

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA GOIANO - CAMPUS RIO VERDE DIRETORIA
DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

DESENVOLVIMENTO DE NOVO INGREDIENTE A
PARTIR DE COPRODUTOS DE CAJU-DE-ÁRVORE
DO CERRADO (*Anacardium othonianum Rizz*) E DE
MILHO (*Zea mays*)

Discente: Tainara Leal de Sousa
Orientadora: Prof.^a Dr.^a Mariana Buranelo Egea
Coorientador: Prof. Dr. Marco Antônio Pereira da Silva

Rio Verde - GO
Agosto – 2019

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS

DESENVOLVIMENTO DE NOVO INGREDIENTE A
PARTIR DE COPRODUTOS DE MILHO (*Zea mays*) E
CAJU-DE-ÁRVORE-DO-CERRADO (*Anacardium
othonianum Rizz*)

Discente: Tainara Leal de Sousa
Orientadora: Prof.^a Dr.^a Mariana Buranelo Egea

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, no Programa de Pós-graduação em Tecnologia de Alimentos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde – Linha de pesquisa: Inovação e desenvolvimento de produtos a partir de frutos nativos, com ênfase em frutos do Cerrado

Rio Verde - GO
Agosto – 2019

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

SSO725

d

Sousa, Tainara Leal

Desenvolvimento de novo ingrediente a partir de coprodutos de caju-de-árvore do cerrado (*Anacardium Othonianum* Rizz) e de milho (*Zea mays*). / Tainara Leal Sousa; orientadora Mariana Buranelo Egea; coorientador Marco Antônio Pereira Silva. -- Rio Verde, 2019.

79 p.

Dissertação (Mestrado em Programa de Pós Graduação em Tecnologia de Alimentos) -- Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2019.

1. Bioprocessamento. 2. Fermentação em estado sólido. 3. Farinha. 4. Secagem. 5. *Rhizopus oligosporus*. I. Egea, Mariana Buranelo, orient. II. Silva, Marco Antônio Pereira, co-orient. III. Título.



TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese | <input type="checkbox"/> Artigo Científico |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia – Especialização | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input type="checkbox"/> TCC - Graduação | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Tainara Leal de Sousa

Matrícula: 2017202330740056

Título do Trabalho: DESENVOLVIMENTO DE NOVO INGREDIENTE A PARTIR DE COPRODUTOS DE CAJU-DE-ÁRVORE DO CERRADO (*Anacardium othonianum* Rizz) E DE MILHO (*Zea mays*)

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 02/11/2019

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não
O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde de Goiás, 28/10/2019.

Local Data

Tainara Leal de Sousa

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

Mariana Buranelo Lima
Assinatura do(a) orientador(a)

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

DESENVOLVIMENTO DE NOVO INGREDIENTE A
PARTIR DE COPRODUTOS DE CAJU-DE-ÁRVORE DO
CERRADO (*Anacardium othonianum* Rizz) E DE MILHO
(*Zea mays*)

Autora: Tainara Leal de Sousa
Orientadora: Mariana Buranelo Egea

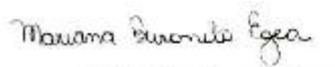
TITULAÇÃO: Mestre em Tecnologia de Alimentos – Área de Concentração
em Tecnologia e Processamento de Alimentos.

APROVADA em 30 de agosto de 2019.


Dr. Lismaira Gonçalves Catxeta Garcia
Avaliadora externa
IF Goiano/Rio Verde


Dr. Kelly Aparecida de Sousa
Avaliadora externa
IF Goiano/Rio Verde


Dr. Marco Antônio Pereira da Silva
Avaliador interno
IF Goiano/Rio Verde


Dr. Mariana Buranelo Egea
Orientadora
IF Goiano/Rio Verde


Dr. Katiuchia Pereira Takeuchi
Presidente da banca
UFMT

AGRADECIMENTOS

Toda honra e toda glória a ti senhor, por me dar força, persistência e sabedoria para lutar por meus objetivos, apesar das dificuldades encontradas na caminhada.

Aos meus pais Delvani e Gilmar por sempre me apoiarem e estarem ao meu lado me dando forças, amo vocês. A minha irmã Natália, meus sobrinhos Maria Thereza, João Eduardo, cunhado, avó Daura, minhas tias, tios, primos a todos familiares e amigos, obrigada por compreenderem minha ausência nestes anos, de dedicação e aprendizado, obrigada meus amores por sempre estarem ao meu lado. Ao meu anjo Pedro Lucas que se tivesse entre nós teria muito orgulho dessa madrinha, amo você meu príncipe e a todos meus afilhados que tiveram uma madrinha ausente.

À minha orientadora, Mariana Buranelo Egea, primeiramente por ter aceitado me orientar e enfrentar as dificuldades que iriam vir, você é uma das minhas melhores escolhas. Obrigada pela paciência em compreender minhas dificuldades e com esse meu jeito de ser, por toda orientação na realização do trabalho, por ser um grande exemplo de profissional e por confiar em mim mais que eu mesma. Você é aquela profissional que todos ao seu redor almejam ser. Sorte de quem tem a oportunidade de te conhecer, conviver e trabalhar com você. Obrigada pelos dois anos de muito ensinamentos e companheirismo.

