62	0,65	21,20	
	4		0,09	0,12	8,15	0,37	0,35	22,83	
	6		0,22	0,22	21,20	0,34	0,27	26,09	
	8		0,36	0,27	35,88	0,30	0,26	34,24	
	10		0,36	0,22	35,88	0,33	0,24	39,14	
	12		-	-	-	0,33	0,20	39,14	
13	2		0,22	0,25	7,52	1,25	0,50	15,05	
	4		0,25	0,25	15,05	0,52	0,37	22,58	
	6		0,44	0,45	40,64	0,57	0,48	43,65	
	8		0,51	0,42	51,18	0,53	0,41	49,67	
	10		0,50	0,35	52,69	0,51	0,36	54,19	
	12		0,50	0,29	52,69	0,51	0,30	54,19	
14	2		0,30	0,50	13,98	0,16	0,25	6,95	
	4		0,24	0,30	16,77	0,20	0,30	16,77	
	6		0,30	0,33	27,96	0,43	0,50	41,93	
	8		0,35	0,32	36,34	0,45	0,41	46,13	
	10		0,45	0,36	50,32	0,46	0,37	51,72	
	12		0,45	0,30	50,32	0,46	0,31	51,72	

4.3 Estudo cinético da fermentação alcoólica

4.3.1 pH

Na Tabela 4.3 são apresentadas as médias do pH para as leveduras granulada e fresca. Observa-se que os valores dos pHs tendem a diminuir ao longo do processo fermentativo especialmente nas primeiras 6 horas de cinética, tendo oscilações de aumentos e diminuições nas leituras subsequentes. A diminuição mais acentuada no pH em determinados momentos da fermentação se deve a maior atividade metabólica da levedura, em relação ao consumo de açúcar e produção de etanol (DANTAS; SILVA, 2017). Essa situação ocorreu para ambas leveduras. A variação de pH também pode estar relacionada a liberação de ácidos orgânicos pelas leveduras, durante a fermentação, causando seu decréscimo. Porém, após a utilização dos açúcares pelas leveduras durante o processo fermentativo, há o consumo dos ácidos presentes no mosto, levando ao aumento do pH novamente (ALCANTARA; MENEZES, 2017).

Embora se observe que existe uma oscilação do pH ao longo da fermentação, em tese percebe-se que igualmente a levedura granulada, a fresca apresentaram pH's bem próximos da faixa ideal para o processo fermentativo. O pH considerado ideal em uma fermentação deve-se encontrar próximo de 4,5 (BARBOSA *et al.*, 2017). Já o pH ideal para a produção de etanol deve estar entre os valores de 4,5 e 5,0 (ARRUDA *et al.*, 2007). Os pH's mais baixos são mais recomendados para os processos fermentativos uma vez que inibem bactérias acéticas e oxidativas (BRANDÃO, 2013).

A diferença de pH nos diversos fermentados existentes pode estar atrelada a composição química de cada matéria prima, principalmente aos tipos de ácidos presentes em cada fruta, e também a espécie e linhagem das leveduras utilizadas no processo fermentativo, dentre outros fatores (DANTAS; SILVA, 2017).

Tabela 4.3 Valores médios das variáveis dependentes: pH, teor alcoólico, ° Brix residual e contagem de células durante a cinética

° Brix	Tempo (h)	Parametros cinéticos							
		Levedura Fresca				Levedura Granulada			
		pH	Teor Alcoólico (%)	° Brix residual	Contagem de Celulas	pH	Teor Alcoólico (%)	° Brix residual	Contagem de Celulas
11	0	4,60	0	11		4,74	0	11	
	2	4,35	0,5	9,3		4,2	1,9	7,1	
	4	4,28	1	6,6		4,45	2,3	5	
	6	4,41	1,1	6		4,16	2,4	4,1	
	8	4,16	1,5	5,8		4,20	2,5	4	
	10	4,18	2	5		4,26	2,5	4	
	12	4,18	2	5					
12	0	4,70	0	12		4,84	0	1,2	
	2	4,37	0,3	9		4,37	1,3	9,9	
	4	4,36	0,5	6,6		4,36	1,4	8,2	
	6	4,20	1,3	6,1		4,21	1,6	7,3	
	8	4,28	2,2	6		4,24	2,1	5,1	
	10	4,24	2,2	6		4,32	2,4	4,9	
	12					4,35	2,4	4,9	
13	0	4,70	0	13		4,59	0	13	
	2	4,25	0,5	10,7		4,39	1	12,2	
	4	4,01	1	9		4,33	1,5	10,1	
	6	3,99	2,7	6,9		4,31	2,9	7,9	
	8	3,94	3,4	6,3		4,41	3,3	6,8	
	10	3,94	3,5	6		4,39	3,6	6	
	12	4,05	3,5	6		4,40	3,6	6	
14	0	4,25	0	14		4,85	0	14	
	2	4,25	1	10,7		4,39	0,5	10,9	
	4	4,14	1,2	9		4,35	1,2	8	
	6	3,98	2	7,3		4,36	3	7	
	8	4,03	2,6	6,6		4,20	3,3	6,8	
	10	4,02	3,6	6		4,48	3,7	6	
	12	4,04	3,6	6		4,67	3,7	6	

Na Figura 4.1 encontra-se o comportamento da levedura granulada em relação ao pH durante a cinética fermentativa. Verifica-se que o pH diminuiu ao longo da cinética, e que no tratamento E1 o pH passou de 4,74 para 4,26, no E2 variou de 4,84 para 4,35, no E3 passou

de 4,59 para 4,40 e no E5, o pH variou de 4,85 para 4,67. Durante a cinética o pH se manteve dentro da faixa considerada ideal para a fermentação alcoólica e para a multiplicação da levedura. Na maioria dos processos fermentativos o pH do meio afeta tanto o crescimento dos microrganismos, como a formação do produto, que quando não controlado nas fermentações, ocorrem em altas velocidades (PARENTE *et al.*, 2014).

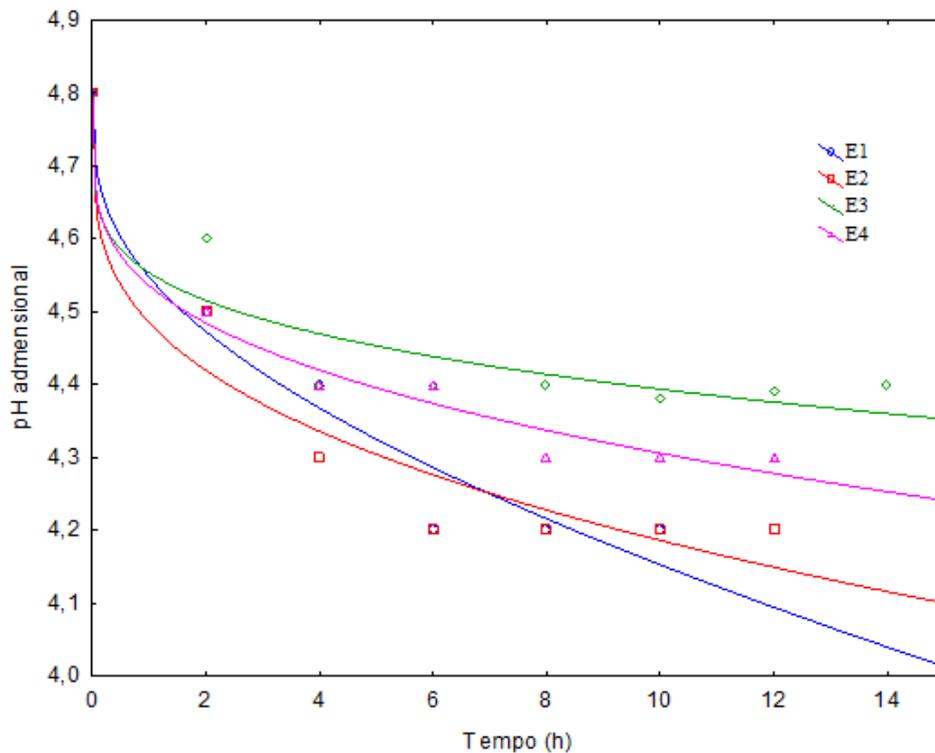


Figura 4.1 Valores de pH da levedura granulada em relação ao tempo de fermentação

Na Figura 4.2 é apresentado o comportamento da levedura fresca em relação ao pH durante a cinética fermentativa. Verifica-se que houve uma tendência de diminuição desse parâmetro ao longo da cinética. Observa-se que no tratamento E5 o pH passou de 4,60 para 4,18, no E6 foi 4,70 para 4,24, no E7 passou de 4,70 para 4,05 e finalmente no tratamento E8 variou de 4,25 para 4,04. Essa tendência de diminuição do pH também foi encontrado no trabalho de Bizinoto (2017) onde o pH do vinho de murici passou de 3,62 a 3,23 durante o período de fermentação. O baixo valor de pH dos fermentados é um fator importante para inibir a contaminação bacteriana do produto além de favorecer o desenvolvimento das leveduras que apresentam crescimento ótimo em meios ácidos (OLIVEIRA *et al.*, 2012).

Esta ideia está de acordo com Ayub (2002) afirmando que o pH tem grande influência na fermentação alcoólica, no sentido de evitar contaminações, promover rápida formação do produto e evitar desvios de rota metabólica. O mesmo autor ainda ressalta que as fermentações alcoólicas são realizadas com pHs na faixa de 3,5 a 6,0, dependendo do tipo de levedura empregada. O valor do pH deve ser igual ao valor ótimo de crescimento da levedura, já que a produção de etanol é ligada ao crescimento.

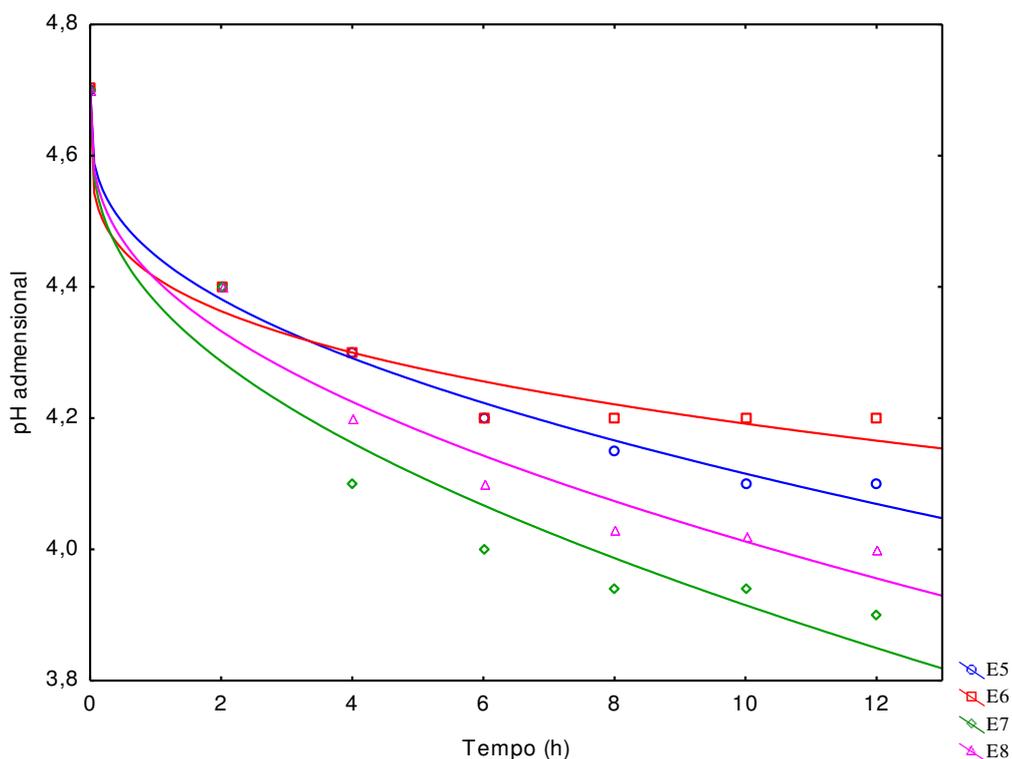


Figura 4.2 Valores de pH da levedura fresca em relação ao tempo de fermentação

4.3.2 Teor alcoólico

Na Tabela 4.3 encontra-se os valores médios correspondente ao teor alcoólico em relação ao tempo para os oito tratamentos.

A análise do teor alcoólico permite determinar o quantitativo de álcoois (etanol ou álcool etílico) presente nos tratamentos pois estes constituintes são os mais relevantes de qualidade do fermentado, quer pela sua expressão quantitativa pela sua origem ou pela

influência direta ou indireta que esta análise exerce nas características organolépticas dos fermentados ou por contribuir na conservação dos mesmos (PIRES, 2016).

Pode-se observar que os teores alcoólicos mais elevados para a levedura granulada são os correspondentes aos tratamentos E3 e E4 com 3,6 °GL e 3,7 °GL, por essa ordem. O mesmo aconteceu com a levedura fresca onde os tratamentos E7 e E8 foram os que apresentaram os melhores resultados para o teor alcoólico com os valores de 3,5 °GL e 3,6 °G, respectivamente.

Com a ação dos microrganismos inoculados no meio, ocorre a conversão desse substrato em etanol e também em dióxido de carbono. Apesar de uma certa variação nas primeiras horas da fermentação, o teor de sólidos solúveis expresso em ° Brix começou a apresentar estabilização a partir das 10 horas do processo para os tratamentos E1 e E6. Nos demais tratamentos a estabilização ocorreu com 12 horas de fermentação, mantendo-se constante, sinalizando o fim do processo fermentativo.

Os resultados obtidos para o fermentado de juá encontram-se um pouco abaixo dos limites estabelecidos pelo Decreto n. 6871 de 4 de junho de 2009 e pela Portaria n. 64 de 23 de abril de 2008. A Legislação estabelece que para os vinhos de frutas a graduação alcoólica deve ser de 4 a 14 % em volume, a 20 °C, o qual poderá ser denominado de fermentado de fruta (PIRES, 2016).

Verificam-se por vezes amostras com teor alcoólico inferior a 4 °GL, provavelmente por consequência do avinagramento, em que o álcool é transformado em ácido acético por bactérias acéticas, por falhas na fermentação, baixa concentração de açúcares fermentescíveis no mosto, ou baixo rendimento a partir de uma determinada concentração de açúcar (BONFIM, 2005).

A concentração de açúcares fermentescíveis no mosto é um requisito fundamental para que haja uma produção de etanol, essa quantidade de açúcares inclusive, determina a variação do teor alcoólico que acaba sendo um parâmetro fundamental na classificação da bebida.

A variação do teor alcoólico está relacionada à quantidade de açúcares disponíveis que serão convertidos em álcool durante a fermentação e podem interferir diretamente na qualidade do fermentado (STEINLE, 2013).

Na pesquisa de Zacaroni *et al.*(2011) na caracterização e quantificação em aguardentes de cana verificaram que em termos físico-químicos, 25% das amostras analisadas

apresentaram-se fora dos padrões de qualidade exigidos quanto ao teor alcoólico, com valores inferiores ao que se preconiza na legislação.

Nos estudos de Ferreira (2008) com qualidade e identidade em cachaças produzidas na região norte fluminense, demonstraram a existência de nove amostras, 30%, com teor alcoólico abaixo também do aceitável pela legislação.

Já no trabalho de Pinto (2015) com a produção de aguardente de frutas tropicais apresentaram-se resultados superiores em relação ao fermentado de Juá. Os resultados obtidos demonstraram que as três frutas selecionadas apresentam potencial de utilização para obtenção de vinhos, sendo os valores médios de teor alcoólico obtido (em °GL) de 7,5; 7,9 e 8,9 para pitanga, graviola e tamarindo, respectivamente.

Na Figura 4.3 mostra o comportamento da levedura granulada em relação ao teor alcoólico durante a cinética fermentativa. Observamos que os maiores valores do teor alcoólico foram para os ° Brixs de maiores unidades, com valores 3,6 e 3,7 °GL para os ° Brixs 13 e 14.

Na pesquisa de Ferreira (2019) na produção de fermentado de caju, a polpa da fruta integral teve seu ° Brix ajustado inicialmente para 16,5 ° Brix e 20 g/L de fermento (*Saccharomyces cerevisiae*), apesar de ter menos açúcares e mais fermento, na fermentação alcoólica deste trabalho houve menos consumo da sacarose, logo, o processo fermentativo não foi eficaz para consumir o substrato. O teor alcoólico do fermentado de caju variou entre 3,5 e 4,5 similar ao encontrado na presente pesquisa com o fermentado de juá.

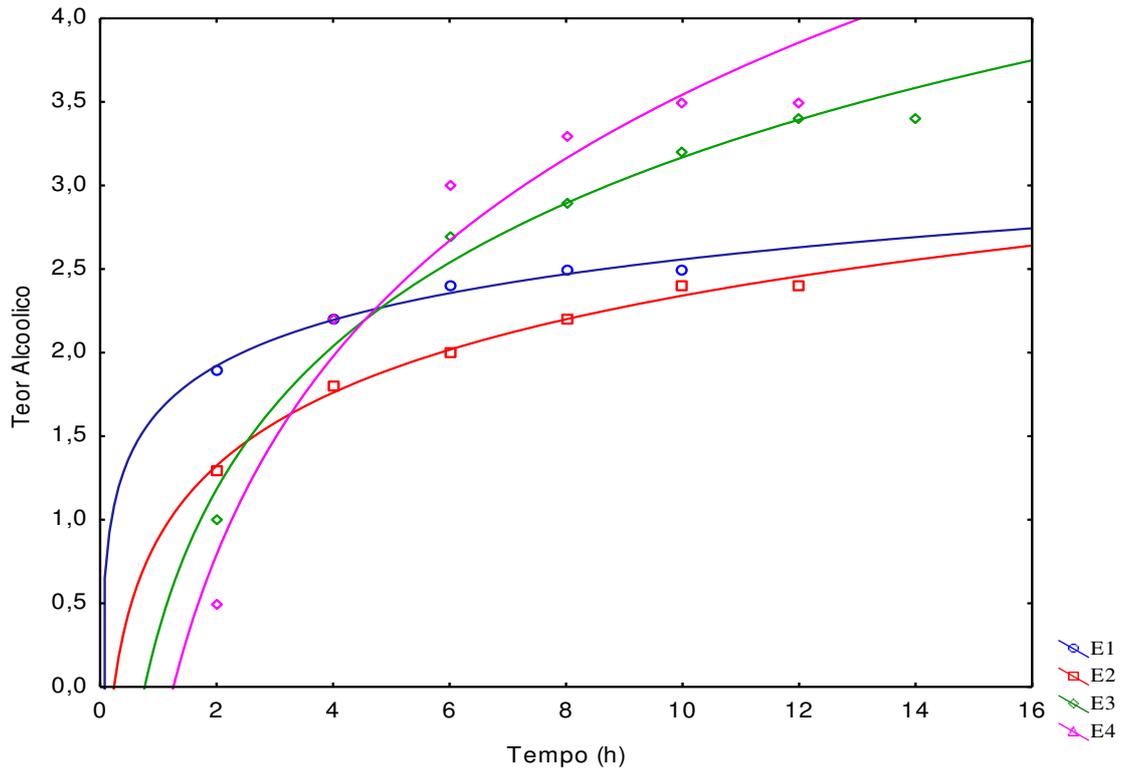


Figura 4.3 Valores do teor alcoólico em relação ao tempo para os experimentos E1 (fermento Granulado e 11 ° Brix), E2 (fermento Granulado e 12 ° Brix), E3 (fermento Granulado e 13 ° Brix) e E4 (fermento Granulado e 14 ° Brix).

Na Figura 4.4 mostra o comportamento da levedura fresca em relação ao teor alcoólico durante a cinética fermentativa. Observa-se que os maiores valores do teor alcoólico se encontram em ° Brix de maiores unidades. Nos tratamentos E7 (Levedura Fresca com 13 ° Brix) e no tratamento E8 (Levedura Fresca com 14° Brix) atingiram os valores de 3,5 °GL (E7) e 3,6 °GL (E8).