As meus amigos-irmãos Débora, Márjorie, Jéssyca, Richard, Oscar, Júlia, Jordana e Raianne por entenderem a ausência dessa amiga e por sempre me apoiarem e me acalmarem nos dias de angustias, vocês sabem o quanto são especiais, obrigada por sempre serem meus companheiros e estarem comigo.

A Bheatriz Moraes, ahhh Bia, obrigada pelas palavras de incentivo, por me apresentar sua família maravilhosa, ao Sr. João e Dona Lurdinha, grandes incentivadores da pesquisa de frutos do cerrado do IFGoiano-Campus Rio Verde, obrigada por cuidarem de mim nos dias de coleta, por mais seres humanos como vocês. Gratidão de ter tido a oportunidade de conhecê-los.

Ao Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde e ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos, pelo auxílio e contribuições para minha formação acadêmica e profissional. A todos os funcionários e discentes que no dia a dia tornaram a jornada menos árdua, pelas palavras de carinho e de incentivo, por acompanharem em parte de projeto, seja em laboratórios e na estrada fazendo coleta.

A FAPEG e CNPq, pela disponibilização de bolsa de estudos e apoio às pesquisas durante o período da pós-graduação.

Em especial gostaria de agradecer ao Dr. Marco Antônio, por ter me orientado no meu estágio em docência, por seu incentivo e colaboração sempre que precisei. Ao Dr. Osvaldo Resende, por me permitir utilizar o seu Laboratório de Pós-Colheita de Produtos Vegetais e pela sua equipe maravilhosa que foram fundamentais para execução de parte desse projeto, em especial a Dra. Kelly Aparecida de Sousa, por sua disponibilidade em transferir seu conhecimento e pela paciência.

Durante a caminhada encontramos pessoas que se tornam muitos especiais, vocês minhas “dragãozinhas” o meu muito obrigada. A Daiane Santos (por me apoiar, orientar, adotar como irmã, pelos dias de lazer e me receber no seu lar, você e Dafne são muito especiais pra mim), Adrielle Borges (pelos ensinamentos, paciência com meus dramas e pelo ombro amigo quando pensei em desmoronar e por virar a noite fazendo cinética secagem), Isabelle Lamas (obrigada por dividir sua casa comigo, ouvir meus lamentos e passar a noite fazendo secagem e por sempre me apoiar miiga), Raillany (sempre prestativa, me ajudando, orientando e passando a noite fazendo secagem e sendo amiga em todas as horas), Thaísa Alves (minha filhota, sempre comigo, nas coletas, análises, ouvindo meus desabafos e me incentivando), Silvelly, Ariadne, Thayanara, Daiane Peres, Danielle, Jeisa (obrigada pelos conselhos, apoio, incentivo, viagens, gargalhadas, obrigada por serem sempre companheiras), Janice, Rafaela, Geovana (por sempre se preocuparem comigo, apoio, carinho e amizade), Corina (por ser minha companheira matinal e de café), Isabelly, Maria Wanessa, Simone, Katiucia, Andrielly, Larissa, Nathália Horrana, Micael, Raquel, Kaique obrigada pelo apoio, incentivo e por me aturarem, todos vocês fazem parte dessa conquista, contem sempre comigo, minha equipe.

OBRIGADA

... aos que secaram minhas lágrimas, riram e choraram comigo, àqueles que aturaram meu estresse. E obrigada principalmente àqueles que dividiram os cafés, delivery much, pão de queijo, broas e chocolates.

GRATIDÃO

... a atenção, o carinho, o desprendimento, ensinamentos de vida, doação, amizade e principalmente por ter chegado onde cheguei e com os seres de luz que me acompanharam até aqui.

BIOGRAFIA DA AUTORA

Tainara Leal de Sousa, filha de Gilmar Francisco de Sousa e Delvani Leal de Sousa, nasceu no dia 07/10/1992 na cidade de Santa Helena de Goiás. Estudou na Escola Paroquial de 1º e 2º Graus do ensino fundamental ao ensino Médio. Concluiu a graduação em Bacharel em Engenharia de Alimentos no Instituto Federal Goiano (IFGoiano – Campus Rio Verde) em 2016, durante a graduação participou Programa de Iniciação Científica Voluntário (PIVIC) na área de produtos Naturais e aluna de (PIBIC) na área de Microbiologia de Alimentos. Em setembro de 2017 iniciou no mestrado no Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos sob a orientação da professora Dr^a. Mariana Buranelo Egea com conclusão prevista para agosto de 2019.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	4
3 OBJETIVOS	6
3.1 GERAL	6
3.2 ESPECÍFICOS - CAPÍTULO I	6
3.3 ESPECÍFICOS - CAPÍTULO II.....	6
CAPÍTULO 1. DESENVOLVIMENTO DE NOVO INGREDIENTE A PARTIR DE COPRODUTOS DE MILHO (<i>Zea mays</i>) E CAJU-DE- ÁRVORE-DO-CERRADO (<i>Anacardium othonianum Rizz</i>)	7
1. Introdução	9
2. Materiais e Métodos	10
2.1. Material vegetal	10
2.2. Fermentação em estado sólido.....	12
2.3. Análises químicas	13
2.4 Compostos fenólicos e atividade antioxidante	15
2.5 Análise por espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)	16
2.6 Análise Estatística.....	16
3. Resultados e Discussões	17
3.1 Caracterização dos coprodutos	17
3.2 FES de coprodutos utilizando <i>R. oligosporus</i>	20
4. CONCLUSÃO	23
5. AGRADECIMENTOS	23
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23

CAPÍTULO II. Cinética de secagem e qualidade tecnológica de coprodutos fermentados por <i>Rhizopus oligosporus</i>	28
1. Introdução	30
2. Materiais e Métodos	31
2.1. Material vegetal	31
2.2. Fermentação em estado sólido	32
2.3 Cinética de Secagem	33
2.4. Análises químicas	35
2.5 Compostos fenólicos e atividade antioxidante	38
2.6 Análise por espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)	39
2.7 Avaliações tecnológicas da farinha.....	39
2.8 Análise Estatística	41
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
3.1 Cinética de secagem.....	41
3.2 Caracterização química das farinhas.....	49
3.3 Caracterização tecnológica das farinhas	55
4.CONCLUSÃO	58
5. AGRADECIMENTOS	58
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1. Fluxograma de Processamento do Farelo de Milho	10
Figura 2. Caju-de-árvore-do-cerrado (<i>Anacardium othonianum</i> Rizz).....	11
Figura 3. Fluxograma do processamento para obtenção do resíduo sólido de (<i>Anacardium othonianum</i> Rizz).....	12
Figura 4. Espectrofotometria de Infravermelho dos coprodutos de caju-de-árvore-do-cerrado e de milho.....	20

CAPÍTULO II

Figura 1. Ajuste de curvas de secagem dos coprodutos de C100 (A), 75CFM25 (B) e CC (C) sob diferentes temperaturas de 50, 60, 70 e 80°C.	43
Figura 2. Compostos Fenólicos de farinhas secas em temperaturas distintas. ..	52
Figura 3. Gráfico dos teores de atividade antioxidante pelos métodos ABTS, DDPH e FRAP das farinhas secas em temperaturas distintas.	53
Figura 4. Espectros obtidos por Infravermelho das farinhas de C100, C75FM25 e CC a T50, T60, T70 e T80. 100% Farinha de coproduto caju-de-árvore-do-cerrado fermentado (C100), 75% Farinha de coproduto caju-de-árvore-do-cerrado fermentado e 25% Farelo de Milho (C75FM25), 100% Farinha de coproduto caju-de-árvore-do-cerrado (CC).	54

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

- Tabela 1. Tratamentos experimentais da fermentação em estado sólido de coproduto de milho e caju-de-árvore-do-cerrado utilizando *R. oligosporus*.... 13
- Tabela 2. Caracterização química de farelo de milho e do resíduo sólido de caju-de-árvore-do-cerrado..... 17
- Tabela 3. Compostos fenólicos totais e atividade antioxidante de coproduto fermentado usando *R. oligosporus*..... 21

CAPÍTULO II

- Tabela 1. Tratamentos realizados para a produção do produto fermentado. **Erro! Indicador não definido.**
- Tabela 2. Modelos matemáticos utilizados para prever a secagem dos produtos de origem vegetal. 34
- Tabela 3. Coeficientes de determinação (R^2), erros médios relativos (P%) e erro estimado (SE, decimal) para os modelos ajustados para coproduto fermentado (CC) submetidos a secagem a 50, 60, 70 e 80°C. 44
- Tabela 4. Coeficientes de determinação (R^2), erros médios relativos (P%) e erro estimado (SE, decimal) para os modelos ajustados para coproduto fermentado (C100) submetidos a secagem a 50, 60, 70 e 80°C..... 46
- Tabela 5. Coeficientes de determinação (R^2), erros médios relativos (P%) e erro estimado (SE, decimal) para os modelos ajustados para

coproduto fermentado (C75FM25) submetidos a secagem a 50, 60, 70 e 80°C.	48
Tabela 6. Análises químicas das farinhas obtida a partir da fermentação de coprodutos vegetais utilizando R. oligosporus	50
Tabela 7. Análises tecnológicas das farinhas obtida a partir da fermentação de coprodutos vegetais utilizando R. oligosporus ..	Erro! Indicador não definido.

LISTA DE ABREVIACOES

- ABTS - (2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico))
- AOAC - Official Methods of Analysis
- BDA – Batata Dextrose gar
- DPPH - (2,2-difenil-1picril-hidrazila)
- EAF – Equivalente de ácido ferúlico
- EAG – Equivalente de ácido gálico
- ESF – Equivalente de sulfato ferroso
- FES – Fermentaco em estado sólido.
- FM – Farelo de milho
- FMF – Farelo de milho fermentado.
- FRAP – Reduco do ferro
- HMG-CoA redutase - 3-hidroxi-3-metil glutaril coenzima A
- IAL – Instituto Adolfo Lutz
- TPTZ - (2,4,6-Tris(2-piridil) -s-triazina)
- TROLOX - (6-Hidroxi-2,5,7,8-tetrametilchroman-2-ácido carboxílico)
- Brix - Graus Brix
- C - Graus Celsius
- μ - Micro
- a* - Coordenada de cor instrumental
- b* - Coordenada de cor instrumental
- C* - Chroma
- GRAS - Generally Regarded as Safe
- h_{ab} - ângulo hue
- IOC - Instituto Oswaldo Cruz

Kcal - Quilocalorias

L* - Luminosidade

log - Logarítmo

M - Molar

Mg - Miligramas

mL - Mililitros

PGA - Potato Glucose Agar

pH - Potencial hidrogeniônico

RDC - Resolução da Diretoria Colegiada

Rpm Rotações por minuto

RESUMO

SOUSA, T. L. **Desenvolvimento de novo ingrediente a partir de coprodutos de milho (*Zea mays*) e caju-de-árvore-do-cerrado (*Anacardium othonianum* Rizz. 2019.** Dissertação apresentada ao Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos.