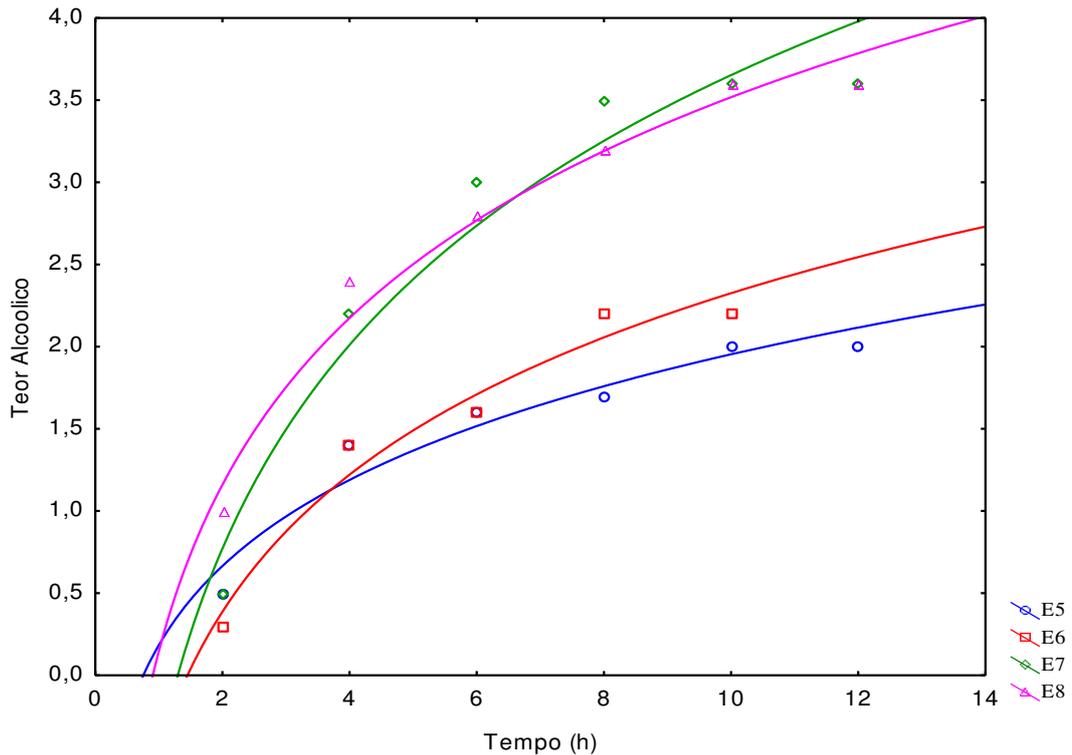


Figura 4.4 Valores do teor alcoólico em relação ao tempo para os experimentos E5 (fermento Fresco e 11 ° Brix), E6 (fermento Fresco e 12 ° Brix), E7 (fermento Fresco e 13 ° Brix) e E8 (fermento Fresco e 14 ° Brix)

4.3.2.1 Brix Residual

Na Tabela 4.3 ainda se encontram os dados referentes aos teores de açúcares remanescentes, expressos em ° Brix durante a cinética de fermentação. O ° Brix residual corresponde ao açúcar não convertido em álcool e a estabilização desse parâmetro sinaliza o final da cinética fermentativa. A quantidade do ° Brix remanescente determina a eficácia de todo o processo.

Para levedura granulada observa-se que os ° Brix 11, 12 e 13 caíram 7 unidades no decorrer da cinética. O ° Brix 11 finalizou a cinética com 4 ° Brix, o ° Brix 12 com 4,9 e o ° Brix 13 encerrou com 6 ° Brix. Apenas o ° Brix 14 teve uma diminuição de 8 unidades, encerrando a cinética com 6 ° Brix. Observa-se ainda na Tabela 4.3 que os ° Brix se mantiveram constante nas últimas duas leituras, sinalizando o final do processo fermentativo pelas leveduras. Sendo assim, o fator definitivo para o término da fermentação foi o equilíbrio

do ° Brix, uma vez que os vinhos ou fermentados de frutas são divididos em classes no que se refere à quantidade de açúcares residuais (BIZINOTO, 2017).

Na pesquisa de Pazzini (2019) com fermentado de jambo vermelho (*Syzygium malacense*), o material foi ajustado para 27 ° Brix e foi observado também um consumo gradual dos sólidos solúveis totais ao longo da cinética de fermentação finalizando o processo com 8 ° Brix.

Dantas (2015), na pesquisa com fermentado de umbu, a polpa integral teve seu ° Brix ajustado para 20 ° Brix também foi verificado uma redução gradativa no teor de sólidos solúveis totais finalizando a cinética do experimento com o teor de 8 ° Brix.

Silva *et al.* (2010) utilizando abacaxi para a produção de fermentado alcoólico, observaram um decréscimo considerável do teor de sólidos solúveis totais de 21 ° Brix para 9°° Brix do mosto a partir do oitavo dia de fermentação.

Portanto, verifica-se que durante o processo de fermentação há um decaimento da concentração do ° Brix, uma diminuição da velocidade de produção, reflexo da inibição celular pelos metabólicos primário e secundário, como também pela escassez do substrato até o seu ponto de estabilização, onde então foi considerado o final do processo fermentativo.

Na Figura 4.5 se encontram os dados referentes ao ° Brix residual, no decorrer do processo fermentativo para levedura granulada (° Brix 11, 12, 13 e 14). Verifica-se que nas primeiras horas já houve alteração do grau alcoólico indicando que a conversão dos açúcares fermentescíveis em álcool etílico . A partir das de 2h do processo fermentativo, foram registrados: 7,1 (° Brix inicial 11), 9,9 (° Brix inicial 12), 12,2 (° Brix inicial 13) e 10,9 (° Brix inicial 14) com rotas decrescentes em todos os mostos, estabilizando o grau alcoólico em 4,0, 4,9, 6,0 e 6,0 para os perfis 11, 12, 13 e 14° Brix, respectivamente.

Na produção de fermentados de jaboticaba apresentou ° Brix residual de 5,0 ° Brix (SANTOS *et al.*, 2016), similar ao encontrado na levedura granulada da presente pesquisa

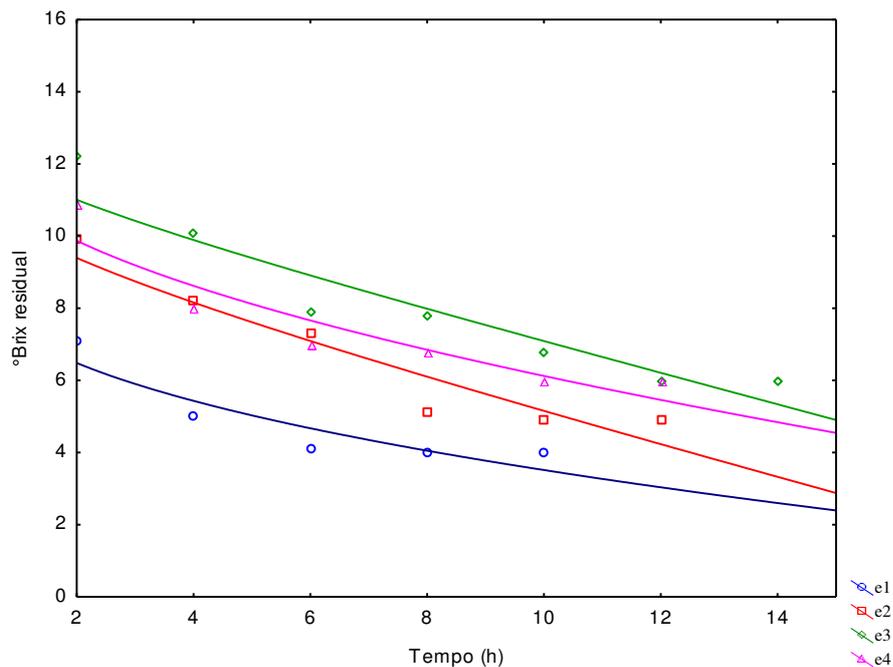


Figura 4.5 Valores do ° Brix residual em relação ao tempo (Levedura Granulada)

Neto et al. (2010) utilizando jaca (*Artocarpus heterophyllus Lam.*) para elaboração de uma bebida alcoólica fermentada observaram uma diminuição evidente do teor de sólidos solúveis totais de 16 ° Brix para 7° Brix empregando no processo a levedura *Saccharomyces cerevisiae* proveniente do fermento granulado.

4.3.2.2 Levedura fresca

Na Tabela 4.3 se encontram os dados referentes aos teores de açúcares remanescentes, expressos em ° Brix durante a cinética de fermentação para levedura fresca (° Brix 11, 12, 13 e 14). Pode-se observar que os ° Brix 11 e 12 caíram 6 unidades cada, o ° Brix 13 caiu 7 unidades e o ° Brix 14 dcaiu 8 unidades de ° Brix. É esperado que ° Brix mais elevados tenham mais açúcares e conseqüentemente haja maiores valores de redução das unidades de ° Brix no decorrer do processo fermentativo.

Ferreira (2014), na pesquisa com a elaboração de fermentado alcoólico de araçá-boi (*Eugenia stipitata*) a polpa integral teve seu ° Brix ajustado para 8, 10 e 15 ° Brix , foi verificado uma diminuição do ° Brix na cinética chegando aos valores de 3,5, 3,8 e 6,0 ° Brix, respectivamente.

No desenvolvimento do fermentado alcoólico de murici (*Byrsonima crassifolia* (L.) Kunth) durante o período de fermentação quantidade de substrato (açúcares) diminuiu de forma lenta e constante passando de 25,3 ° Brix para 15,1 ° Brix, ao longo da cinética (BIZINOTO, 2017).

Na Figura 4.6 encontra-se os dados referentes ao ° Brix residual, no decorrer do processo fermentativo para levedura fresca (° Brix 11, 12, 13 e 14). Verifica-se que nas primeiras horas já houve alteração do teor alcoólico indicando que a conversão dos açúcares fermentescíveis em álcool etílico, havendo os seguintes decréscimos: 9,3 (° Brix inicial 11), 9,0 (° Brix inicial 12), 10,7 (° Brix inicial 13) e 10,7 (° Brix inicial 14), nas primeiras 2 horas, com rotas decrescentes em todos os mostos, estabilizando o grau alcoólico em 5,0 para o ° Brix inicial 11, e 6,0 para os demais perfis no final do processo fermentativo.

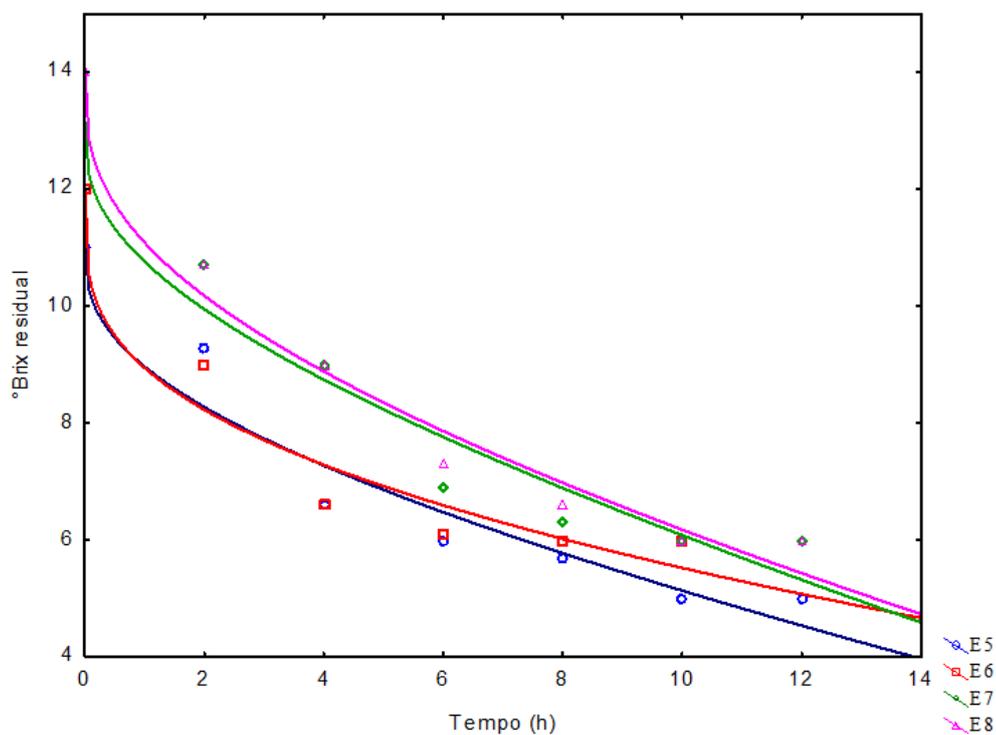


Figura 4.6 Valores do ° Brix residual em relação ao tempo (Levedura Fresca)

Vieira (2016), na produção de fermentado alcoólico de juçará (*Euterpe edulis Martius*), a polpa integral teve seu ° Brix ajustado para 22 ° Brix também foi verificado uma redução no

teor de sólidos solúveis totais ao longo do processo fermentativo finalizando a cinética com o valor de 11 ° Brix.

Na pesquisa de Belchior *et al.* (2013), na produção de fermentado alcoólico a partir do abacaxi (*Ananas comosus l.*), constatou-se um decréscimo considerável a partir do quinto dia (120 horas) de fermentação tendo o teor de sólidos solúveis reduzido de 18 para 7 ° Brix, na fermentação inoculada e de 13 para 9,05 ° Brix, na fermentação espontânea. A fermentação foi interrompida quando o mosto inoculado apresentou 6,1 ° Brix e o espontâneo 5 ° Brix.

4.3.2.3 Destilação

Durante o processo da cinética de fermentação, verificou-se que para a maioria dos parâmetros analisados, como: produtividade, rendimento, conversão, pH, teor alcoólico, a levedurade melhor comportamento foi a granulada e o ° Brix escolhido foi o de 13, pois para a produção de álcool não houve diferença estatística em relação ao ° Brix 14, no entanto o ° Brix 13 por ser mais diluído, era mais favorável para o processo fermentativo.

Desta forma, estas condições (° Brix 13 e levedura granulada) foram adotadas para a produção do fermentado de juá, que após os processos de decantação e centrifugação, foi submetido a destilação. Terminado o processo de destilação recolheu-se a fração do coração para posterior análise, visando constatar se o destilado de juá estava de acordo com o que se preconiza a legislação de aguardentes como mostra a Tabela 4.4.

Tabela 4.4 Resultados dos componentes voláteis na aguardente de Juá em relação às normas estabelecidas pela legislação para aguardentes de fruta.

Componentes	Amostra (juá)	**Padrão (MAPA)mg/100mL
Teor alcoólico (v/v)	26	36,00 v/v - 54,00 v/v
Acidez volátil	586	Ac. Vol. Máx 100
Acetaldeído	10,081	Máximo 30
Acetona	18,149	Não especificado
Acetato de etila	100,006	Máximo 200
Metanol	427,614	Máximo 20
n-propanol	8,791	-

iso-butanol	75,279	-
n-butanol	0,081	Máximo 3
Iso- amílico	210,019	-
n-amílico	0,074	Não especificado
Álcoois Superiores	294,244	(*) Máximo 360
prov sec butílico	25,720	-
prov ac acético	610,007	-

Observa-se na Tabela 4.4 que o teor alcoólico apresentou o valor de 26 °GL, portanto, o teor alcoólico da aguardente de juá está abaixo da faixa estabelecida pela legislação para aguardente de frutas que é de 36 a 54 °GL (BRASIL, 2008). Esse resultado também foi identificado na aguardente de cupuaçu, onde o grau alcoólico do destilado apresentou o valor de 19 °GL à temperatura ambiente, estando fora também da faixa estabelecida pela legislação vigente (ALMEIDA, 2012).

Valores abaixo do que se preconiza na legislação foram identificados igualmente na pesquisa de Alves (2011) na obtenção do destilado alcoólico de cajarana onde o teor alcoólico do destilado foi de 28,94 °GL estando abaixo também do mínimo estabelecido pela legislação brasileira para aguardente de frutas.

Para acidez volátil é permitido um máximo de 100 mg/100 mL para aguardente de frutas, no destilado de juá foi encontrado um valor de 586 mg/100 mL de álcool anidro. Valor acima do permitido também foi encontrado na pesquisa de Alves (2011), para aguardente de cajarana que foi de 214 mg/100 mL. A alta acidez volátil pode ser um indicativo de contaminação microbiana advinda da falta de limpeza no processo, pode ser ocasionada também pelo recolhimento da fração coração juntamente com uma parcela da fração cauda, que apresenta grande concentração de ácidos voláteis, por apresentarem ponto de ebulição maior que o ponto de ebulição do álcool etílico (ALVES, 2011).

Para o parâmetro acetaldeído foi detectado o valor de 10,081 (mg/100mL), que está dentro do padrão exigido que é de no máximo 30 mg/ 100 mL, esse valor está abaixo do encontrado na pesquisa de Parente (2014) para a aguardente de abacaxi que foi de 15,60 (mg/100mL), para esse componente no recém-destilado e 17,58 (mg/100mL), após 90 dias de descanso. A presença de acetaldeído nas bebidas exerce atribuição importante na promoção de sabor das aguardentes (BERRY, 1995). De acordo com Torres Neto *et al.* (2006), o

acetaldeído é formado no decorrer da fermentação sendo um produto do metabolismo primário produzido a partir de aminoácido presentes no meio fermentativo e pela oxidação do etanol.

O valor da acetona encontrado na amostra de juá foi de 18,149 (mg/100mL). O limite desse componente não se encontra especificado no MAPA, no entanto apresenta-se acima dos valores encontrados na aguardente de algaroba (SILVA, 2009) cujo valor de acetona encontrado foi de 0,665 para levedura comercial e 2,527 para levedura selvagem ALG3.

O éster em maior quantidade nas aguardentes é o acetato de etila, representando aproximadamente 80% de todos os ésteres da aguardente. No caso de juá foi detectado 100,006 (mg/100mL) que está dentro do limite preconizado pela legislação que é de no máximo 200 mg/ 100 mL, tal valor é superior ao identificado na aguardente de mandioca que foi de 4,65 (mg/100 ml) na fração do coração (SOUZA, 2014).

Já na aguardente de jabuticaba foi encontrado um valor acima do permitido pela legislação brasileira, de 357 mg/100 ml. Concentrações elevadas de ésteres podem diminuir a qualidade do destilado, conferindo-lhe um sabor enjoativo e desagradável (LIMA *et al.*, 2006).

No tocante a presença de metanol nos destilados pode-se afirmar que este é um álcool particularmente indesejável. Observa-se na Tabela 4.4 que a quantidade de metanol encontrada na aguardente de juá está superior ao determinado pela legislação, com um valor de 427, 614 por 100 mL de álcool anidro, onde o limite permitido é de no máximo 20 mg/ 100 mL. Tal fato deve-se provavelmente a quantidade de pectina presente na polpa de juá, conferindo a polpa uma consistência pastosa que embora tenha passado por centrifugação e decantação, o tempo de execução desses processos foram insuficientes, tendo que, provavelmente ser centrifugado por um período mais prolongado e um tempo maior de sedimentação após a centrifugação, tal fato dificultou o processo fermentativo e comprometeu a qualidade do destilado.

Babylon (2010) afirma ser necessário fazer a centrifugação de certos materiais, para retirar o excesso de pectina, pois este excesso implica numa grande concentração de metanol no destilado alcoólico, devido à hidrólise dos ésteres. Na pesquisa de Guimarães Filho (2003) também apresentou valores superiores do que se preconiza a legislação, onde produziu aguardente de banana e detectou 398,85 mg de metanol por 100mL em álcool anidro.