Processos de fermentação microbiana foram estabelecidos como ferramenta eficiente para a produção de compostos fenólicos e antioxidantes pela sua relação custo-benefício e vantagens ambientais. O processo fermentativo em estado sólido por fungos filamentosos tem sido amplamente empregado como estratégia biotecnológica na busca de agregar valores aos produtos e coprodutos agroindustriais, principalmente elevando os teores de proteínas e compostos bioativos. Neste estudo foi realizada a caracterização química e quantificação de compostos fenólicos e atividade antioxidante dos coprodutos, a fermentação em estado sólido do fungo *Rhizopus oligosporus* foi avaliada em cinco concentrações de diferentes coprodutos, avaliou-se a diferença entre o teor de compostos fenólicos totais, atividade antioxidante e proteínas, os tratamentos que tiveram melhores resultados nesses parâmetros foram 100% caju-de-árvore-do-cerrado fermentado, 75% caju-de-árvore-do-cerrado e 25% farelo de milho fermentado e 100% de caju-de-árvore-do-cerrado. Após a seleção dos melhores tratamentos foi realizada a cinética de secagem nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80°C em que os modelos que melhores se enquadraram para 100% caju-de-árvore-do-cerrado fermentado, 75% caju-de-árvore-do-cerrado e 25% farelo de milho fermentado e 100% de caju-de-árvore-do-cerrado foram Midilli, Wang Sing e Valcam. As farinhas produzidas avaliadas nas temperaturas em estudo em relação as suas características químicas, tecnológicas e atividade antioxidante e compostos fenólicos fermentação. Conclui-se que houve aumento no teor proteico e na atividade antioxidante e compostos fenólicos dos coprodutos após a fermentação e secagem em que a farinha 100% caju-de-árvore-do-cerrado fermentado obteve os melhores resultados.

PALAVRAS-CHAVE: fermentação em estado sólido, cerrado, farinha, secagem.

ABSTRACT

SOUSA, T.L. Development of a new ingredient from corn (*Zea mays*) and cerrado cashew (*Anacardium othonianum* Rizz. 2019) byproducts. Dissertation presented to the Goiano Federal Institute - Rio Verde Campus - GO, as part of the requirements of the Food Technology Graduate Program.

Microbial fermentation processes have been established as an efficient tool for phenolic and antioxidant compounds production due to their cost-benefit ratio and environmental advantages. The solid-state fermentation process by filamentous fungi has been widely used as a biotechnological strategy to add value to agroindustrial products and byproducts, mainly by increasing protein and bioactive compounds levels. In this study the byproducts chemical characterization and quantification of phenolic compounds and antioxidant activity (ABTS, DPPH and FRAP) were performed. The byproducts solid-state fermentation (FES) of the fungus *Rhizopus oligosporus* was evaluated at five different byproducts concentrations. It was evaluated the difference between the content of total phenolic compounds, antioxidant activity (by ABTS, FRAP and DPPH methods) and proteins, and treatments that had the best results in these parameters were C100, C75FM25 and CC. After the best treatments selection, drying kinetics were performed at 50, 60, 70 and 80 ° C and the flours produced at the studied temperatures were evaluated in relation to their chemical, technological characteristics and antioxidant activity and phenolic fermentation compounds. The results showed increase in protein content and antioxidant activity and phenolic compounds of the byproducts after their fermentation and drying.

KEYWORDS: solid state fermentation, cerrado, flour, drying.

1. INTRODUÇÃO

Existe um crescente interesse no uso de produtos e subprodutos agrícolas, de origem vegetal que estão sendo utilizados para produção de alimentos e para composição de dietas animais (JOANITTI e SILVA, 2013). No Brasil, grande quantidade de coprodutos provenientes de atividades agroindustriais é gerada diariamente. Parte destes coprodutos são aproveitados como ração animal, entretanto, a grande maioria é descartada sem tratamento, resultando na deterioração do meio ambiente e na perda de potenciais matérias-primas (MELO et al., 2011). Coprodutos resultado do processamento de frutas, vegetais, cereais, leguminosas, nozes e sementes são ricos em fibras alimentares, proteínas, vitaminas, minerais e outros compostos bioativos que podem ser recuperados e usados como ingredientes funcionais de valor agregado (HELKAR, SAHOO, PATIL, 2016).

O aproveitamento dos coprodutos é muito limitado, por causa do desconhecimento de sua composição nutricional e a falta de dados sobre o desempenho deles na nutrição e na produção de alimentos (LITZ et al., 2014). O farelo de milho e o resíduo sólido proveniente da produção de caju-de-árvore-do-cerrado (*Anacardium othonianum* Rizz) são coprodutos que podem ser utilizados para enriquecer novos ingredientes.

Na produção de alimentos, o milho pode ser industrializado como pipoca, polenta, tortillas, cereais matinais, salgadinhos, produtos de panificação, farinha de milho, massas, grits cervejeiro, fubá e flocos (HÄNSCH; MENDEL, 2009). Com a expansão do mercado global de milho, há produção de grande quantidade do farelo de milho (FM), que é um coproduto oriundo de partículas do grão através do processamento industrial (moinho seco) ou amido limpo (moinho úmido) (DAS; SINGH, 2015).

Anacardium othonianum Rizz. é nativo do cerrado brasileiro e suas plantas diferem de outros membros comuns do gênero no bioma, pela sua altura que varia de 3 a 4 m (BESSA et al., 2013). Os pequenos pseudofrutos variam em cor de amarelo para vermelho, tipicamente exibem uma forma semelhante a uma pera e a espécie é regionalmente importante como um produto alimentar sazonal (BESSA et al., 2013). *A. othonianum* tem baixo valor agregado em virtude de sua produção sazonal e principalmente porque suas nozes são pequenas e não comerciais, se comparadas a espécie *A. occidentale*. No entanto, do ponto de vista biotecnológico e visando o uso sustentável da biodiversidade, há interesse considerável em espécies economicamente negligenciadas como *A. othonianum* (THIMMAPPAIAH et al., 2009).

O processo de fermentação em estado sólido (FES) representa uma alternativa tecnológica para grande variedade de leguminosas e cereais, ou combinação deles, para melhorar sua qualidade nutricional e obter produtos comestíveis com características sensoriais palatáveis (CUEVAS-RODRÍGUEZ et al., 2004, REYES-MORENO et al., 2004). Uma variedade de materiais lignocelulósicos que são principalmente encontrados em subprodutos agrícolas e de frutas como casca de caju, acácia, casca de sorgo, resíduos de chá, polpa de café, polpa de beterraba, espiga de milho, farelo de trigo, farelo de arroz, farelo de milho, pó de romã, sementes de romã, bagaço de cramberry, entre outros, servem como substratos para a produção de AT (ácido 3,4,5-trihidroxibenzoico) e AE (ácido elágico) utilizando FES (BHANJA DEY et al., 2016).

Durante os processos de fermentação, diferentes enzimas extracelulares são produzidas e simultaneamente utilizadas para a extração / liberação de compostos fenólicos da matriz de substratos em um único processo, juntamente com a produção de novos compostos fenólicos pelo metabolismo secundário de micro-organismos (BHANJA DEY et al., 2016). A fermentação em estado sólido (FES) vem ganhando atenção nos últimos 20 anos no desenvolvimento de bioprocessos industriais, por várias vantagens em relação ao método convencional de fermentação submersa, como a fisiologia particular apresentada pelos fungos neste modo de cultivo e particularmente pela menor necessidade de energia, maior rendimento do produto e menor produção de águas residuais com menor risco de contaminação (BARRIOS-GONZÁLEZ, 2012, THOMAS et al., 2013).

Os fungos filamentosos têm sido usados na produção de alimentos e bebidas fermentados desde os tempos antigos. E, atualmente o uso desses fungos se expandiu para campos biotecnológicos para produzir produtos químicos para serem usados na

fabricação de ingredientes alimentícios, remédios, enzimas e proteínas (SMEDSGAARD, NIELSEN, 2005). O *Rhizopus oligosporus* é um fungo aeróbio, de grau alimentício, que produz ampla gama de enzimas extracelulares, incluindo carboidrases, proteases, lipases e fosfatases (VARZAKAS, 1998). Em outras partes do mundo, há interesse crescente em desenvolver produtos alternativos de “Tempeh” a partir de variedade de substratos, tais como milho (CUEVAS- RODRIGUEZ et al., 2004) e nutrientes de outros produtos de origem vegetal, como o caju-de-árvore-do-cerrado.

Aproveitar os coprodutos que seriam descartados do milho e caju-de-árvore-do-cerrado aliados a fermentação em estado sólido de *Rhizopus oligosporus*, considerando o potencial de nutrientes dos frutos com o fungo, pode garantir a disponibilidade dos coprodutos fermentados no mercado ao longo do ano, oferecendo um produto seco e estável e consecutivamente produção de uma farinha com propriedade funcional.

A secagem tem sido um dos métodos mais amplamente utilizados na preservação de alimentos. O principal objetivo da secagem é reduzir a atividade de água das matérias-primas e prolongar o prazo de validade (LI et al., 2019). O conhecimento das alterações que a secagem induz na composição química do alimento, principalmente sobre os nutrientes de interesse para especificidade de aplicação do material, pode auxiliar na escolha do melhor método de secagem (MICHALSKA et al., 2017). Este método é de suma importância para avaliar o efeito da secagem sobre as propriedades químicas, nutricionais, físicas e funcionais dos alimentos.

O processamento de coprodutos de frutos e vegetais em forma de farinha reduz o volume, pela retirada de água livre pelo processo de secagem ou de liofilização, provocando redução das reações químicas e microbiológica, produzindo desta forma um alimento seguro para consumo humano (SOQUETTA et al., 2016). De acordo com a Legislação Brasileira, farinha é o produto obtido da moagem da parte comestível de vegetais, podendo sofrer processos tecnológicos adequados, e o produto deve ser denominado de farinha seguido do nome do vegetal de origem (BRASIL, 2003). As farinhas de coprodutos são ótimas fontes de nutrientes, apresentando quantidades importantes de proteínas e podem ser facilmente inseridas na alimentação da população, principalmente para pessoas carentes (STORCK et al., 2015) ou que necessitam melhorar sua condição nutricional. Além de serem ricos em nutrientes, aliar o uso dos mesmos como substratos em processos biotecnológicos está relacionado com a conservação ambiental.