Valores de metanol acima do permitido, embora que menores em relação ao encontrado no fermentado de juá, foram detectados em outros trabalhos como é o caso da produção da aguardente de banana e manga na pesquisa de Alvarenga (2013), em que a concentração de 79 mg de metanol por 100 mL de álcool anidro foi encontrada para a aguardente de manga e de 47 mg de metanol por 100 mL de álcool anidro para a aguardente de banana. Ambas estão acima do limite estabelecido pela Portaria nº65 (BRASIL, 2008). Na pesquisa de Alves (2011), o destilado alcoólico de cajarana também apresentou um teor de metanol acima do permitido com um valor de 62,1 mg/100 mL.

A quantidade de alcoóis superiores (isoamílico, n-amílico, iso-butanol, n-butanol, n-propanol) encontrada na aguardente de juá foi de 294,244, estando dentro da faixa estabelecida para aguardentes, esse valor foi menor que em aguardentes de outros produtos, como por exemplo, a algaroba que apresentou valores de 302,422 (levedura comercial) e 522,096 (levedura selvagem) estando essa última acima dos valores permitidos (SILVA, 2009). O fruto da palma forrageira apresentou um valor de 149,90 e 371,62 chegando também a ultrapassar o limite de 360 especificado na legislação (ROCHA, 2008).

Em relação ao ácido acético, o valor elevado desse componente detectado na aguardente de juá (610,007 mg/ 100 mL), deve-se provavelmente ao fato de um grande intervalo de tempo entre a fermentação e a destilação, o que provavelmente levou a aeração do mosto, ocorrendo, portanto, o desenvolvimento de bactérias acéticas havendo a produção de ácido acético no lugar do etanol. A aeração do mosto é um fator que contribui para o aumento da acidez, pois na presença do oxigênio, a levedura pode converter o açúcar em ácido acético (PEREIRA *et al.*, 2003). Tal fato é reforçado por Cardoso *et al.* (2007), afirmando que deve-se evitar durante a fermentação a aeração do mosto, já que o aumento de oxigênio faz com que o levedo transforme o açúcar em ácido acético em vez de etanol.

4.4 Secagem do resíduo de Juá

4.4.1 Cinética de Secagem (casca)

O resumo dos ajustes dos modelos aos dados experimentais para casca de juá estão apresentados na Tabela 4.5. Para seleção do melhor modelo matemático foram considerados o coeficiente de determinação (R^2), o desvio quadrático médio (DQM) e a distribuição dos resíduos dos modelos ajustados às curvas de secagem. Sendo considerado como ajuste

satisfatório o modelo que apresentar os maiores valores de R^2 , os menores valores de DQM e distribuição aleatória dos resíduos.

No processo de secagem da casca de juá, constata-se que o modelo de Page apresentou o coeficiente de determinação (R^2) de 0,9997 para as temperaturas de 40 e 50 °C, sendo esse o maior valor encontrado para esse parâmetro no referido modelo. Nas temperaturas de 60 e 70 °C verifica-se os valores de 0,9995 e 0,9979, respectivamente.

De acordo com Martins *et al.* (2014) os resultados sinalizam, que o modelo de Page também apresentou valores de R^2 superiores a 0,99, para todas as temperaturas estudadas, indicando uma representação satisfatória para casca de mulungu, no que se refere a esse parâmetro.

Ainda para o modelo de Page é possível observar que tanto o coeficiente de secagem k , quanto a constante n aumentaram com o aumento da temperatura, onde essa última variou de 0,9205 (40°C) para 1,1481 (70°C). Já o coeficiente de secagem K os valores diminuíram com a elevação da temperatura.

Ainda como critério de avaliação o desvio quadrático médio (DQM) foi avaliado, em que quanto menor o valor de DQM melhor é a representação do modelo empregado. Para o modelo de Page, os valores de DQM ficaram compreendidos entre $9,64 \times 10^{-04}$ a $1,92 \times 10^{-04}$. Observou-se ainda a tendência de distribuição de resíduos; para esse parâmetro o modelo de Page é considerado aceitável, pois os valores dos resíduos apresentaram distribuição aleatória. Se apresentar distribuição tendenciosa, o modelo é considerado inadequado para simular o fenômeno em questão. A não formação de figuras definidas indica aleatoriedade dos resultados (SANTOS *et al.*, 2012).

Na pesquisa de Leite *et al.* (2017) o modelo de Page foi o único com distribuição aleatória dos resíduos em todas as temperaturas estudadas, apresentando os maiores coeficientes de determinação ($R^2 > 0,998$) e os menores desvios quadráticos médios (DQM $< 0,02$) em todas as temperaturas resultando no melhor ajuste aos dados experimentais da secagem da casca do abacaxi.

Diniz (2016) constatou que o modelo de Page também foi o que apresentou os maiores valores de R^2 ($> 0,99$) no processamento do fruto do juazeiro (casca e polpa) para obtenção da farinha, e menores de DQM ($< 0,002$) para todas as temperaturas trabalhadas.

Para o modelo de Midilli considerando-se as diferentes temperaturas do ar de secagem, com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos

médios (DQM), verifica-se que os valores de R^2 foram superiores a 0,99, para todas as temperaturas estudadas, indicando uma boa representação e o DQM inferior a 0,001.

No trabalho com tamarindo, o modelo de Midilli foi o que melhor predisse o processo de secagem, por apresentar o menor desvio quadrático médio (DQM) (SILVA, 2008). Em análise ao DQM, no trabalho de Martins (2014) com cascas de mulungu nota-se que o modelo de Midilli apresentou variação na última casa decimal, sendo este considerado como tendo os melhores parâmetros de ajuste para o DQM.

No que se refere a tendência de distribuição de resíduos o modelo de Midilli apresentou distribuição aleatória na secagem da casca de juá. Na pesquisa de Martins *et al.* (2014) de todos os modelos ajustados à cinética de secagem de cascas de mulungu em diferentes condições do ar de secagem, o modelo de Midilli foi o único com distribuição aleatória dos resíduos em todas as temperaturas estudadas, resultando em melhor ajuste aos dados de secagem.

Observa-se ainda para o modelo de Midilli um aumento tanto da constante K como também do parâmetro “n” com a elevação da temperatura.

No trabalho de Silva *et al.* (2016), no estudo da cinética de secagem de polpa de carambola o parâmetro (n) teve comportamento semelhante para o modelo de Midilli ocorrendo também um aumento com a elevação da temperatura de 1,67, 1,69 e 1,71 para as temperaturas de 40, 50, 60 °C.

Essa mesma tendência foi verificada na secagem da casca de abacaxi, em que o parâmetro “n” no modelo de Midilli, apresentou um aumento de seus valores com o aumento da temperatura de secagem (75 e 85 °C). O parâmetro “n” possui um efeito de moderação do tempo e corrige os prováveis erros resultantes de se negligenciar a resistência interna para a transferência de água (LEITE *et al.*, 2017).

Resultado análogo foi identificado na secagem de cascas de mulungu, em que o parâmetro (n) aumentou com a ampliação das temperaturas (de 40 a 70 °C) para o modelo de Midilli (MARTINS *et al.*, 2014).

Para o parâmetro “a”, no modelo de Midilli há um aumento da temperatura de 40 para a de 50 °C, havendo uma queda desse parâmetro para as temperaturas subsequentes.

Dentre os modelos utilizados neste experimento para descrever o processo de secagem da casca de juá, constata-se que o modelo de Cavalcanti-Mata foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais, apresentando coeficiente de determinação (R^2) de 99,90 a 99,99%,

distribuição aleatória e os menores valores para o desvio quadrático médio (DQM) que ficaram compreendidos entre $7,26 \times 10^{-12}$ (menor) a $1,48 \times 10^{-04}$ (maior), sendo este modelo que apresentou os menores valores para as temperaturas de 40 °C, 50 e 70 °C.

No modelo de Cavalcanti-Mata há ainda uma diminuição da constante a1 com o aumento da temperatura. Já para a constante a2 há uma queda desse parâmetro para as temperaturas de 40 a 50 °C e um aumento nas temperaturas seguintes. Para esse mesmo modelo na constante a3 há um aumento da temperatura de 40 a 50 °C, uma diminuição da temperatura de 50 para 60 °C, e novamente um aumento da temperatura de 60 para 70 °C.

Essa heterogeneidade de comportamentos do parâmetro “a” entre os modelos escolhidos foi detectado também na pesquisa de Pê *et al.* (2016) com secagem da polpa de caqui, houve um aumento e em seguida uma diminuição para os parâmetros a1, a2, a3 e a5, com exceção apenas do a4 que não houve diminuição do modelo de Cavalcanti-Mata na temperatura de 70 °C.

Fazendo-se uma relação entre os modelos estudados, verifica-se que a superioridade dos resultados obtidos pelo modelo de Cavalcanti-Mata pode ser justificada pelo fato da equação apresentar um maior número de parâmetros associada a uma elevada quantidade de termos (SOUSA, 2017).

Observa-se que apesar do modelo de Cavalcanti-Mata ter sido o mais eficaz, todos os modelos matemáticos avaliados se ajustaram bem aos dados experimentais de secagem para as faixas de temperatura, com coeficientes de determinação (R^2) superiores a 0,99. De acordo com esses resultados, todos os modelos avaliados podem ser utilizados na predição da cinética de secagem de casca de juá.

Na pesquisa de Oliveira (2018) com avaliação da secagem de frutos do juazeiro (*Ziziphus joazeiro*) constatou-se que os modelos analisados apresentaram bons ajustes aos dados experimentais da secagem, pois os valores de R^2 foram superiores a 0,99. Com isso, podem ser utilizados para descrever a cinética de secagem em estufa dos frutos de juá para a temperatura de 60 °C.

Tabela 4.5 Parâmetros estimados do modelo proposto por Page, Midilli e Cavalcanti-Mata obtidos por meio de regressão não linear para diferentes temperaturas de secagem com os respectivos coeficientes de determinação (R^2) Desvio quadrático médio (DQM) e Tendência de distribuição de resíduos (TDR), para cascas de juá

Modelo	Temperatura (°C)	Parâmetros						R^2	DQM	TDR
		K	n	-	-	-	-			
Page	40	0,0033	0,9205	-	-	-	-	0,9997	$2,83 \times 10^{-04}$	Aleatório
	50	0,0032	0,9835	-	-	-	-	0,9997	$1,92 \times 10^{-04}$	Aleatório
	60	0,0028	1,1183	-	-	-	-	0,9995	$3,97 \times 10^{-04}$	Aleatório
	70	0,0026	1,1481	-	-	-	-	0,9979	$9,64 \times 10^{-04}$	Aleatório
Midilli		A	K	N	B	-	-	R^2	DQM	TDR
	40	1,0016	0,0037	0,901	0	-	-	0,9999	$1,07 \times 10^{-05}$	Aleatório
	50	1,005	0,0035	0,9683	0	-	-	0,9997	$5,40 \times 10^{-05}$	Aleatório
	60	0,9969	0,0027	1,124	0	-	-	0,9995	$1,96 \times 10^{-04}$	Aleatório
	70	0,9708	0,0018	1,2087	0	-	-	0,9987	$3,18 \times 10^{-05}$	Aleatório
Cavalcanti-Mata		a_1	k_1	n_1	a_2	n_2	a_3	R^2	DQM	TDR
	40	1,2521	0,0053	0,826	-1,3279	0,4474	1,0746	0,9999	$7,26 \times 10^{-12}$	Aleatório
	50	1,1941	0,0054	0,879	-2,138	0,3646	1,9426	0,9999	$3,17 \times 10^{-12}$	Aleatório
	60	0,4979	0,0026	1,1353	0,4979	1,1353	-0,0025	0,9995	$1,48 \times 10^{-04}$	Aleatório
	70	-0,2355	0,002	0,7217	1,0346	1,1818	0,1702	0,999	$3,62 \times 10^{-05}$	Aleatório

RX: razão do teor de água do produto, adimensional; k: constantes de secagem; a, b, c, n: coeficientes dos modelos; t: tempo de secagem (min);

Na Figura 4.7 encontram-se as curvas de secagem das cascas de juá, obtida sob diferentes condições de temperatura (40, 50, 60 e 70 °C) e velocidade do ar de secagem (0,5 m/s). Em todos os ensaios a perda de água foi maior no início da secagem cuja estabilização, a temperatura de 40 °C, foi observada no período de tempo maior e, para temperaturas mais altas, 50, 60 e 70 °C, em tempos menores, indicando que a temperatura é a variável de maior influência no processo.

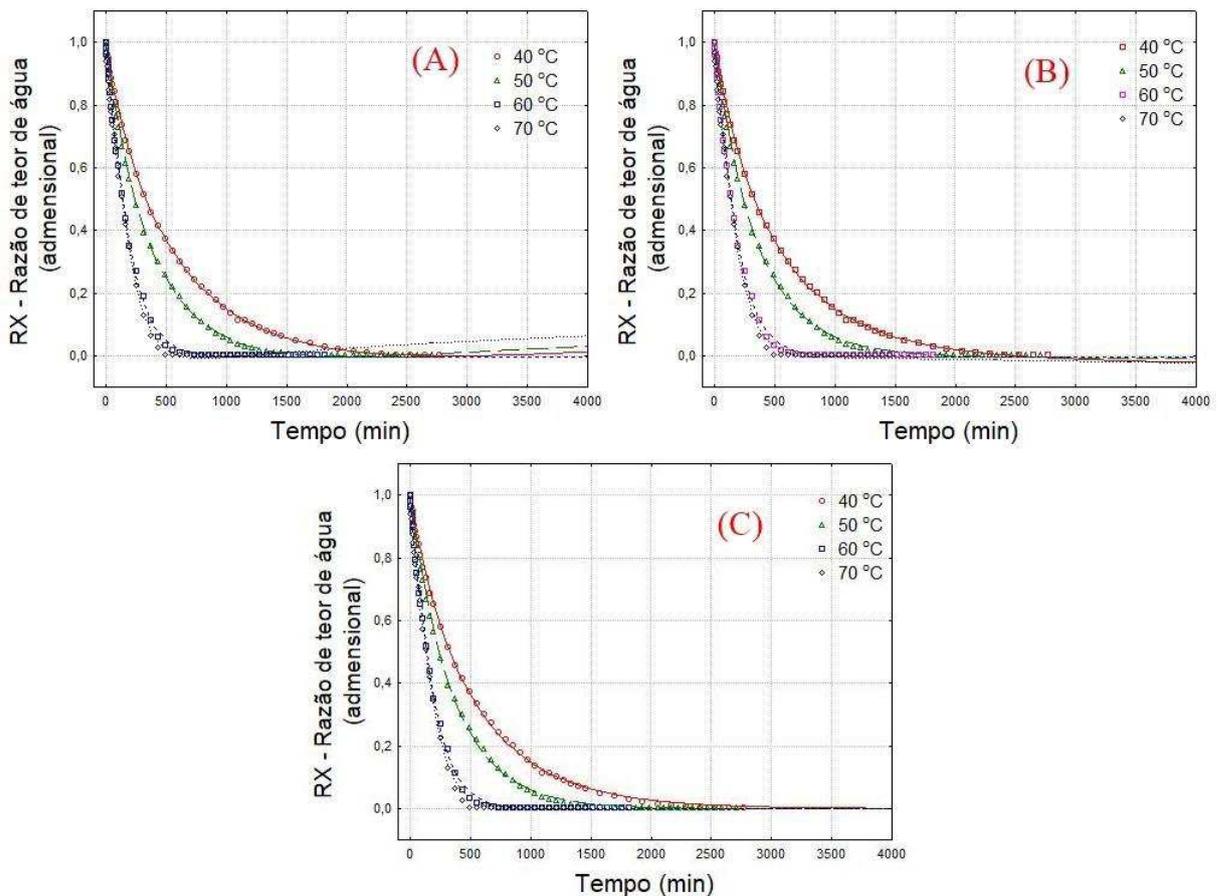


Figura 4.7 Curvas da cinética de secagem de casca de juá obtidos por regressão não linear para diferentes condições de temperatura: (A) Page, (B) Midilli e (C) Cavalcanti-Mata

O comportamento da cinética de secagem da fração sólida (casca) em função do tempo, pode ser observado na Figura 4.7, nas quais estão representadas as curvas de secagem ajustadas pelos modelos de Page, Midilli e Cavalcanti-Mata. Verifica-se, nessa figura que,

com o aumento da temperatura, houve diminuição no tempo de secagem, para todas as temperaturas estudadas. No início da secagem identifica-se para os modelos de Page (A), Midilli (B) e Cavalcanti-Mata (C) utilizados para as quatro temperaturas estudadas que, a taxa de secagem é constante e a partir de 2.500, 1.500, 700 e 600 min aproximadamente, esta taxa decresce quando correlacionadas as temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C, respectivamente.

Tempo prolongado também foi identificado na pesquisa de Castro (2016) com relação a secagem da polpa do taturubá que atingiu o equilíbrio em 1550 min. para a temperatura de 50 °C, 1220 min. para a temperatura de 60 °C e 900 min. para a temperatura de 70 °C. Esse período longo de secagem até a massa constante deve-se a quantidade significativa de açúcar presente em muitos frutos, o que acaba dificultando a transferência de massa durante o processo (CASTRO *et al.*, 2014).

Essa mesma tendência ocorreu no trabalho de Santos (2017) com secagem de romã, onde se verificou a redução do período de secagem com o aumento da temperatura, comportamento já esperado uma vez que com o aumento da temperatura do ar de secagem cria-se um maior gradiente de umidade entre o produto e o ar, acarretando em maior taxa de remoção de água, independentemente do tipo de produto (SOUSA *et al.*, 2011).

Segundo Reis *et al.* (2013) na secagem realizada sob uma maior temperatura há uma maior quantidade de calor transferido a partir do ar para o material e, conseqüentemente, um aumento da velocidade de migração da água do interior para a superfície do produto.

Os dados contidos nas Tabela 4.6 mostram os parâmetros do modelo proposto por Fick, com seu respectivo coeficiente de determinação (R^2) para diferentes condições de temperatura para a casca de juá.

Os dados apontam que para o modelo de Fick o coeficiente de difusividade efetiva (Def), na secagem da casca de juá aumenta com o aumento da temperatura, tendo o coeficiente de determinação (R^2) variando, entre 0,93 a 0,97 para as temperaturas analisadas. Constata-se que os valores da difusividade efetiva determinada pela equação de Fick, para três termos, variaram entre $1,28 \cdot 10^{-9}$ a $1,3 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ para a temperatura de 40 °C; $1,47 \cdot 10^{-9}$ a $1,5 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ para a temperatura de 50 °C; $2,61 \cdot 10^{-9}$ a $2,6 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ para a temperatura de 60 °C e $2,87 \cdot 10^{-9}$ a $2,9 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ para a temperatura de 70 °C. Verifica-se que entre o segundo e o terceiro termo não existe uma variação dos valores da difusividade efetiva.

Tabela 4.6 Parâmetros do modelo proposto por Fick, com seu respectivo coeficiente de determinação (R^2) para diferentes condições de temperatura (casca de juá).

Temperatura (C)	Número de termos da série de Fick					
	n=1		n=2		n=3	
	Dif ($m^2.s^{-1}$)	R^2	Dif ($m^2.s^{-1}$)	R^2	Dif ($m^2.s^{-1}$)	R^2
40	$1,28E^{-09}$	0,9388	$1,3E^{-09}$	0,9635	$1,3E^{-09}$	0,9673
50	$1,47E^{-09}$	0,9567	$1,5E^{-09}$	0,9756	$1,5E^{-09}$	0,9785
60	$2,61E^{-09}$	0,9472	$2,6E^{-09}$	0,9649	$2,6E^{-09}$	0,9674
70	$2,87E^{-09}$	0,9439	$2,9E^{-09}$	0,9615	$2,9E^{-09}$	0,9640

O comportamento do coeficiente de difusividade efetiva também foi observado por Sousa (2017) na secagem do arroz vermelho ocorrendo um aumento desse parâmetro com a elevação da temperatura, tendo seu coeficiente de determinação (R^2) variando entre 96 a 97%.