2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARRIOS-GONZÁLEZ, J. Solid-state fermentation: physiology of solid medium, its molecular basis and applications. **Process Biochem.**, v. 47, pp. 175-185, 2012.
- BESSA, L. A., GUIMARÃES SILVA, F., ALVARENGA MOREIRA, M., RIBEIRO TEODORO, J. P., & LOUREIRO SOARES, F. A. Growth and nutrient accumulation of *Anacardium othonianum* Rizz. seedlings grown in nutrient solution. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v.73, n.3, pp.301–308, 2013.
- BHANJA DEY, T., CHAKRABORTY, S., JAIN, K. K., SHARMA, A., & KUHAD, R. C. Antioxidant phenolics and their microbial production by submerged and solid state fermentation process: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v.53, pp. 60–74, 2016.
- BRASIL, Ministério da saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), Diário Oficial da União Resolução RDC nº 360. **Regulamento técnico sobre rotulagem nutricional de alimentos embalados Brasília**, DF. Dezembro de 2003
- CUEVAS-RODRIGUEZ, E. O.; MIAN-CARRILLO, J.; MORA-ESCOBEDO, R.; CARDENAS-VALENZUELA, O.G.; REYES-MORENO, C. Quality protein maize (*Zea mays* L.) tempeh flour through solid state fermentation process **LWT–Food Science and Technology**, v. 37, v.1, pp. 59-67, 2004.
- DAS, A. K. SINGH, V. Antioxidative free and bound phenolic constituents in pericarp, germ and endosperm of Indian dent (*Zea mays* var. indentata) and flint (*Zea mays* var. indurata) maize. **Journal of Functional Foods**. v. 13, pp. 363-374, 2015.
- HANSCH, R., MENDEL, R. R. Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). **Current Opinion in Plant Biology**, v.12, pp. 259-266, 2009.
- HELKAR, P.B.; SAHOO, A.; PATIL, N. Review: Food industry by-products used as a functional food ingredients **International Journal of Waste Resources**, v.6, n.3, 2016.
- JOANITTI, G.A.; SILVA, L.P. The emerging potential of byproducts as platforms for drug delivery systems **Curr. Drug Targets**, v. 14 2013.
- LI, H., XIE, L., MA, Y., ZHANG, M., ZHAO, Y., & ZHAO, X. Effects of drying methods on drying characteristics, physicochemical properties and antioxidant capacity of okra. **LWT–Food Science and Technology**, 2018.
- LITZ, F. H.; FERNANDES, E. A.; PIMENTA, C. C.; FAGUNDES, N. S.; FERREIRA, I. C.; GONÇALVES, M. F. Avaliação bromatológica e digestibilidade “in vitro” de rações para bovinos formuladas com coprodutos da indústria do milho e do ácido cítrico. **Vet. Not.**, Uberlândia, v.20, n. 2, p.42-47, 2014.
- MELO, P. S.; BERGAMASCHI, K. B.; TIVERON, A. P.; MASSARIOLI, A. P.; OLDONI, T. L.; ZANUS, M. C.; PEREIRA, G. E.; ALENCAR, S. M. Composição fenólica e atividade antioxidante de resíduos agroindustriais. **Ciencia Rural**, v.41, n. 6, 2011.
- MICHALSKA, A.; WOJDYŁO, A.; ŁYSIAK, G. P, LECH, K.; FIGIEL, A. Functional relationships between phytochemicals and drying conditions during the processing of blackcurrant pomace into powders. **Advanced Powder Technology**, v. 28, n. 5, p. 1340–1348, 2017.

- REYES-MORENO, C.; CUEVAS-RODRÍGUEZ, E.; CUEVAS-RODRÍGUEZ, J.; MILÁN-CARRILLO, O.; CÁRDENAS-VALENZUELA, BARRÓN-HOYOS, J. Solid state fermentation process for producing chickpea (*Cicer arietinum* L) tempeh flour. Physicochemical and nutritional characteristics of the product. **Journal of the Science of Food and Agriculture** v.84, n.3, pp 271-278, 2004.
- SINGH, M.; LIU, S. X.; VAUGHN, S. F. Effect of corn bran as dietary fiber addition on baking and sensory quality. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**; v.1, pp. 348-352, 2012.
- SMEDSGAARD, J.; NIELSEN, J. Metabolite profiling of fungi and yeast: From phenotype to metabolome by MS and informatics. **Journal of Experimental Botany**, v. 56, n.410, pp. 273-286, 2005.
- SOQUETTA, M. B; STEFANELLO, F. S; HUERTA, K. da M; MONTEIRO, S. S; ROSA, C. S. da; TERRA, N. N. Characterization of physicochemical and microbiological properties, and bioactive compounds, of flour made from the skin and bagasse of kiwi fruit (*Actinidia deliciosa*). **Food Chemistry**, v. 199, n. 1, p. 471–478, 2016.
- STROCK, C. R.; BASSO, C.; FAVARIN, F. R.; RODRIGUES, A. C. Qualidade microbiológica e composição de farinhas de resíduos da produção de suco de frutas em diferentes granulometrias. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 18, n. 4, p. 277284, 2015
- THIMMAPPAIAH, S.M.G.; SHOBHA, D.; ANIL, S.R. Assessment of cashew species for molecular diversity. **J. Plant. Crops**,v. 37, n.2, pp. 146-151, (2009).
- THOMAS, L.; LARROCHE, C.; PANDEY, A. Current developments in solid-state fermentation. **Biochem. Eng. J.**, v. 81, pp. 146-161, 2013.
- VARZAKAS, T. *Rhizopus oligosporus* mycelial penetration and enzyme diffusion in soya bean tempeh. **Process Biochemistry**, v. 33 pp. 741-747, 1998.