Na pesquisa de Ramalho (2018) com secagem de batata doce teve também seus coeficientes de difusividade aumentados com a elevação de temperatura (60, 65 e 70 °C) submetidas a diferentes técnicas de secagem, apresentando também coeficientes de determinação (R^2) variando entre 0,89 a 0,99.

No estudo da cinética de secagem de polpa de carambola Silva *et al.* (2016), encontraram coeficientes de determinação (R^2) equivalentes a 99 % para as temperaturas de 40, 50 e 60 °C para o modelo de Fick, conduzindo assim, um bom ajuste. Do mesmo modo Sousa *et al.* (2014), revelam o modelo de Fick como o melhor ajuste no estudo da cinética de secagem do morango, cujos coeficientes de determinação (R^2) foram superiores a 99 %.

Verifica-se na Figura 4.8 que, durante a secagem, a difusividade efetiva apresentou valores entre $1,28 \times 10^{-09}$ e $2,87 \times 10^{-09} m^2.s^{-1}$, para o intervalo de temperatura de 40 a 70 °C, aumentando com o incremento da temperatura do ar de secagem. Portanto, a difusividade efetiva aumenta com a elevação da temperatura de secagem.

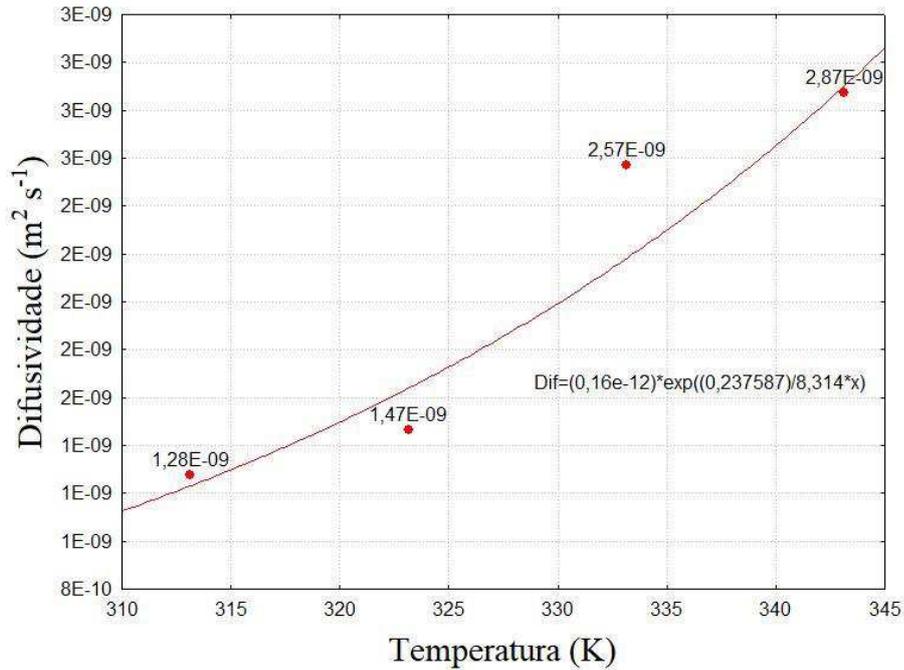


Figura 4.8 Efeito da temperatura na difusividade efetiva para diferentes condições de secagem de casca de juá

A partir da utilização do modelo da difusão é possível determinar as principais propriedades termodinâmicas envolvidas no processo de secagem, como a entalpia, entropia e energia livre de Gibbs. Analisando a Tabela 4.7, observa-se que a entalpia diminui com a elevação da temperatura do ar de secagem estudado. Esse comportamento está relacionado com o aumento da pressão parcial de vapor de água na casca com o aumento da temperatura do ar de secagem. Desta forma, ocorre o aumento da velocidade de difusão da água do interior para a superfície do produto, ocorrendo perda da água por dessorção.

Tabela 4.7 Propriedades termodinâmicas obtidas pela cinética de secagem de casca de juá para diferentes temperaturas.

Temperatura (°C)	ΔH (J mol ⁻¹)	ΔS (J mol ⁻¹ K ⁻¹)	ΔG (J mol ⁻¹)
40	2852,71	-490,03	150,849,00
50	2769,57	-490,29	155,750,00
60	2686,43	-490,54	160,654,00
70	2603,29	-490,79	165,561,00

$E_a = 0,237587 \text{ J mol}^{-1}$; $D_0 = 1,65\text{E-}13 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$; $R^2 = 0,9105$

Segundo Oliveira *et al.* (2010), o menor valor de entalpia para temperaturas maiores de secagem indica que menor será a quantidade de energia necessária para remover a água ligada ao produto durante a secagem.

Analisando o comportamento da entropia na Tabela 4.7, observa-se que, para casca de juá, esta propriedade termodinâmica comportou-se de forma semelhante à entalpia, onde seus valores foram reduzidos com o aumento da temperatura. A entropia é uma grandeza termodinâmica ligada ao grau de desordem, onde seus valores se elevam durante um processo natural em um sistema isolado (GONELI *et al.*, 2010).

Analisando o comportamento da entropia na secagem de frutos de amendoim, notou-se que, tanto para a casca quanto para os frutos, esta propriedade termodinâmica comportou-se de forma similar a presente pesquisa, onde seus valores foram reduzidos com o aumento da temperatura (ARAÚJO, 2017).

Este comportamento era um fenômeno esperado pois a diminuição da temperatura acarreta em menor excitação das moléculas de água resultando em um aumento da ordem do sistema água-produto (CORRÊA *et al.*, 2010).

Verifica-se ainda na Tabela 4.7, que a energia livre de Gibbs aumentou com o aumento de temperatura, sendo seus valores positivos para todas as faixas de temperatura, apontando para reações endergônicas, isto é, houve necessidade de energia na forma de calor para que o processo ocorresse (COSTA *et al.*, 2016). Entretanto, essa demanda energética foi reduzida à medida que a temperatura de secagem era ampliada, evidenciada por decréscimos nos valores de ΔH , comportamento também reportado na secagem de outros produtos

agrícolas (CORRÊA *et al.*, 2010; CORRÊA *et al.*, 2011; ALVES e RODOVALHO, 2016; SILVA *et al.*, 2016; CAGNIN *et al.*, 2017; SANTOS *et al.*, 2019).

Essa mesma tendência foi constatada na pesquisa de Oliveira (2015) com secagem de morango, onde a energia livre de Gibbs aumentou com o aumento da temperatura, atingindo valores de 74.159,75; 76.544,54 e 78.931,90 J mol⁻¹ para as temperaturas 40, 50 e 60 °C, respectivamente.

Essa propensão também foi constatada na pesquisa de Santos *et al.* (2019) com secagem de acuri, em que a energia livre de Gibbs (ΔG) aumentou com incrementos de temperatura, com valores passando de 139.489,30 a 150.720,39 J mol⁻¹, para as temperaturas de 60 a 90 °C. Os valores positivos da ΔG indicam que a secagem das fatias de acuri não foi espontânea, sendo necessária a adição de energia proveniente do ar em que a amostra esteve envolvida, para que ocorresse a redução do teor de água.

4.5 Cinética de Secagem (semente)

Verifica-se, na Tabela 4.8, o ajuste dos modelos matemáticos por regressão não linear para os dados da cinética de secagem de sementes de juá, considerando-se as diferentes temperaturas do ar de secagem.

De acordo com os resultados, todos os modelos: Page, Midilli e Cavalcanti-Mata apresentaram valores de R² superiores a 0,991, para todas as temperaturas estudadas, indicando uma representação satisfatória do fenômeno em estudo. No entanto, dentre os modelos estudados, o modelo de Cavalcanti-Mata apresentou os melhores parâmetros de ajustes para as amostras de sementes de juá, tendo coeficiente de determinação (R²) superiores aos demais modelos para todas as faixas de temperatura, e desvio quadrático médio (DQM) inferior aos demais modelos.

Tabela 4.8 Parâmetros estimados do modelo proposto por Page, Midilli e Cavalcanti-Mata obtidos por meio de regressão não linear para diferentes temperaturas de secagem com os respectivos coeficientes de determinação (R^2) Desvio quadrático médio (DQM) e Tendência de distribuição de resíduos (TDR), para sementes de juá.

Modelo	Temperatura				Parâmetros				R^2	DQM	TDR
	(C)	K	n	-	-	-	-				
Page	40	0,0152	0,6964	-	-	-	-	0,9992	1,12E-04	Aleatório	
	50	0,0768	0,5004	-	-	-	-	0,9938	4,63E-04	Aleatório	
	60	0,0095	0,8376	-	-	-	-	0,9915	1,19E-03	Aleatório	
	70	0,019	0,7571	-	-	-	-	0,9949	1,75E-04	Aleatório	
Midilli		A	k	N	B	-	-	R^2	DQM	TDR	
	40	1,0037	0,0163	0,6852	-2,33E-06	-	-	0,9994	1,41E-04	Aleatório	
	50	1,0247	0,0966	0,4562	-1,40E-05	-	-	0,996	4,81E-04	Aleatório	
	60	1,0349	0,0119	0,8082	7,16E-06	-	-	0,9939	2,42E-04	Aleatório	
	70	0,9739	0,0146	0,8014	4,20E-06	-	-	0,9956	4,13E-04	Aleatório	
Cavalcanti-Mata		a_1	k_1	n_1	a_2	n_2	a_3	R^2	DQM	TDR	
	40	1,3239	0,0095	0,3981	0,7176	0,8079	-1,0433	0,9998	1,60E-05	Aleatório	
	50	0,4246	0,0938	0,3956	0,6724	0,468	-0,0715	0,996	8,17E-07	Aleatório	
	60	0,6431	0,004	1,091	0,3689	0,8574	-0,0136	0,9974	3,23E-06	Aleatório	
	70	0,6822	0,003	1,1252	20,8782	0,2152	-20,562	0,9985	4,53E-05	Aleatório	

RX: razão do teor de água do produto, adimensional; k: constantes de secagem; a, b, c, n: coeficientes dos modelos; t: tempo de secagem (min);

Na pesquisa de Silva (2014), ao realizar a cinética de secagem dos grãos de guandu verificou-se que dentre as equações testadas as de Cavalcanti-Mata com seis constantes e Midilli aproximaram-se mais dos pontos experimentais que os demais modelos, constatado por meio do coeficiente de determinação (R^2), estando para todos os tratamentos acima de 99,92%, e os menores valores de DQM, para todas as temperaturas (40 a 70 °C).

No trabalho de Diniz (2016), com processamento do fruto do juazeiro para obtenção da farinha e do óleo, concluiu-se que todos os modelos apresentaram bons ajustes aos dados experimentais de secagem, com R^2 superiores a 0,98, podendo ser utilizados na predição da cinética de secagem do fruto de juá.

Camícia *et al.* (2015) trabalharam com secagem de sementes de feijão-caupi. Considerando as diferentes condições de secagem, verificaram-se nos modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais que, os coeficientes de determinação (R^2) foram superiores a 90%, indicando uma representação satisfatória do processo de secagem, nas temperaturas de 30, 40 e 50 °C. No entanto, dentre esses modelos, o modelo matemático de Midilli foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais nas diferentes condições de secagem.

Costa (2015) relatou que em todas as condições de secagem os valores do coeficiente de determinação (R^2), foram superiores a 98% para os modelos de Midilli e Page na secagem de frutos de crambe. O mesmo ocorreu com a secagem da semente desse mesmo fruto, em que para a maioria dos tratamentos os modelos matemáticos, ajustados aos dados experimentais, apresentaram coeficientes de determinação (R^2) superiores ou próximos a 0,95 (FARIA, 2012).

Ainda na Tabela 4.8 o parâmetro K aumentou da temperatura de 40 para a 50 °C, e caiu entre 50 e 60 °C em todos os modelos. Na temperatura de 60 para 70 °C aumentou para os modelos de Page e Midilli e caiu para o modelo de Cavalcanti-Mata. Comportamento semelhante foi verificado por Santos (2012) com secagem de grãos de urucum onde o parâmetro K aumentou nas temperaturas de 40 para 50°C, diminuindo de 50 para 60 °C e voltando a aumentar para as temperaturas de 60 a 70°C para os modelos de Midilli e Page.

Já na pesquisa de Sousa (2017) com secagem de arroz vermelho em casca, o parâmetro K aumentou para o modelo de Page para as temperaturas de 40 a 80°C, já o modelo de Cavalcanti-Mata diminuiu para as temperaturas de 40 a 70 °C, aumentando entre as temperaturas de 70 °C e 80 °C para o parâmetro K1.

No que se refere ao coeficiente (n) houve uma mesma tendência para os modelos de Page e Midilli, diminuindo das temperaturas de 40 para 50°C, aumentando entre as temperaturas de 50 para 60°C e voltando novamente a cair entre as temperaturas de 60 para 70°C. Já no modelo de Cavalcanti-Mata, (n1) e (n2) apresentaram uma diminuição entre as temperaturas de 40 para 50 °C e um aumento para as temperaturas de 50 a 60 °C, esse aumento permaneceu entre as temperatura de 60 a 70 °C para o (n1) e diminuiu entre as temperaturas de 60 a 70 °C para o (n2). Observamos portanto que não houve disposição delineada desse parâmetro entre os modelos matemáticos de modo geral. Esse comportamento heterogêneo também foi identificado na pesquisa de Silva *et al.* (2014) na secagem de grãos de guandu, com relação ao coeficiente (n) do modelo de Page e Midilli não se observou uma tendência definida dos seus valores em relação à temperatura de secagem. Nessa mesma pesquisa o modelo de Cavalcanti-Mata tanto para (n1) como para (n2) apresentaram uma diminuição dos valores das temperaturas de 40 para 50 °C, aumentando de 50 a 60 °C e voltando a cair da temperatura de 60 para 70 °C, similar com o (n2) da presente pesquisa.

Normalmente, com a elevação da temperatura do ar de secagem, menor é o valor de n, uma vez que há maior diferença entre a pressão de vapor do ar e do grão, promovendo maior remoção de água (SILVA *et al.*, 2014).

No tocante ao parâmetro “a”, observamos ainda na Tabela 4.34 que para esse indicador tanto para o modelo de Midilli como também o de Cavalcanti-Matanão se observou uma tendência definida dos seus valores em relação à temperatura de secagem. Na pesquisa de Rodvalho *et al.* (2015), com cinética de secagem de sementes de pimenta bode, constatou-se também que não há uma tendência clara de comportamento do coeficiente (a) para os Modelos de Midilli e Cavalcanti-Mata, com a elevação da temperatura e, neste caso, segundo os autores, podem ser tratados como variáveis empíricas. No trabalho de Silva *et al.* (2014) com a cinética de secagem de sementes de guandu o coeficiente (a) diminuiu entre as temperaturas de 40 a 50 °C , aumentando nas temperaturas subsequentes para o modelo de Cavalcanti-Mata. Camícia *et al.* (2015) verificaram um aumento do coeficiente (a) ao longo das temperaturas de 30, 40 e 50 °C na secagem de feijão-caupi.

Levando-se em consideração apenas os valores de R^2 , não constituem um bom critério para a seleção de modelos não lineares, portanto, os dados de DQM (Tabela 4.8) também foram considerados. Todos os modelos avaliados apresentaram baixos valores de DQM, podendo ser utilizados na predição da cinética de secagem de sementes de juá, contudo,

dentre eles o modelo de Cavalcanti-Mata foi o que apresentou os menores valores para as quatro temperaturas selecionadas, seguido pelo modelo de Midilli. Tais modelos apresentaram valores de DQM mais satisfatórios.

Os resultados encontrados estão de acordo com os obtidos por Silva *et al.* (2014) na secagem de grãos de guandu. Em geral, verificou-se que dentre as equações testadas as de Cavalcanti-Mata com seis constantes e Midilli aproximaram-se mais dos pontos experimentais que os demais modelos, constatado por meio do coeficiente de determinação (R^2), estando para todos os tratamentos acima de 99,92%, e os menores valores de DQM, para todas as temperaturas (40 a 70 °C) na velocidade do ar de secagem de 1 m s⁻¹ em que quanto menor o valor de DQM melhor é a representação do modelo empregado.

Santos (2013) constatou também na secagem de sementes de urucum que todos os modelos estudados representaram satisfatoriamente a cinética de secagem das farinhas de grãos residuais de urucum com e sem óleo, com coeficientes de determinação superiores a 0,95 e baixos valores dos desvios quadráticos médios (DQM).

Para a seleção do melhor modelo matemático ajustado aos dados experimentais, observou-se tendência de distribuição de resíduos (Tabela 4.8) em que todos os modelos ajustados à cinética de secagem da semente de juá se mostraram favoráveis apresentando a distribuição aleatória confirmando a análise feita através do R^2 e DQM, os quais se mostraram igualmente favoráveis para todos os modelos.

Na pesquisa de Martins (2014) com secagem de mulungu o modelo de Midilli foi o único que apresentou a tendência de distribuição de resíduos aleatória para todas as temperaturas, seguido pelo o modelo de Page que se mostrou tendencioso apenas na temperatura de 70 °C.

No trabalho de Mendonça *et al.* (2015) os modelos de Midilli e Page também apresentaram distribuição aleatória para a secagem de sementes de andiroba.

Um modelo é considerado aleatório se os valores residuais se encontrarem próximos à faixa horizontal em torno de zero e também não formarem figuras definidas, não indicando tendenciosidade dos resultados (SOUSA, 2011).

Observa-se na Figura 4.9 o ajuste do modelo matemático de (A) Page (B) Midilli e (C) Cavalcanti-Mata aos dados experimentais da cinética de secagem de sementes de juá nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C. Todos modelos se adequaram aos dados de secagem, não sendo observada dispersão significativa dos pontos experimentais em relação às curvas de

ajuste, estando, desse modo, em concordância com os valores de R^2 , DQM e distribuição dos resíduos apresentados, confirmando ser os três modelos ideais para estimar a cinética de secagem de sementes de juá.

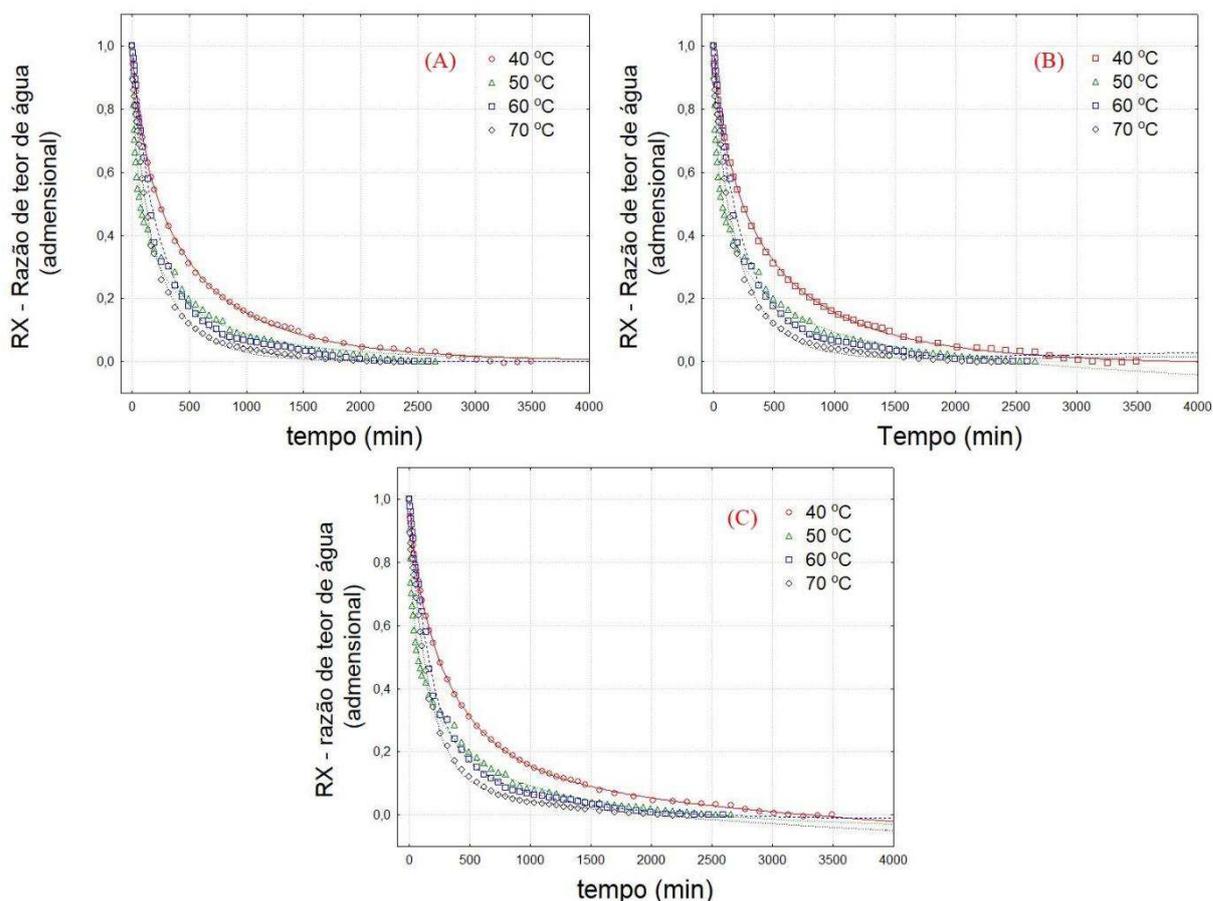


Figura 4.9 Curvas da cinética de secagem de sementes de juá obtidos por regressão não linear para diferentes condições de temperatura: (A) Page, (B) Midilli e (C) Cavalcanti-Mata

É percebido que, quanto mais elevada à temperatura, mais rapidamente se processou a secagem. No início da secagem observa-se para os modelos de Page (A) para as quatro temperaturas que a taxa de secagem é constante e a partir de 3000, 2500, 2000 e 1700 min aproximadamente esta taxa começou a decrescer para as temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C, respectivamente. O modelo de Midilli também apresenta constância na taxa de secagem e que nos tempos de 2700 (para 40 °C), 2100 (para 50 °C), 1800 (para 60 °C) e 1600 min (para 70 °C) começam a decrescer. O mesmo acontece no modelo de Cavalcanti-Mata em que as

temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C começaram a decrescer quando o tempo era de 3100, 2700, 2100 e 1800, respectivamente.

Sousa (2017) constatou que a temperatura tem efeito direto sobre o processo de secagem, e que quanto maior for a temperatura de secagem mais rápido será o processo e menor tempo para se atingir o equilíbrio.

Em adição pode-se dizer que esses resultados também estão de acordo com a pesquisa de Faria *et al.* (2012) com a secagem de sementes de crambe, onde o aumento da temperatura do ar de secagem promoveu maior taxa de remoção de água do produto, evidenciando-se o acréscimo da taxa de secagem.

No trabalho de Silva *et al.* (2018) com secagem de sementes de maracujá BRS pérola do cerrado, em que as sementes apresentaram estabilidade quando a Razão de Umidade (RU), chegou ao valor zero para as três temperaturas em estudo que foram 30, 40 e 50 °C, levando respectivamente 8, 6,5 e 6 horas. Com base nos resultados encontrados, observa-se que conforme houve aumento da temperatura de secagem, ocorreu maior retirada de água do produto.

Os dados contidos na Tabela 4.9 mostram que para o modelo de Fick o coeficiente de difusividade efetiva (Def), na secagem da semente de juá eleva-se com o aumento da temperatura, tendo o coeficiente de determinação (R^2) variando, entre 0,80 a 0,99 para as temperaturas analisadas.

Averigua-se que os valores da difusividade efetiva determinada pela equação de Fick, para quatro termos, variaram entre $2,25 \cdot 10^{-10}$ a $3,50 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ para a temperatura de 40 °C; $2,50 \cdot 10^{-10}$ a $4,40 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ para a temperatura de 50 °C; $3,50 \cdot 10^{-10}$ a $5,38 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ para a temperatura de 60 °C e $4,50 \cdot 10^{-10}$ a $7,58 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ para a temperatura de 70 °C.

Tabela 4.9 Parâmetros do modelo proposto por Fick, com seu respectivo coeficiente de determinação (R^2) para diferentes condições de temperatura (sementes de juá).

Temperatura (C)	Número de termos da série de Fick							
	n=1		n=2		n=3		n=4	
	Dif	R^2	Dif	R^2	Dif	R^2	Dif	R^2
40	2,25E ⁻¹⁰	0,8270	3,00E ⁻¹⁰	0,9535	3,00E ⁻¹⁰	0,9781	3,50E ⁻¹⁰	0,9858
50	2,50E ⁻¹⁰	0,8227	3,40E ⁻¹⁰	0,9454	3,88E ⁻¹⁰	0,9730	4,40E ⁻¹⁰	0,9824
60	3,50E ⁻¹⁰	0,8071	4,50E ⁻¹⁰	0,9339	5,38E ⁻¹⁰	0,9659	5,38E ⁻¹⁰	0,9779
70	4,50E ⁻¹⁰	0,8547	6,00E ⁻¹⁰	0,9618	7,00E ⁻¹⁰	0,9843	7,58E ⁻¹⁰	0,9909

Dif = Difusividade ($m^2.s^{-1}$)*

Esse mesmo comportamento foi relatado na pesquisa de Costa (2011) na secagem de sementes de crambe, em que verificou-se que durante a secagem desse produto o coeficiente de difusão efetivo aumentou significativamente ($P < 0,05$), com a elevação da temperatura.

No trabalho de Camícia *et al.* (2015), os valores da difusividade das sementes de feijão-caupi aumentaram com a elevação da temperatura de secagem, com valores de $5,047 \times 10^{-11} m^2 s^{-1}$, $6,047 \times 10^{-11} m^2 s^{-1}$ e $12,011 \times 10^{-11} m^2 s^{-1}$ para as temperaturas de 30, 40 e 50 °C, respectivamente, tendo o coeficiente de determinação (R^2) variando de 98 a 99%.

O coeficiente de difusão é uma difusividade efetiva que engloba os efeitos de todos os fenômenos, podendo intervir sobre a migração da água, e o seu valor é sempre obtido pelo ajuste das curvas experimentais (MARTINAZZO *et al.*, 2007).

Na Figura 4.10 encontra-se o efeito da temperatura na difusividade efetiva para diferentes condições de secagem de sementes de juá. É notado que ocorre aumento linear do coeficiente de difusão com a elevação da temperatura, estando em concordância com os resultados obtidos por Silva *et al.* (2018) com a secagem de sementes de melão, onde o coeficiente de difusão aumenta com a elevação da temperatura, apresentando valores entre $1,553 \times 10^{-10}$ a $2,091 \times 10^{-10}$, para a faixa de temperatura de 35 à 50 °C, respectivamente.

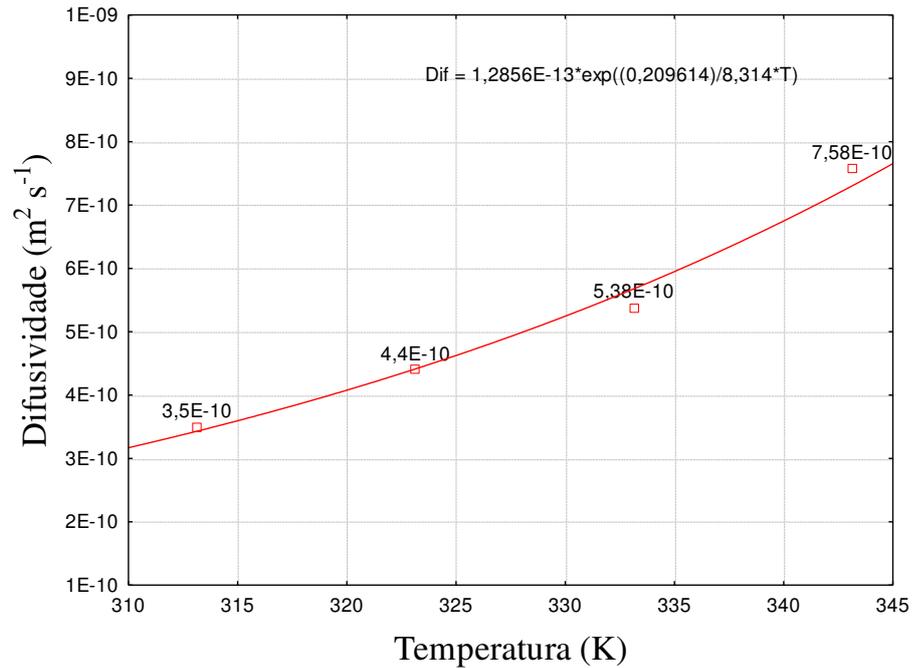


Figura 4.10 Efeito da temperatura na difusividade efetiva para diferentes condições de secagem de sementes de juá

As propriedades termodinâmicas, entalpia, entropia e energia livre de Gibbs encontradas no processo de secagem de sementes de juá para diferentes temperaturas são apresentadas na Tabela 4.10. Observa-se que a entalpia diminui com a elevação da temperatura do ar de secagem estudado. A entalpia consiste no calor liberado ou absorvido pelo alimento à pressão constante. Mudanças na entalpia fornecem uma medida da variação de energia quando ocorre uma interação entre as moléculas de água com os constituintes do grão durante o processo de sorção (RODOVALHO *et al.*, 2015).

Tabela 4.10 Propriedades termodinâmicas obtidas pela cinética de secagem de sementes de juá em diferentes temperaturas

Temperatura (C)	ΔH (J mol ⁻¹)	ΔS (J mol ⁻¹ K ⁻¹)	ΔG (J mol ⁻¹)
40	2852,74	-492,09	156,703,00
50	2769,6	-492,36	161,791,00
60	2686,46	-492,61	166,882,00
70	2603,32	-492,85	171,976,00

$E_a = 0,2096 \text{ J mol}^{-1}$; $D_0 = 1,2856\text{E-}13 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$; $R^2 = 0,9471$

Esse mesmo desempenho foi verificado em várias pesquisas, dentre elas a secagem de frutos de amendoim, em que valores de entalpia sofreram redução durante a secagem dos frutos, com o aumento da temperatura (40,50,60 e 70 °C) (ARAÚJO *et al.*, 2017).

Granella (2018) trabalhando com cinética de secagem de sementes de trigo detectou que os valores de entalpia diminuiram à medida que a temperatura do ar de secagem aumentou. Segundo o mesmo autor este padrão pode ser explicado pelo fato de que um aumento na temperatura do ar de secagem provoca aumento na pressão parcial do vapor de água na semente, enquanto a pressão do vapor de água do ar permanece constante durante o processo de aquecimento do ar. Em consequência, há aumento na intensidade do movimento da água do interior do produto para sua superfície, logo, o processo de secagem torna-se mais rápido. Esse comportamento está associado ao coeficiente de difusão efetivo.

Analisando o comportamento da entropia na Tabela 4.10, observa-se que, para semente de juá, esta propriedade termodinâmica comportou-se de forma similar à entalpia, em que seus valores foram reduzidos com o aumento da temperatura. A entropia é uma grandeza termodinâmica ligada ao grau de desordem, onde seus valores se elevam durante um processo natural em um sistema isolado (GONELI *et al.*, 2010).

Observando o comportamento da entropia na secagem de frutos de amendoim, concluiu-se que, tanto para os grãos bem como para os frutos, esta propriedade termodinâmica comportou-se de forma similar a presente pesquisa, em que seus valores foram reduzidos com o aumento da temperatura (40 a 70°C) (ARAÚJO, 2017). Essa mesma tendência foi verificada

na pesquisa de Sousa (2017) na secagem de grãos de arroz vermelho onde a entropia reduziu com elevação na temperatura de secagem (40, 50, 60, 70 e 80 °C).

Verifica-se ainda na Tabela 4.10, que a energia livre de Gibbs aumentou com o aumento de temperatura, sendo seus valores positivos para todas as faixas de temperatura, evidenciando que a secagem das sementes de juá nas condições do presente trabalho também não foi espontânea. A energia livre de Gibbs é um indicativo da afinidade do produto pela água, fornecendo um critério de avaliação da desorção da água. Para valores de energia livre de Gibbs negativos, o processo é espontâneo, enquanto para valores positivos é não-espontâneo (TELIS *et al.*, 2000).

Na pesquisa de Araújo (2017), para os frutos do amendoim, houve aumento nos valores da energia livre de Gibbs, proporcionalmente ao aumento da temperatura do ar de secagem. Logo, permitiu-se confirmar o aumento do trabalho realizado para tornar os sítios de sorção disponíveis.

Essa mesma tendência foi constatada na pesquisa de Oliveira *et al.* (2014) com secagem de sementes de pinhão manso onde houve um crescimento da energia livre de Gibbs com a elevação das temperaturas trabalhadas (10, 20, 30 e 40 °C), em que os valores positivos são esperados, uma vez que como discutido anteriormente a desorção é um processo não espontâneo.

4.5.1 Composição físico-química da farinha do resíduo de juá

Verifica-se na Tabela 4.11, o perfil físico-químico da farinha da semente de juá submetidas as temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.

Tabela 4.11 Resultados dos componentes da farinha do resíduo da semente de juá após operações de secagem.

Parâmetros	Farinha 40 °C	Farinha 50 °C	Farinha 60 °C	Farinha 70 °C	DQM
Teor de água (%)	13,74 a	5,24 b	2,52 c	1,05 d	0,21514
Cinzas (%)	1,01 c	1,32 b	1,62 a	1,51 a	0,15081
Proteínas (%)	6,73 c	6,06 d	8,78 b	12,50 a	0,13400
Lipídios (%)	1,95 c	3,30 b	3,27 b	4,66 a	0,15399
Carboidratos (%)	76,57 c	84,06 a	83,79 a	80,28 b	0,35637
Valor Calórico (kcal/100g)	350,76 c	390,22 b	399,78 ab	413,07 a	21,742
Sódio (mg/100g)	25,00 d	37,32 c	56,88 b	224,04 a	1,04687
Cálcio (mg/100g)	481,65 d	495,64 c	519,84 b	567,55 a	4,97224
Ferro (mg/100g)	0,34 c	0,87 ab	0,81b	0,89 a	0,08772
Fósforo (mg/100g)	21,58 d	25,30 c	28,38 b	50,23 a	0,54585
pH	5,65 a	5,40 c	5,51 b	5,43 c	0,03850

Observa-se que o teor de água foi satisfatório, sendo de 13,74, 5,25, 2,53, 1,05% para as temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C, respectivamente, estando todos abaixo do valor máximo permitido pela legislação que é de até 15% (RDC, 2005).

Diniz (2017) na secagem do fruto de juá nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, obteve os melhores teores de água na temperatura de 70 °C (12,40 a 13,50%), apresentando valores acima do permitido pela legislação nas temperaturas menores de 60 e 50 °C (15,26 a 25,28%).

Cavalcanti *et al.* (2011) obtiveram um teor de água de 8,53% em farinha de juá obtida em estufa com circulação de ar a 65 °C por 24 h.

Para os percentuais de cinzas, observa-se na Tabela 4.11, que os melhores valores se encontram nas temperaturas de 60 e 70 °C, com valores de 1,62 e 1,51% respectivamente, não havendo diferença estatística entre esses dois experimentos. Cavalcanti *et al.* (2011) caracterizando a farinha de juá, encontraram teores de cinzas de $4,32 \pm 0,03$. Ainda para essa

análise Diniz (2016), constatou-se, que não houve diferença significativa para os resultados das médias dos experimentos, com valores de 3,26 a 3,45% para a temperatura de 50°C, 3,11 a 3,92% para a temperatura de 60 °C e 3,46 a 3,93 para a temperatura de 70 °C. A composição das cinzas nos alimentos corresponde à quantidade de minerais presentes e variam em função da composição do solo onde o vegetal foi cultivado. Os minerais são importantes para a função celular, auxiliam no metabolismo e em alguns casos fazem parte da composição dos tecidos orgânicos (VIEITES *et al.*, 2011).

Para os teores de proteínas, observa-se que o maior percentual concentrou-se no experimento com a temperatura de 70 °C com teor de 12,50%. No trabalho de Diniz (2016) na obtenção da farinha de juá o maior percentual de proteínas concentrou-se também no experimento com a maior temperatura (70 °C e 2,0 m/s), com teor de 7,26%, esse resultado é superior ao determinado por Cavalcanti *et al.* (2011) em farinha do mesmo fruto com teor de proteínas de 5,57% na temperatura de 65 °C.

O teor de proteínas é citado por vários autores, como um dos indicadores de qualidade mais importantes, visto estar relacionado com capacidade de formação da massa e com o aumento de volume do material (SILVA, 2009).

Nos teores de lipídeos, observam-se que as concentrações aumentaram com a elevação da temperatura tendo portanto, a maior média no tratamento com a temperatura a 70 °C com 4,66%. No trabalho de Cavalcanti (2011) na obtenção da farinha a partir do fruto de juá, com temperatura de secagem de 65 °C, o teor de lipídios foi menor do que o valor encontrado na presente pesquisa, com o valor médio de 1,13%. Já na pesquisa de Diniz (2017) as maiores médias foram nos experimentos 4 (E4 - 60 °C e 1,0 m/s) e 5 (E5 - 60 °C e 1,5 m/s), de 0,94 e 0,95%, respectivamente. Moraes (2011), diz que os lipídeos são macronutrientes que exercem funções energéticas, estruturais e hormonais no organismo. Impondo sabor aos alimentos e sensação de saciedade, além de conduzir as vitaminas lipossolúveis, estando quase todos compostos por ácidos graxos.

Os carboidratos (Tabela 4.11) alcançaram valores médios estipulados como o componente mais abundante da farinha oriunda da semente, em que os maiores valores foram para os experimentos com as temperaturas de 50 °C e 60 °C com os valores de 84,09 e 83,79, respectivamente. Esse parâmetro foi o que mais concorreu para a determinação do valor energético, demonstrando-se que a farinha da semente de juá tem um valor calórico considerável. Sousa *et al.* (2014) na obtenção da farinha de juá obteve o valor de carboidrato

de 79,68% indicando que esta pode ser utilizada em substituição à farinha de trigo, que contém 75,1% de carboidratos.

Os carboidratos são a maior fonte de energia para o organismo humano. Alimentos ricos em carboidratos podem ser utilizados para enriquecer energeticamente a alimentação, seja pelo consumo direto ou através da inclusão no desenvolvimento de novos produtos (ABUD e NARAIN, 2009).

O mineral em maior quantidade avaliado quimicamente na amostra da farinha da semente no juá foi o cálcio variando de 481,65 a 567,55 mg/100 g, seguido do sódio com 25 mg/100 g (40 °C) a 224,04 mg/100g (70 °C) e fósforo que variou de forma crescente com valores de 21,58, 25,30, 28,38 e 50,23 mg/100g para as temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C respectivamente.

Na pesquisa de Diniz (2016) com a produção da farinha de juá a partir do fruto, o mineral em maior quantidade no juá foi o potássio 1118 mg/100 g, seguido do cálcio com 356 mg/100 g, magnésio 114 mg/100 g, e fósforo com 95 mg/100 g. Os minerais são importantes para a função celular, auxiliam no metabolismo e em alguns casos fazem parte da composição dos tecidos orgânicos (VIEITES *et al.*, 2011).