3 OBJETIVOS

3.1 GERAL

Objetivou-se com esta pesquisa desenvolver um novo ingrediente utilizando coprodutos de farelo de milho (*Zea mays*) e o bagaço proveniente da produção de suco de *Anacardium othonianum* Rizz. (caju-de-árvore-do-cerrado) através da fermentação em estado sólido utilizando o fungo *Rhizopus oligosporus*.

3.2 ESPECÍFICOS - CAPÍTULO I

- Determinar a composição química em macro e micronutrientes, atividade antioxidante e compostos bioativos do coproduto de farelo de milho e do resíduo sólido proveniente da extração do suco de *A. othonianum* Rizz.;
- Avaliar e determinar o melhor tratamento do processo fermentativo em estado sólido, utilizando *R. oligosporus*, utilizando os dois coprodutos em estudo.

3.3 ESPECÍFICOS - CAPÍTULO II

- Estudar a cinética de secagem do melhor tratamento de fermentação nos resíduos em diferentes temperaturas (50, 60, 70 e 80°C);
- Realizar a caracterização físico-química e propriedades tecnológicas dos tratamentos fermentados seco como potencial de um novo ingrediente para a indústria de alimentos;

CAPÍTULO 1. DESENVOLVIMENTO DE NOVO INGREDIENTE A PARTIR DE COPRODUTOS DE MILHO (*Zea mays*) E CAJU-DE-ÁRVORE-DO-CERRADO (*Anacardium othonianum* Rizz)

RESUMO: Objetivou-se com este trabalho realizar a caracterização química dos coprodutos, sendo o bagaço de *Anacardium othonianum* Rizz e o farelo de milho (*Zea mays*), e utilizá-los em diferentes proporções na fermentação em estado sólido com *Rhizopus oligosporus*. Os resultados obtidos indicaram que os coprodutos utilizados contêm uma quantidade nutricional que pode ser aproveitada não necessitando descartá-las. Na fermentação foi possível comparar e observar a evolução dos coprodutos em diferentes concentrações para compostos fenólicos, atividade antioxidante, teor de água e proteínas. A presente investigação demonstrou que a fermentação em estado sólido enriqueceu o coproduto de *Anacardium othonianum* Rizz em relação aos seus teores de proteico, atividade antioxidante, compostos fenólicos, esses parâmetros são essenciais para enriquecimento de produtos com baixo valor de nutrientes. A fermentação fúngica melhorou o valor nutricional aumentando o teor de proteínas e a propriedade funcional da matéria-prima, aumentando os compostos fenólicos e a capacidade antioxidante dos coprodutos em estudo.

PALAVRAS-CHAVE: coprodutos, fermentação em estado sólido, atividade antioxidante, enriquecimento nutricional, *Rhizopus oligosporus*.

CHAPTER 1. NEW INGREDIENT DEVELOPING FROM CORN (*Zea mays*) AND CERRADO TREE CASHEW (*Anacardium othonianum* Rizz)

ABSTRACT: The objective of this work was to perform the byproducts chemical characterization, being the *Anacardium othonianum* Rizz bagasse and the corn bran (*Zea mays*), and to use them in different proportions in solid state fermentation with *Rhizopus oligosporus*. The results indicated that the byproducts used contain a significant amount of properties that can be used and need not be discarded. In the fermentation was possible to compare and observe the evolution of the byproducts in different concentrations for phenolic compounds, antioxidant activity evaluated by DPPH, ABTS and FRAP assays, water and protein content. FES enriched the cashew nut cake for its antioxidant, phenolic compounds and protein content. The present investigation demonstrated that FES enriched the *Anacardium othonianum* Rizz byproduct in relation to its protein content, antioxidant activity, phenolic compounds, these parameters are essential for enrichment of low nutrient value products. Fungal fermentation improves the nutritional value and functional property of the raw material, increasing antioxidant capacity.

KEYWORDS: food byproducts, solid state fermentation, antioxidant activity, nutritional enrichment.

1. Introdução

Dentre as espécies vegetais do Cerrado, o *Anacardium othonianum* Rizz, conhecido como caju-de-árvore-do-cerrado, é considerado um dos principais cajueiros de importância econômica para a região centro-oeste do Brasil, por diversas razões, entre elas, servir de fonte de alimento (Bessa et al., 2013; Fonseca et al., 2014; Souza et al., 2015), ter aplicação na medicina tradicional (Curado et al., 2016) e ser utilizado na implantação de pomares comerciais e na recuperação de áreas degradadas (ASSIS et al., 2014). O bagaço do caju, pseudofruto, apresenta abundante resíduo lignocelulósico na agroindústria da produção de suco e parece ser uma matéria-prima promissora para várias aplicações.