O pH apresentou uma variância de 5,40 a 5,65, valores superiores aos encontrados por Cavalcanti *et al.* (2011), em que obteve e caracterizou físico-quimicamente a farinha de juá e a mesma apresentou pH ácido de 4,78. Em estudo da farinha a partir do fruto de juá, Diniz (2016) obteve pH de 4,93.

Verifica-se na Tabela 4.12, o perfil físico-químico da farinha oriunda da casca de juá submetidas as temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.

Tabela 4.12 Resultados dos componentes da farinha do resíduo da casca de juá após operações de secagem.

Análises	Farinha 40 °C	Farinha 50 °C	Farinha 60 °C	Farinha 70 °C	DQM
Teor de água (%)	21,63 a	17,75 b	15,39 c	5,37 d	0,18183
Cinzas (%)	1,30 c	2,37 b	2,62 ab	2,82 a	0,32736
Proteínas (%)	8,61 c	13,26 a	12,84 b	13,27 a	0,33992
Lipídios (%)	2,73 b	1,60 c	2,63 b	4,35 a	0,38601
Carboidratos (%)	66,05 b	65,01 c	66,52 b	74,18 a	1,02963
Valor Calórico (kcal/100g)	323,25 b	327,49 b	357,77 ab	387,93 a	35,3259
Sódio (mg/100g)	74,02 d	224,75 b	236,41 a	211,76 c	1.15611
Cálcio (mg/100g)	490,39 d	590,75 b	654,12 a	551,04 c	9,27503
Ferro (mg/100g)	0,56 c	0,53 c	0,93b	1,04 a	0,10516
Fósforo (mg/100g)	42,58 b	42,53 b	23,11 c	54,28 a	0.97078
pH	4,49 b	5,48 a	4,75 b	5,05ab	0.58355

No que se refere o teor de umidade nota-se que todas as amostras, com exceção da farinha produzida a partir da temperatura de secagem de 70 °C, se encontram fora da determinação preconizada pela legislação, apresentando teores elevados de água de 21,76% (40 °C), 17,58% (50 °C), 15,39% (60 °C) e 5,37% (70 °C). A Portaria nº 593, de 2000, determina para farinhas o máximo de 15% de umidade (RDC, 2005). No entanto, segundo a Embrapa (1994) farinhas com teores de água acima de 14% já tendem a formar grumos, o que irá prejudicar a produção de massas por processo contínuo, em que a farinha e a água devem fluir uniformemente para manter a proporção desses ingredientes na mistura de massa.

Os teores de cinzas apresentam valores que variaram de 1,30 % (40 °C) a 2,82 % (70 °C), ocorrendo uma ascendência com a ampliação da temperatura. Cavalcanti *et al.* (2011) caracterizando a farinha do fruto do juazeiro, encontraram teores de cinzas de 4,32%, valor este superior encontrado na presente pesquisa.

Outra classe de grande importância é a classe das proteínas, elas têm função: estrutural, de transporte de substâncias, de regulação hormonal e varias outras. O organismo humano é incapaz de produzir determinados tipos de proteínas, que devem ser obtidos através da alimentação. Para esse parâmetro observa-se os valores de: 8,61, 13,25, 12,84 e 13,39 para as temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C, respectivamente. As farinhas de resíduos são ótimas fontes de nutrientes, apresentando quantidades importantes de proteínas e facilmente inseridas na alimentação da população em geral, principalmente para pessoas mais carentes (STORCK *et al.*, 2015)

A farinha do resíduo da casca de juá apresentou os seguintes valores de lipídios: 2,73; 1,60; 2,63 e 4,35 (para as temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C). Observa-se portanto, que tanto para análise de proteínas como a de lipídeos houve um aumento nos valores com a elevação de temperatura, com exceção apenas para o valor de lipídeos nas temperaturas de 40 para 50 °C e das proteínas, de 50 para 60°C em que houve uma diminuição. Aumentos também foram encontrados nos valores de proteínas na obtenção da farinha a partir da casca de maracujá, onde na secagem da casca integral sem maceração houve um aumento do teor de proteínas, passando de 1,04 para 3,47 nas temperaturas de 70 para 80 °C. Com relação aos lipídeos, nessa mesma pesquisa, foi verificado que apesar da farinha da casca de maracujá possuir valor muito pequeno, abaixo de 1,0%, houve também um aumento desse valor na temperatura de 70 para 80 °C para o tratamento C70 (casca integral sem maceração) (SILVA, 2017).

Na pesquisa de Castilho (2014) da análise físico-química da farinha da casca in natura e da polpa de banana verde das cultivares maçã e prata apresentou os teores de lipídeos, respectivamente, de 8,49 e 11,67 g.100 g⁻¹ para os cultivares de banana maçã e prata. Um pouco mais altos em relação aos valores encontrados na casca de juá. O teor de proteína bruta da farinha da casca apresentado foi de 9,97 e 7,10 g.100 g⁻¹, respectivamente, para os cultivares de banana maçã e prata.

No que se refere ao teor de carboidratos, a quantidade mais elevada foi identificada na temperatura de 70 °C com o valor de 74,18, os demais valores encontrados na farinha da casca de juá foram semelhantes nas primeiras três temperaturas de 40, 50 e 60 °C com valores de 66,05, 65,01 e 66,52, respectivamente. Na pesquisa de Oliveira *et al.* (2018) com a produção da entrecasca da melancia encontrou o valor de 67,73 de carboidratos na farinha desse

material, além de 1,49 de lipídeos, 8,81 de proteínas, umidade de 12,63% e valor calórico de 319, 54.

Percebeu-se que a maior influência em relação ao teor de minerais ocorreu em função da temperatura de secagem, em que o aumento da mesma ocasionou a elevação no teor de sódio e de cálcio (minerais de maior abundância) nas temperaturas de 40 a 60 °C, havendo uma redução nas temperaturas de 60 para 70 °C. O fósforo apresentou uma diminuição para as temperaturas de 40 a 60 °C e aumentando com a elevação de 60 para 70 °C. Já o micronutriente ferro aumentou seus valores com a ampliação da temperatura. Um dos minerais em maior quantidade no juá na pesquisa de Diniz (2016) também foi o cálcio com 356 mg/100 g, o fósforo aparece com o valor de 95 mg/100 g e para o micronutriente ferro o valor foi de 3,00 mg/100 g, esses últimos bem superiores aos encontrados na presente pesquisa.

Para o pH foram encontrados os valores de 4,49 a 5,49. Na pesquisa de Almeida *et al.* (2017) com caracterização físico-química da casca do juazeiro para produção de farinhas com fins de complemento alimentar foi encontrado o pH de 5,00. Cavalcanti *et al.* (2011) na obtenção da farinha do fruto do juazeiro encontraram o pH de 4,78, todos dentro de uma faixa similar.

5 CONCLUSÕES

- Avaliando-se a composição química da polpa de juá é possível comprovar as maiores frações para a umidade, carboidratos e vitamina C, com valores de 77,41%, 19,27% e 11,24%, respectivamente. E as menores frações foram para os teores de proteínas (1,81%), lipídeos (0,58%), fibras (1,43%) e cinzas (0,93%), indicando, portanto, um perfil nutricional característico da grande maioria das frutas, extrativas ou cultivadas. Destaca-se, entretanto, que o teor de carboidrato foi superior ao encontrado em outras polpas de frutas como: acerola (8,0%), umbu (9,4%), goiaba (13,0%), com base na Tabela Brasileira de Composição de Alimentos - Taco (UNICAMP, 2011);
- Verificou-se que tanto a fermentação utilizando a levedura granulada como a fresca apresentaram teor alcoólico inferior a 4 °GL (limite estabelecido pela legislação para aguardente de frutas);
- No estudo do comportamento das variáveis dependentes durante a cinética de fermentação, o pH encontrado para duas leveduras (granulada e fresca) está dentro da faixa ideal para a fermentação alcoólica. Em relação ao ° Brix residual decaiu entre 6 a 8 unidades em relação ao ° Brix inicial para os dois tipos de levedura;
- Para o teor alcoólico a levedura granulada se sobressaiu em relação a fresca para todos os tratamentos, onde os maiores índices foram para os ° Brixs 13 e 14 não havendo diferença estatística entre eles;
- **CONVERSÃO:** Comparando-se os dois tipos de levedura, a granulada teve um melhor desempenho em relação à fresca para todos os ° Brixs trabalhados;
- **RENDIMENTO EM BIOMASSA ($Y_{P/S}$):** verifica-se que a levedura granulada apresentou resultados superiores em relação a levedura fresca durante toda a cinética para os ° Brixs 11 e 13 ficando inferior apenas no ° Brix 12 nos períodos de 8 e 10 horas da cinética fermentativa. No ° Brix 14 houve uma superioridade da levedura fresca apenas nas duas primeiras horas com os valores de 0,30 e 0,24 g L⁻¹ comparado com 0,16 e 0,20 g L⁻¹ da granulada, porém nas leituras subsequentes a levedura granulada apresentou os melhores resultados para o rendimento;
- **PRODUTIVIDADE:** Comparando-se os dois tipos de leveduras a granulada apresentou um melhor desempenho para esse quesito para todos os tratamentos, mostrando-se mais viável no que se refere a quantidade de álcool produzido num determinado intervalo de tempo;

- Nas análises do destilado, o teor alcoólico, o metanole o ácido acético não estão de acordo com a legislação. Portanto, para ser comercializada a bebida alcoólica de juá, o teor de metanol (originado pela hidrólise das pectinas oriundas da matéria-prima) precisaria ser minimizado, para isso poderia-se optar por um aumento dos processos de centrifugação e decantação;
- Já o ácido acético poderia ser diminuído reduzindo o intervalo de tempo entre a fermentação e a destilação. Para o teor alcoólico poderia-se fazer o processo de bidestilação, o que aumentaria esse teor ficando dentro dos limites determinados pela legislação. Os demais parâmetros estão dentro do que se preconiza a legislação para aguardentes de frutas;
- Todos os modelos testados podem ser usados na secagem da semente e da casca, no entanto o modelo de Cavalcanti-Mata se ajustou melhor aos dados da cinética de secagem de juá;
- A farinha resultante do experimento na temperatura de 70 °C tanto para casca quanto para semente apresentaram os melhores valores de proteínas, cinzas, carboidratos e a umidade dentro do valor requerido pela legislação.

REFERÊNCIAS

- ABUD, A. K. S.; NARAIN, N. Incorporação da farinha de resíduo do processamento de polpa de fruta em biscoitos: uma alternativa de combate ao desperdício. *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 12, p. 257-265, 2009.
- ABUJAMRA, Lizandra Bringhenti. Produção de destilado alcoólico a partir de mosto fermentado de batata-doce. 2009. 135f. Tese (Doutorado em Agronomia)- Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, Botucatu, 2009.
- ALCÂNTARA, V. C.; MENEZES, E. G. T. Vinho de laranja (*Citrus sinensis* L. Osbeck): Um estudo com diferentes linhagens de *Saccharomyces cerevisiae*. *The Journal of Engineering and exact Sciences - JCEC*, v.3, n.3, p.780-785, 2017.
- ALMEIDA, Cinara Vanessa de Muniz; GOMES, Suellen Arlany Silva; SILVA, Jose Renato da; VIEIRA, Januacele dos Santos ;SILVA, Suzana Pedroza da. Caracterização físico-química da casca do juazeiro para produção de farinhas com fins de complemento alimentar. II Congresso Internacional de Ciências Agrárias. COINTER – PDVAgro. 2017.
- ALMEIDA, Cléverson Francisco de. Fabricação e análises físico-químicas de cachaça produzida a partir de cupuaçu (*theobroma grandiflorum*). 2012. 34f. Monografia (Graduação em Licenciatura em Química) - Faculdade de Educação e Meio Ambiente – FAEMA. Ariquemes – RO 2012.
- AMORIM, A. G.; SOUSA, T. de A.; SOUZA, A. O. Determinação do ph e acidez titulável da farinha de semente de abóbora (*cucurbita máxima*). Palmas, Anais da sétima edição do Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação, 2012.
- ALVARENGA, L.M.; ALVARENGA, R.M.; DUTRA, M.B.L.; OLIVEIRA, E.S. Avaliação de aguardente de banana e manga. *Alim. Nutr. = Braz. J. Food Nutr.*, Araraquara, v.24, n.2, p. 195-201, abr./jun. 2013.
- ALVARENGA, R.M. Avaliação dos parâmetros da fermentação e da destilação para adequação dos teores de compostos secundários em aguardente de banana. Belo

Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2011, 157 p (Tese, doutorado em Ciências de Alimentos).

ALVES, Hedilberto de Oliveira. Obtenção e análise físico-química do destilado alcoólico da cajarana (*Spondias sp*) no semiárido paraibano. 2011. 74f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Pós-Graduação em Ciências Florestais - Universidade Federal de Campina Grande no CSTR – Centro de Saúde e Tecnologia Rural. Patos, Paraíba, Brasil, 2011.

ALVES, J. J. L., & RODOVALHO, R. S. (2016). Cinética de secagem em camada de espuma da polpa de abacate CV ‘Quintal’ (Persea Americana Mill). Revista Agrotecnologia, 7(1), 86-98. <http://dx.doi.org/10.12971/2179-5959/agrotecnologia.v7n1p86-98>.

ANDRADE, Murilo Barbosa de; PERIM, Guilherme Augusto; SANTOS, Tássia Rhuna Tonial dos; MARQUES, Rubiane Ganascim. Fermentação Alcoólica e Caracterização de Fermentado de Morango. Anais do III Simpósio de Bioquímica e Biotecnologia. Anais do III Simpósio de Bioquímica e Biotecnologia. III SIM BB TEC. 2013.

ANJOS, J. P. et al. Identificação do carbamato de etila durante o armazenamento da cachaça em tonel de carvalho (*Quercus sp*) e recipiente de vidro. Química Nova, São Paulo, v. 34, n. 5, p. 874-878, 2011.

AOAC (1997) Association of Official Analytical Chemists International Official Methods of Analysis. 16th Edition, AOAC, Arlington.

ARAÚJO, Willian Dias; GONELI, André Luís Duarte; CORRÊA, André Luís Duarte; FILHO, Cesar Pedro Hartmann e MARTINS, Elton Aparecido Siqueira. Modelagem matemática da secagem dos frutos de amendoim em camada delgada. Revista Ciência Agrônômica, v. 48, n. 3, p. 448-457, jul-set, 2017 Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE.

ARAÚJO, C. R.; ESTEVES, E. A.; DESSIMONI-PINTO, N. A.; BATISTA, A. G. Myrciaria cauliflora peel flour had a hypolipidemic effect in rats fed a moderately high fat diet. Journal of Medicinal Food, v.17, n.2, p.262-267, 2013.

- ARAUJO, F. M. P.; SILVA, R. P. F. da; REGO, L. V. C. do; LOPES, S. de F.; BARBOSA, R. R. D. Previsibilidade de chuvas no agreste paraibano: levantamento etnobotânico sobre as plantas que prenunciam chuva. In: Workshop Internacional Sobre Água no Semiárido Brasileiro, 1, Anais...Campina Grande, 2013.
- ARRUDA, A.R; CASIMIRO, A. R.S; GARRUTI, D. S; ABREU, F. A. P. Caracterização físico-química e avaliação sensorial de bebida fermentada alcoólica de banana. Revista ciência agrônômica, Ceará, v. 38, n. 4 , p. 377-384, 2007.
- Artigos e Reportagens (2015). As Leveduras e seus Timbres. Disponível: <https://www.artwine.com.br/artigos-e-reportagens/380/as-leveduras-e-seus-timbres>. Acesso em: 03 de jul. de 2019.
- ASSIS NETO, Erasto Ferreira de; CRUZ, João Marcos Pinto da; BRAGA, Adriano César Calandrini, SOUZA, João Hamilton Pinheiro de. Elaboração de bebida alcoólica fermentada de jaca (*Artocarpus heterophyllus Lam.*). Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial, v. 4, n. 2, 2010.
- AYUB, M.A.Z. Et al. Conversão de resíduos industriais da soja em etanol e outros solventes orgânicos. UFRGS, Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Laboratório de Biotecnologia, 2002. 12f. (Relatório parcial). Disponível em: <https://eqa.ctc.ufsc.br/labs/probio>. Acesso em: 11/08/2019.
- BABYLON. What are pectinesterases. Disponível em: <http://www.babylon6.demon.co.uk/>. Acesso em: 02 de novembro de 2019.
- BARBOSA, P. S. et al. Análise e Quantificação do Teor Alcoólico do Fermentado Artesanal de Jabuticaba. Revista Científica da Faculdade de Educação e Meio Ambiente , Ariquemes - RO, p. 16-32, jan. 2017.
- BARBOSA, Cosme Damião. Obtenção e caracterização de vinho e vinagre de manga (*Mangifera indica L.*): parâmetros cinéticos das fermentações alcoólica e acética.

2014. 129f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos- Faculdade de Farmácia da Universidade Federal de Minas Gerais MG, Brasil, 2014.

BELCHIOR, Diana Cléssia Vieira; TEIXEIRA, Wéllida Patrícia Aviz; MONTEIRO, Wancicléia de Jesus; SARAIVA, Althiéris de Souza; SANTOS, Claudia Cristina Auler do Amaral. Produção de fermentado alcoólico a partir de abacaxi (*Ananas comosus l.*). 9º Seminário de Iniciação Científica. 26 a 29 de novembro de 2013 – Campus de Palmas, TO. Disponível: file:///C:/Users/Rogério/Documents/489-1773-1-PB.pdf. Acesso em 04/04/2019.

BERTAGNOLLI, Silvana Maria Michelin. Bebidas Fermentadas de Goiaba: Compostos Bioativos, Caracterização Volátil e Aproveitamento de Resíduos. 2014. 114 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos)- Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Maria (UFMS). RS.

BERRY, D.R. Alcoholic beverage fermentations. In: LEA, A.G.H.; PIGGOT, J.R. Fermented Beverage Production. 1ed. London: Blackie Academic & Professional. Cap.2, p. 32-34, 1995.

BESSA, Mizaél Augusto Diógenes Emanuel; OLIVEIRA, Neto Alves de; FEITOSA, Bruno Fonsêca; FEITOSA, Regilane Marques ; ALMEIDA, Francisco Lucas Chaves; NETO, Juvêncio Olegário de Oliveira. Elaboração de fermentados alcoólicos de melão das variedades amarelo e cantaloupe. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia - CONTECC'2016 - Foz do Iguaçu – PR, 29 de agosto a 1 de setembro de 2016.

BIZINOTO, Cristielle Sousa. Desenvolvimento do fermentado alcoólico de murici (*Byrsonima crassifolia* (L.) Kunth) – Malpighiaceae. Desenvolvimento do fermentado alcoólico de murici (*Byrsonima crassifolia* (L.) Kunth) – *Malpighiaceae*). 2017. 48 f.

Dissertação(Mestrado) -Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro – Uberaba/ MG.

BONASSA, G.; TELEKEN, J.G.; SCHNEIDER, L. T.; OLIVEIRA, C. J. Análise da Influência do pH e da temperatura no processo de fermentação de caldo de cana. III Encontro Paranaense de Engenharia e Ciência. Toledo. Paraná. 2013.

BONFIM, T. M. B.; Relatório de Projeto de Extensão, Universidade Federal do Paraná, Brasil, 2005.

BORGES, Fabrício Batista. Descrição da secagem convectiva de grãos de milho através de modelos difusivos. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos) – Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2016.

BORTOLETTO, Aline Marques. Composição química de cachaça maturada com lascas tostadas de madeira de carvalho proveniente de diferentes florestas francesas. 2013. 80p. Dissertação de Mestrado (Mestre em Ciências) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo (USP), Piracicaba, 2013.

BRAGA, R. C. Juazeiro (*Ziziphus Joazeiro*) - árvore da Caatinga com potencial medicinal. 2010. Disponível em: http://pro.casa.abril.com.br/group/cronicasdoouroverde/forum/topics/juazeiro-ziziphus-joazeiro-1?xg_source=activity. Acesso em: 12 set. 2019.

BRASEQ. 2011. Refratometria em sucos, geleias e sucos. Disponível em: <http://braseq.blogspot.com/2011/06/brix.html>

BRASIL. Portaria N° 65, 23 de Abr. 2008, Diário Oficial da União, Brasília, 24 Abr., 2008.

- BRITO, K. L.; OSUÑA, J. T. A. Influência de Diferentes Substratos na Germinação de Sementes de *Ziziphus joazeiro* Mart., *Rhamnaceae*. *Sitientibus Série Ciências Biológicas* 5 (2): 63-67. 2005.
- CAGNIN, C., Lima, M. S., SILVA, R. M., SILVA, M. A. P., PLÁCIDO, G. R., FREITAS, B. S. M., & Oliveira, D. E. C. (2017). Garlic: Kinetic drying and thermodynamic properties. *Bioscience Journal*, 33(4), 905-913. <http://dx.doi.org/10.14393/BJ-v33n4a2017-36886>.
- CAIRES, E. F.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. Correção da acidez do solo, crescimento radicular e nutrição do milho de acordo com a calagem na superfície em sistema plantio direto. Ponta Grossa, 2002.
- CAMICIA, Rafaela Greici da Motta; CHRIST, Divair, COELHO, Silvia Renata Machado , Camicia, Ricardo Fernando da Motta. Modelagem do processo de secagem de sementes de feijão-caupi. *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 28, n. 3, p. 206 – 214, jul. – set., 2015.
- CAMPOLINA, Gabriela Aguiar. Elaboração de fermentados alcoólicos de jabuticaba conduzidos com leveduras livres e imobilizadas. 2018. 117f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos- Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. Diamantina- MG, Brasil.
- CAMPOS, Luanda Maria Abreu Silva de. Estudo dos parâmetros fermentativos na obtenção de aguardente de mel. 2011 83f. Tese (Doutorado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia Industrial–, Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2016.
- CANCELIER, A.; CAPELETTO, C.; PEREIRA, B. A.; TODESCATO, D.; COSTELLI, M. C. SILVA, A.; LOPES, T. J. Influência de parâmetros de processo na obtenção de bebida fermento-destilada de uva-japão (*Hoveniadelphicis thunberg*). *Brazilian Journal of Food Technology*. Campinas, v.16, n.1, p.59-67, jan/mar. 2013.

- CANUTO, Marcus Henrique. Influência de alguns parâmetros na produção de cachaça: linhagem de levedura, temperatura de fermentação e corte do destilado. 2013. 119f. Tese (Doutorado em Ciências- Química)- Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.
- CARDOSO, M. G. Produção de aguardente de cana. 3ª ed. Lavras: Editora UFLA, v. 340, ISBN: 9788581270272, 2013.
- CARDOSO, Maria das Graças; CAMPOS, Gustavo Azevedo et al. Cachaça: Qualidade e Produção. 2007. Disponível em http://www.editora.ufla.br/BolExtensao/pdfBE/bol_07.pdf Acessado em: 02 setembro.2011.
- CARVALHO, Paulo Ernani Ramalho. Circular Técnica 139. Colombo, PR Novembro, 2007. Juazeiro Ziziphus joazeiro. ISSN 1517-5278. Embrapa. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPF-2009-09/42434/1/Circular139.pdf>> Acesso em: 28 de julho de 2015.
- CASTILHO, L.G.; ALCANTARA, B.M.; CLEMENTE, E. (2014). Desenvolvimento e análise físico-química da farinha da casca, da casca in natura e da polpa de banana verde das cultivares maçã e prata. Revista E-xacta 7 (2): 07-114.
- CASTRO, Deise Souza de; SILVA, Luzia Marcia de Melo ; MOREIRA, Inácia dos Santos; SOUSA, Francinalva Cordeiro de; SILVA, Wilton Pereira da; ALMEIDA, Francisco de Assis Cardoso. Análise e descrição matemática da secagem de polpa de taturubá (*Pouteriamacrophylla (lam.) eyma.*) em camada fina. ENGEVISTA, V. 18, n. 2, p. 309-317, Dezembro 2016.
- CASTRO, D. S; SOUSA, E. P.; NUNES, J. S.; SILVA, L. M. M; MOREIRA, I. S.; 2014. Descrição cinética de secagem da polpa de jaboticaba usando modelos empíricos. Revista verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 9, n. 2, p. 117-120.

- CAVALCANTE, P. M. M.; SILVA, R. L. FREITAS, J. J. R.; FREITAS, J. C. R.; FILHO, J. R. F. Proposal of preparation and characterization of esters: an undergraduate experiment of organic analysis. *Educación Química*. v. 26, n. 4, 2015.
- CAVALCANTI, M. T.; SILVEIRA, D. C.; FLORÊNCIO, I. M.; FEITOSA, V. A.; ELLER, S. C. W. S. Obtenção da Farinha do Fruto do Juazeiro (*Ziziphus Joazeiro*Mart.) e Caracterização Físico-Química. Mossoró. *Revista Verde de Agroecologia*, v. 6, n. 1, p. 220-224, jan./mar., 2011.
- CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; DUARTE, M. E. M., ALMEIDA, F. A. C. Tecnologia de armazenamento em sementes. Campina Grande, Área de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas da Universidade Federal de Campina Grande, 2006. 402p.
- CLAYTON C.D. SOUZA, H.K. DIAS, R.R.P. COELHO , T.J.S. COELHO,S. de Sousa. Potencial da utilização do melão amarelo (*Cucumis melo L.*), na produção de bebida destilada. XXV Congresso de Ciência e Tecnologia de Alimentos – Gramado, RS, 24 a 27 de outubro de 2016.
- CORAZZA, M. L.; RODRIGUES, D. G.; NOZAKI, J. Preparação e caracterização do vinho de laranja. *Quím. Nova*, v. 24, n. 4, p. 449-452, 2001.
- CORRÊA, Ana Carolina. Qualidade da bebida destilada a partir do mosto combinado de malte de cevada e caldo cana-de- açúcar. 2015. 120f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia de Alimentos) – Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, 2015.
- CORRÊA, P. C., BOTELHO, F. M., OLIVEIRA, G. H. H., GONELI, A. L. D., RESENDE, O., & Campos, S. C. (2011). Mathematical modeling of the drying process of corn ears. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 33(1), 575-581.
- CORRÊA, Paulo Cesar; OLIVEIRA, Gabriel Henrique Horta; BOTELHO, Fernando Mendes; GONELI, André Luis Duarte; CARVALHO, Fábila Martins. Modelagem matemática e determinação das propriedades termodinâmicas do café (*Coffea arabica L.*) durante o processo de secagem. *Rev. Ceres* vol.57 no.5 Viçosa Set./Out. 2010.

- COSTA, A. Juazeiro - Ziziphus joazeiro. 2011. Disponível em: <http://www.naturezabela.com.br/2011/04/juazeiro-ziziphus-joazeiro.html>. Acesso em: 16 set. 2019.
- COSTA, C. F., CORRÊA, P. C., VANEGAS, J. D. B., BAPTESTINI, F. M., CAMPOS, R. C., & Fernandes, L. S. (2016). Mathematical modeling and determination of thermodynamic properties of jabuticaba peel during the drying process. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 20(6), 576-580. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n6p576-580>
- COSTA, LÍLIAN MOREIRA ; RESENDE, OSVALDO ; GONÇALVES, DOUGLAS NASCIMENTO ; OLIVEIRA, DANIEL EMANUEL CABRAL DE. Modelagem matemática da secagem de frutos de crambe em camada delgada. *Biosci. J.*, Uberlândia, v. 31, n. 2, p. 392-403, Mar./Apr. 2015.
- DAMIANI, C.; SILVA, F. A.; AMORIM, C. C. M.; SILVA, S. T. P.; BASTOS, I. M.; ASQUEIRI, E. R.; VERA, R. Néctar misto de cajá-manga com hortelã: caracterização química, microbiológica e sensorial. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, v.13, n.3, p.301-309, 2011.
- DANTAS, C. E. A; SILVA, J. L. A. Fermentado alcoólico de umbu: produção, cinética de fermentação e caracterização físico-química. *HOLOS*, Ano 32, Vol. 02, 2017.
- DANTAS, Francisca Clenilda Pereira; TAVARES, Maria Lucine Rocha; TARGINO, Micaela da Silva , COSTA, André Pereira da , DANTAS, Francisco Odair. Ziziphus joazeiro Mart. - Rhamnaceae: características biogeoquímicas e importância no bioma Caatinga. *Revista Princípios*, n.25, p.1-7, 2014.
- DA SILVA, L.M.R. et al. Quantification of bioactive compounds in pulps and by-products of tropical fruits from Brazil. *Food Chemistry*, v. 143, p. 398-404, 2014.
- DEL BEL, Vanessa de Cássia Mendes. Obtenção e caracterização físico-química e sensorial de fermentado de pêssego. 2016. 56f. TCC (Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia de alimentos)- Curso Superior de Engenharia de Alimentos,

do Departamento de Alimentos – DALIM – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR.

- DE SOUSA, J.L.U ; MONTEIRO; R.A.B. Fatores Interferentes na Fermentação Alcoólica para a Produção de Etanol. Disponível: <https://www.fazu.br/ojs/index.php/posfazu/article/viewFile/471/363>. Acesso: 12 de set, 2019
- DINIZ, Processamento do fruto do juazeiro para obtenção da farinha e do óleo. 2016. 83f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos- Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2016.
- DINIZ, M. de F. F. M. et al. Memento de plantas medicinais - As plantas como alternativa terapêutica: aspectos populares e científicos. João Pessoa: UFPB, 2006.
- DIÓGENES, F. E. P. et al. Pré-tratamento com ácido sulfúrico na germinação de sementes de *Ziziphus joazeiro* Mart. - *Rhamnaceae*. Revista Brasileira de Plantas Mediciniais, Botucatu, v. 12, n. 2, p. 188-194, abr./jun. 2010.
- DUARTE, W. F. et al. Raspberry (*Rubus idaeus* L.) wine: Yeast selections, sensory evaluation and instrumental analysis of volatile and other compounds. Food Research International v. 43, n.9, p. 2303-2314, 2010.
- DUTRA, R.C. Estudo do processo de remoção de Cu²⁺ de cachaça artesanal visando adequação à legislação vigente. 2015. 65f f. Trabalho de Conclusão de curso (Química Tecnológica grau de Bacharel) - Universidade de Brasília, Brasília, 2015.
- EL-DASH, A.; GERMANI, R. Tecnologia de farinhas mistas: uso de farinha mista de trigo e milho na produção de pães. Brasília: EMBRAPA - SPI, 1994. v. 2, 81 p
- FABBRI, A. D. T. Avaliação microbiologia físico-química e sensorial de salada de frutas irradiada pronta para o consumo de imunocomprometidos. Dissertação doutorado em

tecnologia nuclear. São Paulo – SP: Autarquia associada a universidade de São Paulo, 29p. 2014.

FAGUNDES, G. R.; YAMANISHI, O. K. Características físicas e químicas de frutos de mamoeiro do grupo solo comercializado em 4 estabelecimentos de Brasília DF. Revista Brasileira de Fruticultura, v.23, p.541-545, 2001.

FEITOZA, J. V. F.; ARAÚJO, J. F.; QUEIROGA, I. M. B. N.; SANTANA NETO, D. C. O juá e seu potencial diversificativo através da tecnologia de conservação dos alimentos. João Pessoa, Anais Realize editora, 2011.

FARIA, R. Q.; TEIXEIRA, I. R.; DEVILLA, I. A.; ASCHERI, D. P. R.; RESENDE, O. Cinética de secagem de sementes de crambe, Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 16, n. 5, p. 573–583, 2012.

FERNANDES, E. C.; FERREIRA, A. D.; ARAUJO, E. L.; COSTA, E. M.; MOLINARUGAMA, A. J. Insectos visitantes de flores de *Ziziphus joazeiro* Mart.(Rhamnaceae) en una región de Caatinga en el Brasil. Revista Caatinga, v. 26, p. 16-20, 2013.

FERREIRA, CIRO DUTRA. Produção de fermentado de caju com adição de caldo de cana-de-açúcar e estudo cinético da sua fermentação alcoólica. 2019. 39f. TCC (Trabalho de conclusão de curso de graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 14 de junho de 2019.

FERREIRA, Andreça da Silva. Elaboração de fermentado alcoólico de araçá-boi (*Eugenia stipitata*). 2014. 34f. TCC (Trabalho de Conclusão para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos) - Departamento de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Rondônia – UNIR, Ariquemes, 2014.

FONTAN, Rafael da Costa Ilhéu; VERÍSSIMO, Lizzy Ayra Alcântara; SILVA, Wilian Soares, BONOMO, Renata Cristina Ferreira; VELOSO, Cristiane Martins. *CINÉTICA DA FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA NA ELABORAÇÃO DE VINHO DE MELANCIA*. B.CEPPA, Curitiba, v. 29, n. 2, p. 203-210, jul./dez. 2011. Disponível: https://pdfs.semanticscholar.org/0fbb/288a504ffdfde5efa80f297767b251e24a5c.pdf?_

ga=2.9907254.2070500695.1585184457-573746048.1585184457. Acesso em: 10 de ago, 2019.

GARCIA, Graciany. Tratamento de caldo e tipos de fermentos sobre os componentes secundários e qualidade da cachaça de alambique. 2016. 72f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agropecuária)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, 2016.

GONÇALVES, M.S. ; MENDES, N.S.; LANDIM, A.P.M.; NEVES , M.P.; OLIVEIRA, F.C. Elaboração e caracterização físico-química de bebida alcoólica mista de laranja com beterraba. XXV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos. 26 a 27 de outubro de 2016.Gramado/RS.

GONÇALVES, Cleber Miranda. Uso de levedura selecionada em escala piloto para a produção de cachaça de alambique. 2015. 118f. Tese (Doutorado em Biotecnologia) - Programa de Pós-graduação em Biotecnologia da Universidade Estadual de Feira de Santana. Bahia. 2015.

GONELI, A.L.D.; CORRÊA, P.C.; OLIVEIRA, G.H.H.; BOTELHO, F.M. Water desorption and thermodynamic properties of okra seeds. Transactions of the ASAE, 53:191-197. 2010.

GRANELLA, Suian José. Propriedades higroscópicas, cinética de secagem e avaliação fisiológica e fúngica em sementes de trigo ozonizadas durante a secagem. 2018. 121f. Dissertação Mestrado (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola - Universidade Estadual do Oeste Do Paraná - Unioeste. Cascavel – Paraná, Brasil, 2018.

HENRIQUES, Andreia Filipa Francisco. Análise de um Processo Fermentativo para Desenvolvimento de um Produto Alimentar. 2014. 119 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Química)- Instituto Politécnico de Tomar. 2014.

ÍNDICE terapêutico fitoterápico: ITF. Petrópolis: EPUB, 2008.

- JIDEANI VA & MPOTOKWANA SM (2009) Modeling of water absorption of botswana bambara varieties using Peleg's equation. *Journal of Food Engineering*, 92:182–188.
- LAGO-VANZELA, E. S.; RAMIN, P.; UMSZA-GUES, M. A.; SANTOS, G. V.; GOMES, E.; SILVA, R. da. Chemical and sensory characteristics of pulp and peel ‘cajamanga’ (*Spondias cytherea* Sonn.) jelly. *Ciência e Tecnologia dos Alimentos*, v. 31, p. 398-405, 2011.
- LEITE, Daniela Dantas de Farias; SANTOS, Francislaine Suelia dos; SANTOS, Dyego da Costa; LISBÔA, Jemima Ferreira; FERREIRA, João Paulo de Lima; QUEIROZ, Alexandre José de Melo. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.12, n.4. 2017.
- LIMA, Luciana Leite de Andrade; FILHO, Artur Bibiano de Melo. *Tecnologia de Bebidas. e-Tec Brasil. UFRPE/ CODAI*. 2011. Disponível: http://pronatec.ifpr.edu.br/wp-content/uploads/2013/06/Tecnologia_de_Bebidas.pdf . Acesso em: 10 de agosto de 2019.
- LIMA, A.J.; CARDOSO, M.G.; GUERREIRO, M.C.; PIMENTEL, A. Emprego do carvão ativado para remoção de cobre em cachaça. *Química Nova*, v.29, p. 247-250, 2006.
- LORENZI, H.; MATOS, F. J. A. **Plantas medicinais no Brasil**: nativas e exóticas cultivadas. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2002. 512 p.
- MADIGAN, M. T.; MARTINKO, J. M.; PARKER, J. *Microbiologia de Brock*. 12.ed. São Paulo: Prentice Hall, 2016.
- MARTINAZZO, A. P.; CORRÊA, P. C.; Melo, E. C.; BARBOSA, F. F. Difusividade efetiva em folhas de *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf submetidas à secagem com diferentes comprimentos de corte e temperaturas do ar. *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*, v.9, p.68-72, 2007.

- MARTINS, J. J. A.; MARQUES, J. I.; SANTOS, D. C.; ROCHA, A. P. T. Modelagem matemática da secagem de cascas de mulungu. **Bioscience Journal**. v. 30, n. 6, p. 1652-1660, 2014.
- MENDONÇA, Andreza P.; SAMPAIO, Paulo de T. B. ; ALMEIDA, Francisco de A. C.; Ferreira, Raissa F.; Novais, Juliene M. Determinação das curvas de secagem das sementes de andiroba em secador solar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.19, n.4, p.382–387, 2015.
- MONGELO,A.I.,Validação de Método Baseado em Visão computacional para Automação da Contagem de Viabilidade de Leveduras em Indústrias Alcooleiras – Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, Univesidade Católica Dom Bosco, Campo Grande,MG., 2012.
- MORAES, E.J. Valor nutritivo e formas de utilização do resíduo de palmito de pupunha (*Bactris gasipaes*) para ruminantes. [Dissertação apresentada à Pós - graduação do Instituto de Zootecnia]. Nova Odessa Agosto, 2011.
- MORETTI, C. M.; MACHADO, C. M. M. Aproveitamento de resíduos sólidos do processamento mínimo de frutas e hortaliças. 4, 2006, São Pedro. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE PROCESSAMENTO MÍNIMO DE FRUTAS E HORTALIÇAS. **Palestras, Resumos, Fluxogramas e Oficinas...** Piracicaba: USP/ESALQ, 2006. p. 25-32.
- MORO, KARINE INES BOLSON. Desenvolvimento e caracterização de aguardente de frutas a base de polpa de banana (*musa sp.*) e de suco de abacaxi (*Ananas Comusus (L) Merrill*). 2016. 87 f. Dissertação(Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul.
- MOSER, Alexandre de Souza. Efeito da micro-oxigenação na qualidade química e sensorial da cachaça não envelhecida. 2012. 86p. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós Graduação em Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, 2012.

- MUNIZ, Marcelo Barbosa; GOMES, Bruna Gadelha ; ASSIS, Bianca Beatriz Torres de; SILVA, Ícaro Flávio Alves da; SILVA, Joselito Braga da; OLIVEIRA, Erlyvania Débora Henrique de. Acompanhamento cinético e produção do fermentado de seriguela (*Spondias purpurea*). IV Encontro Nacional da Agroindústria 27 a 30 de Novembro de 2018.
- NELSON, D. L.; COX, M. M. Princípios de Bioquímica de Lehninger. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2014.
- OLIVEIRA, Carla da Silva. Avaliação da secagem de frutos do juazeiro (*Ziziphus joazeiro*) em estufa e secador solar. 2018. 52f. TCC (Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos) - Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido - Universidade Federal de Campina Grande, Sumé, Paraíba, Brasil, 2018.
- OLIVEIRA, Franklin Meireles de. Arranjo produtivo de cachaça da região Salinas-MG: Aprendizagem, tecnologia e viabilidade econômica. 2017. 233f. Tese (Doutorado em Agronomia) Faculdade de Engenharia do Campus de Ilha Solteira – UNESP. 2017.
- OLIVEIRA, Emanuel Neto Alves de; FERNANDES, Antônia Victória; Freitas, Érica Milô de; ROCHA, Felipe; FEITOSA, Bruno Fonseca; FREITAS, Pedro Victor Crescêncio de. Cinética de fermentação de fermentado alcoólico misto de água de coco e tamarindo. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia- CONTECC'2016. Foz do Iguaçu- PR, 29 de agosto a 1 de setembro de 2016.
- OLIVEIRA, Érica Resende de. Desenvolvimento de bebida alcoólica fermentada à base de jambolão e caldo de cana-de-açúcar. 149f. (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Programa de Pós- Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, 2015.
- OLIVEIRA, L. P. S.; CAMPELO, D. C. L. A.; CRUZ FILHO, I. J. ; MARQUES, O. M. Desenvolvimento de Bebidas Fermentadas De Ciriguela E Cupuaçu: Estudo Cinético, Análises Cromatográfica E Sensorial. XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química. vol. 1 n. 2, fevereiro 2015.

OLIVEIRA, Gabriel Henrique Horta de; ARAGÃO, Dayane Mayara Santos; OLIVEIRA, Ana Paula Lelis Rodrigues de; SILVA, Marley Garcia; GUSMÃO, Anne Caroline Araújo. Modelagem e propriedades termodinâmicas na secagem de morangos. *Brazilian Journal of food Technology*. Campinas, v. 18, n. 4, p. 314-321, out./dez. 2015.

Oliveira, C. A., Souza, A. C. J., Santos, A. P. B., Silva, B. V., Lachter, E. R., & Pinto, A. C. (2014). Síntese de ésteres de aromas de frutas: um experimento para cursos de graduação dentro de um dos princípios da química verde. *Revista Virtual de Química*, 6(1), 152-167.

OLIVEIRA, Daniel Emanuel Cabral de; RESENDE, Osvaldo ; CHAVES, Tarcísio Honório; SOUZA, Kelly Aparecida; SMANIOTTO, Thaís Adriana de Souza. Propriedades termodinâmicas das sementes de pinhão manso. *Biosci. J.*, Uberlandia, v. 30, supplement 1, p. 147-157, Jun/2014.

OLIVEIRA, Déborah de Sousa; RODRIGUES, Jéssica Cristina Freitas; PERES, Daiane Sousa; MESQUITA, Abner Alves; CAVALCANTE, Maisa Dias; SANTOS, Priscila Alonso dos. Avaliação físico-química da farinha de entrecasca da melancia. *Tecnologia e Ciência Agropecuária*, João Pessoa, v.12.n.3, pg.63-64, setembro de 2018.

OLIVEIRA, Sônia Paula Alexandrino de. Níveis de congêneres, carbamato de etila e outros contaminantes em rums e uísques de consumo popular no Brasil. 2012. 87p. Dissertação de Mestrado (Mestre em Ciências e Tecnologia de Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife, 2012.

OLIVEIRA, G. H. H.; CORRÊA, P. C.; ARAÚJO, E. F.; VALENTE, D. S. M.; BOTELHO, F. M. Desorption isotherms and thermodynamic properties of sweet corn cultivars (*Zea mays* L.). *International Journal of Food Science and Technology*, Londres, v. 45, n. 3, p. 546-554, 2010. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.2009.02163.x>.

PARENTE, G. D. L; ALMEIDA, M. M.; SILVA, J. L. SILVA, C. G.; ALVES, M. F. Cinética da produção do fermentado alcoólico de abacaxi ‘pérola’ e caracterização da

- bebida. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, Mossoró – RN, v. 9, n. 2, p. 230 - 247, abr./jun. 2014.
- PARK, Kil Jin Brandini; PARK, Kil Jin; ALONSO, Luis Felipe Toro; CORNEJO, Félix Emilio Prado; FABBRO, Inácio Maria Dal. SECAGEM: FUNDAMENTOS E EQUAÇÕES. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v.16, n.1, p.93-127, 2014.
- PAZZINI, Igor Artur Eller. Desenvolvimento de mally: bebida alcoólica fermentada à base de jambo-vermelho (*Syzygium malaccense*). TCC (Trabalho de Conclusão de Curso de Bacharel em Engenharia de Alimentos) - Curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). NATAL/RN 2019.
- PÊ, P. R.; CARNEIRO, G. G; PÊ, F. R.; DE CASTRO, D. S.; SILVA, D. R. S e MARQUES, L. F. Secagem de polpa de caqui pelo método de camada de espuma. HOLOS, Ano 32, Vol. 4, 2016.
- PEREIRA, A. S.; COSTA, R. A. S.; LANDIM, L. B.; SILVA, N. M. CREIS.M. F. T. Produção de fermentado alcoólico misto de polpa de açaí e cupuaçu: aspectos cinéticos, físico-químicos e sensoriais. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano Guanambi, BA, 2013.
- PEREIRA, N.E.; CARDOSO, M.G.; AZEVEDO, S.M.; MORAIS,A.R.; FERNADES, W.; AGUIAR, P.M. Compostos secundários em cachaças produzidas no estado de Minas Gerais. Ciência Agrotécnica, Lavras, v.27, n.5, p.1068 – 1075, 2003.
- PINHEIRO, Ana Paula Guedes. Preparo e características de produtos oriundos da fermentação alcoólica e acética do cupuaçu “*Theobroma grandiflorum* SCHUM”. 2015. 56f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia e Recursos Naturais da Amazônia) - Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia e Recursos Naturais da Amazônia- Universidade do Estado do Amazonas (UEA), Manaus, AM, Brasil, 2015.
- PINTO, Letícia Cappuccelli; ZAULI, Carla; AGUIAR-OLIVEIRA, Elizama; MALDONADO, Rafael R. Estudo da fermentação alcoólica de frutas tropicais. XX

SINAFERM. XX Simpósio nacional de bioprocessos. XI Simpósio de hidrólise enzimática de biomassa 01 a 04 de setembro de 2015, Fortaleza, Ceará, Brasil.

PINTO, S. A. A. Processamento mínimo de melão tipo Orange Flesh e de melancia ‘Crimson Sweet’. Jaboticabal, 2002. 120 p. Dissertação - (Mestrado em Fitotecnia), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”.

PIRES, T.P.R.S; ALMEIDA, L.S. ; PEREIRA, E.S; Carmo, I.C.L. parâmetros físico-químicos do fermentado de caju (*Anacardium occidentale L.*) Produzido na fazenda cajucoco. XXV Congresso de Ciência e Tecnologia de Alimentos – Gramado, RS, 24 a 27 de outubro de 2016.

RAMALHO, Wênnya Joyce Carneiro Rodrigues. Análise da cinética de secagem da batata-doce (*Ipomea batatas L.*) por diferentes técnicas de secagem. 2018. 89f. TCC (Trabalho de Conclusão de Curso de Bacharel em Engenharia de Materiais) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Paraíba, Brasil. 2018.

REIS, R. C.; CORRÊA, P. C.; DEVILLA, I. A.; SANTOS, E. S.; ASCHERI, D. P. R.; SERVULO, A. C. O.; SOUZA, A. B. M. 2013. Drying of yam starch (*Discorea ssp.*) and glycerol filmogenic solutions at different temperatures. LWT - Food Science and Technology, v. 50, n. 2, p. 651–656.

RIBEIRO. F.A.M. Fermentação Alcoólica. MóduloII, Processamento na indústria sucroalcooleira. Apostila. Uberaba: FAZU. 2010

ROCHA, A. S. Produção e avaliação físico-química da aguardente do fruto da palma forrageira (*Opuntia ficus – indica Mill.*). Campina Grande: UFCG/CTRN, 2008. 76p. (Dissertação de Mestrado).

RODOVALHO, Renato Souza; DA SILVA, Hellismar Walkson; SILVA, Isneider Luiz; ROSSETTO, Claudia Antonia Vieira. Cinética de secagem dos grãos de pimenta bode. Global Science Technology, Rio Verde, v.08, n.02, p.128 – 142, mai/ago. 2015.

- ROESLER, R., CATHARINO, R. R., MALTA, L. G., EBERLIN, M. N., PASTORE, G. Antioxidant activity of *Caryocar brasiliense* (pequi) and characterization of components by electrospray ionization mass spectrometry. *Food Chemistry* v.110, p. 711–717, 2017.
- SANTOS, Dyego da Costa ; Leite, Daniela Dantas de Farias ; Lisbôa, Jemima Ferreira ; Ferreira, João Paulo de Lima ; Santos, Francislaine Suelia dos ; Lima, Thalys Leandro Bezerra de ; Figueiredo, Rossana Maria Feitosa de ; Costa, Tiago Nascimento da . Modelagem e propriedades termodinâmicas da secagem de fatias de acuri. *Braz. J. Food Technol.*, Campinas, v. 22, 2019.
- SANTOS, Ana Paula Da Silva Andrade. **Determinação do °Brix**. Universidade Federal do Piauí - UFPI Centro de Ciências da Saúde - Departamento de Nutrição, Teresina – PI. novembro de 2016. 11 pgs. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/25837706/determinacao-do-brix>. Acesso em: 17 de novembro de 2018.
- SANTOS, Francislaine Suelia dos; LEITE, Daniela Dantas de Farias; FIGUEIRÊDO, Rossana Maria Feitosa de; QUEIROZ, Alexandre José de Melo. Modelagem matemática da cinética de secagem da romã. *Revista Espacios*, v. 38, n.52, 2017. Pág. 27. 2017.
- SANTOS, Yvana Maria Gomes dos. Desenvolvimento e caracterização de fermentado alcoólico de jabuticaba. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)- Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2016.
- SANTOS, D. C.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; OLIVEIRA, E. N. A. Cinética de secagem de farinha de grãos residuais de urucum. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 17, n. 2, p. 223-231, 2013b.
- SILVA, Deyner Damas Aguiar; VESPUCCI, Igor Leonardo; DEVILLA, Ivano Alessandro. Modelagem matemática das curvas de secagem de sementes de maracujá ‘brs’ pérola do cerrado. V.5 N.2 (2018): Científic@ - Multidisciplinary Journal - ISSN 2358-260X.

Disponível em: <file:///C:/Users/Rogério/Downloads/2708-Texto%20do%20artigo-8599-2-10-20180515.pdf> Acesso em 06 de novembro de 2019.

SILVA, Isneider L.; SILVA, Hellismar W. da.; CAMARGO, Fernando R. T. de.; FARIAS, Hiago F. L. de. FREITAS, Elaine de F. M. Secagem e difusividade de sementes de melão. *Revista de Ciências Agrárias* vol.41 n.2 Lisboa jun. 2018.

SILVA, Elaine Cristina Oliveira da. 2017. 68f. Influência do flavedo e da maceração nas características físico-químicas da farinha da casca de maracujá. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2017.

SILVA, José Barros da; MOURA, Maria de Fátima Vitória; SILVA, Nkarthe Guerra ARAÚJO, Talita Raniely da Costa; BARBOSA, Idiana de Macêdo. Caracterização físico-química e composição centesimal e mineral do fruto do juazeiro (*Ziziphus joazeiro* MART.). *ENCICLOPÉDIA BIOSFERA*, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.14 n.25; p. 2017.

SILVA, Rodolfo Benedito; SILVA, Fabrício Schwanz; PORTO, Alexandre Gonçalves; PILONETTO, Alessandro Alves. Estudo da cinética de secagem de polpa de carambola. *Revista Brasileira Tecnologia Agroindustrial*, v.10, n.2, 2016.

SILVA, H. W., Rodovalho, R. S., Velasco, M. F., Silva, C. F., & Vale, L. S. R. (2016). Kinetics and thermodynamic properties related to the drying of 'Cabacinha' pepper fruits. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 20(2), 174-180. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n2p174-180>

SILVA, F. de A. S. e.; AZEVEDO, C. A. V. de. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. *Afr. J. Agric. Res*, v.11, n.39, p.3733-3740, 2016. DOI: 10.5897/AJAR2016.11522.

SILVA, Luzia Marcia de Melo; SOUSA, Francinalva Cordeiro de; SOUSA, Elisabete Piancó de; Cavalcanti MATA, Mário Eduardo Rangel Moreira; DUARTE, Maria Elita Martins. Modelos de predição da cinética de secagem dos grãos de guandu. *Braz. J. Food Technol.*, Campinas, v. 17, n. 4, p. 310-318, out./dez. 2014.

- SILVA, L. R. et al. Caracterização de frutos de cinco acessos de juazeiro (*Ziziphus joazeiro* Mart.). *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, v. 13, n. 1, p. 15-20, 2011.
- SILVA, Jonas Luiz Almada da; DANTAS, Dayene Louyse Lírio; GASPARETO, Odisséia Carla Pires;. Utilização de abacaxi para elaboração de vinhos: avaliação físico química e aceitabilidade. *Holos*, Ano 26, Vol. 3. 2010.
- SILVA, Clóvis G. Otimização do processo de produção da aguardente de algaroba e aproveitamento dos resíduos sólidos em produtos alimentares. 2009. 219 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Pós-Graduação em Engenharia de Processos. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.
- SILVA, Adriano Sant'ana; GURJÃO, Kátia Cristina de Oliveira; ALMEIDA, Francisco de Assis Cardoso; BRUNO, Riselane de Lucena Alcântara; PEREIRA, Walter Esfrain. Desidratação da polpa de tamarindo pelo método de camada de espuma. *Revista Ciência e Agrotecnologia* vol.32 n.6 Lavras Nov./Dec. 2008.
- SOUSA, Ramon Viana de; CAVALCANTI MATA, Mario Eduardo R.M. ; DUARTE, Maria Elita Martins; ALMEIDA, Renata Duarte; ROSA, Maria Eduarda Cavalcanti. Análise da cinética de secagem em camada fina do arroz vermelho em casca. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, v.18, n. Especial, p. 517-529, 2017.
- SOUSA; Felipe Almeida de; ANDRADE, Ednilton Tavares de; FIGUEIRA, Vitor Gonçalves; D'ANDREA, Elisabeth de Moraes; FILHO, Luiz Carlos Corrêa. Estudo da cinética de secagem, contração volumétrica e análise da difusão líquida do morango (*Fragaria* sp.). *Engevista*, V. 16, n. 1, p.8-18 Março 2014.
- SOUSA, F. C. de; SILVA, L.M de M; CASTRO, D.S. de; NUNES, J.S; SOUSA, E. P de. **Propriedades Físicas e Físico-Químicas da Polpa de Juazeiro**. *Revista Verde* (Mossoró – RN - BRASIL), v. 8, n. 2, p. 68 - 71, abr - jun, 2013.

- SOUSA, K. A.; Resende, O.; CHAVES, T. H.; COSTA, L. M. Cinética de secagem do nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.). *Revista Ciência Agronômica*, v. 42, n. 4, p. 883-892, 2011.
- SOUZA, Leandro Marelli de. Qualidade e identidade das cachaças produzidas na região norte fluminense – RJ . 2008. 145f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes – RJ novembro DE 2008.
- SOUZA, I. A. Produção de aguardente de mandioca utilizando o fungo *Aspergillus oryzae* para liquefação e sacarificação do amido. 2014. 45 f., Monografia (Bacharelado em Farmácia), Universidade de Brasília, Brasília, 2014.
- SOUZA, V. R.; PEREIRA, P. A. P.; QUEIROZ, F.; BORGES, S. V.; CARNEIRO, J. D. S. Determination of bioactive compounds, antioxidant activity and chemical composition of Cerrado Brazilian fruits. *Food Chemistry*, v. 134, n. 1, p.381-386, 2012.
- STEINLE. Influencia da cepa de *Saccharomyces cerevisiae* cinética de fermentação do vinho . Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR Campus Ponta Grossa - Paraná - Brasil ISSN: v. 01, n. 01: p. 30-36, 2013.
- STORCK, Cátia Regina; BASSO, Cristiana; FAVARIN, Fernanda Reis; RODRIGUES, Alessandra Cristina. Qualidade microbiológica e composição de farinhas de resíduos da produção de suco de frutas em diferentes granulometrias. *Brazilian Journal. Food Technology.*, Campinas v. 18, n. 4, p. 277-284, out./dez. 2015.
- TÁBUA, Manuel Carlos Minez. Estudo comparativo de aguardentes moçambicanas e brasileiras. 2018. 153f Tese (Doutorado em Agroquímica) - Programa de Pós-Graduação em Agroquímica da Universidade Federal de Lavras. 2018.
- TEIXEIRA, Aldo Santos; ANDRADE, Romário Oliveira de; LIMA, Gustavo Santos de; SILVA, Joalisson Gonçalves da; CARDOSO, Ricardo Luís. ELABORAÇÃO E AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE DE FERMENTADO ALCÓOLICO DE MARACUJÁ. 1º Fórum de Inovação e Desenvolvimento de Novos Produtos

Alimentícios. 2014. Disponível: <file:///C:/Users/Rogério%20Silva/Downloads/2829-9296-1-PB.pdf>. Acesso em: 23 de set. de 2019.

TELIS VRN, Gabas AL, Menegalli FC & Telis-Romero J (2000) Water sorption thermodynamic properties applied to persimmon skin and pulp. *Thermochimica Acta*, 343:49–56.

TESSARO, Dinéia; LARSEN, Andrea Christina; DALLAGO, Rose Cristina; DAMASCENO, Simone Gomes; SENE E SILVA, Luciane; COELHO, Renata Machado. Avaliação das fermentações alcoólica e acética para produção de vinagre a partir de suco de laranja. *Acta Scientiarum. Technology Maringá*, v. 32, n. 2 p. 201-205, 2010.

TORRES NETO, A. B.; SILVA, M. E.; SILVA, W. B. SWARNAKAR, R.; SILVA F. L. H. Cinética e caracterização físico-química do fermentado do pseudofruto do caju (*Anacardium occidentale* L.). *Química Nova*, v.29 n.3, p.489-492, 2006.

TRINDADE, Cristina Ramos. QUANTIFICAÇÃO E REMOÇÃO DE ÍONS COBRE EM CACHAÇAS. 2017. 58f. TCC (Trabalho de conclusão de curso de graduação em Química) - Universidade Federal da Fronteira Sul. Cerro Largo, 2017.

VENTURINI FILHO, W. G., MENDES, B. P.; Fermentação alcoólica de raízes tropicais. In: CEREDA, M. P. (Coord.). *Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas Latino Americanas*. São Paulo: Fundação Cargill, 2003, v. 3, cap. 19, p. 530-575. (Série Culturas de tuberosas amiláceas Latino Americanas).

VIEIRA, D.C.F; PEREIRA, D.C.S; FREITAS, J. M; CAMPOS, A. N. R; MARTINS, M. L; MARTINS, J. M; SILVA, C. A. S. Produção de Fermentado alcoólico de juçai (*Euterpe edulis Martius*). XXV Congresso de Ciência e Tecnologia de Alimentos – FAURGS - Gramado, RS, 24 a 27 de outubro de 2016.

VIEITES, R. L. et al. Caracterização físico-química, bioquímica e funcional da jabuticaba armazenada sob diferentes temperaturas. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 33, n. 2, p. 362-375, 2011.

WEBER, Caroline Trevisan. Produção, caracterização e avaliação econômica de destilados de batata-doce. 2017. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS, 2017.

ZACARONI, L. et al. Caracterização e quantificação de contaminantes em aguardentes de cana. *Quim. Nova.*, Belo Horizonte. v. 34, n. 2, p. 320-324, ago.- nov. 2011.

ZINNAI, A.; VENTURI, F.; SANMARTIN, C.; ANDRICH, G. The kinetics of alcoholic fermentation by two yeast strains in high sugar concentration media. *J. Bioprocess. Biotech.*, v. 3, n. 2, p. 1-5, 2013.