O milho (*Zea mays* L.) e a soja são os cereais com maior produção mundial, sendo em 2018 produzidos globalmente 1,076.23 bilhões de toneladas. Os Estados Unidos, China e Brasil são os maiores produtores com cerca de 66% da produção mundial (USDA, 2019), sendo que o Brasil ocupa o terceiro lugar com uma área de 17 milhões de hectares cultivados na safra de verão e na safrinha de inverno com produção de mais de 92 milhões de toneladas, sendo que o estado de Goiás o quarto estado com maior produção no Brasil (CONAB, 2019).

A fermentação em estado sólido (FES) refere-se ao crescimento de micro-organismos em substratos sólidos contendo quantidade limitada de água (VONG et al., 2018). Neste caso, a fermentação anaeróbica compreende a via mais atrativa, pois os coprodutos que geram resíduos da agroindústria podem ser utilizados como substratos (SILVA et al., 2018).

Rhizopus oligosporus é um micro-organismo eucarionte que depende exclusivamente do carbono orgânico como fonte de energia, e, quando se encontra em ambiente seco há a produção de esporos resistentes. A temperatura ótima de crescimento está entre 28 e 30°C e o pH ótimo de crescimento é próximo de 5 (Pampulha & Oliveira, 2009). Os coprodutos agroalimentares da indústria podem ser explorados como fonte natural de fitoquímicos (Vadivel et al., 2014). Nesse contexto, as cascas de castanha ou o bagaço provenientes da produção do suco de caju e o coproduto da produção de grits cervejeiro (farelo de milho) têm recebido maior atenção, pois estão disponíveis localmente em larga escala e a baixo custo ou sem custo.

O objetivo neste trabalho foi avaliar o desempenho dos coprodutos de milho e caju-de-árvore-do-cerrado na fermentação em estado sólido (FES) utilizando fungo *Rhizopus oligosporus*.

2. Materiais e Métodos

2.1. Material vegetal

O farelo de milho (FM) foi cedido por uma agroindústria produtora de grits cervejeiro da região de Rio Verde (Goiás, Brasil) que foi gerado a partir do processo de moagem seca (Figura 1). O FM foi recebido no Laboratório de Biocompostos e Bioprocessos, e foi separado em embalagens de polipropileno (30×40) e armazenados sob refrigeração (8°C) até a realização das análises.



Figura 1. Fluxograma de Processamento do Farelo de Milho

O coproduto do caju-de-árvore-do-cerrado (bagaço) foi obtido da produção de suco de *A. othonianum* Rizz (Figura 2). Os frutos foram coletados no estágio de maturação considerado maduro no mês de agosto a setembro de 2018 em áreas remanescentes do Cerrado Goiano, na Fazenda Gameleira localizada na cidade de Montes

Claros de Goiás (-16.1634, -51.3208). Após a coleta, os pseudofrutos foram separados do fruto, lavados, sanitizados e acondicionados em embalagens plásticas de polipropileno (30×40) e armazenados sob refrigeração (-26°C) até a produção do suco.



Figura 2. Caju-de-árvore-do-cerrado (*Anacardium othonianum* Rizz)

Fonte: Autor, 2018

Para a extração do suco, o pseudofruto foi homogeneizado em liquidificador e o resíduo sólido separado por processo de filtração em malhas de fibras de nylon (Figura 3). O resíduo sólido do suco foi homogeneizado, armazenado em embalagens plásticas de polipropileno (30×40) e congelado (-26°C) até a utilização.

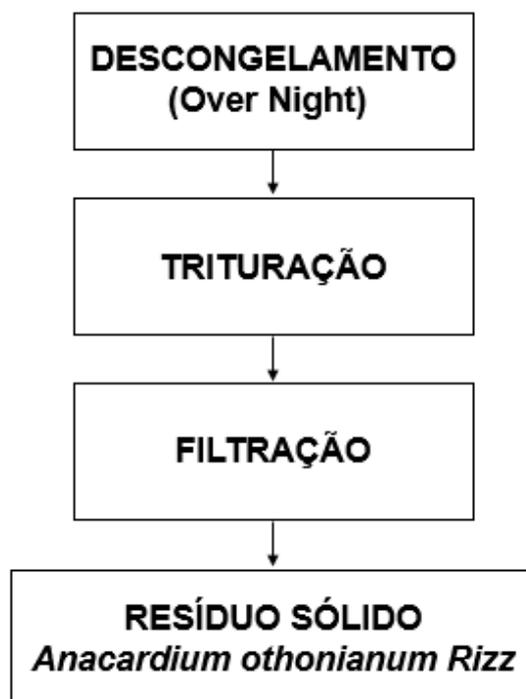


Figura 3. Fluxograma do processamento para obtenção do resíduo sólido de (*Anacardium othonianum* Rizz)

Fonte: Autor, 2018

2.2. Fermentação em estado sólido

A cepa de *Rhizopus microsporus* van Tieghem var. *oligosporus* IOC 3801 foi obtido por doação da Coleção de Culturas de Fungos Filamentosos do Instituto Oswaldo Cruz (Rio de Janeiro, Brasil) em forma ativa e sua manutenção foi realizada por meio de repiques periódicos (15 dias) em ágar PGA (Potato Glucose Agar). As combinações dos substratos estão apresentadas na Tabela 1 e, após a homogeneização a inoculação em 100 g do fungo foi realizada e as embalagens individuais de polipropileno (14 x 20 cm), devidamente seladas e perfuradas a cada 1 cm de distância, foram mantidas em câmaras de germinação modelo (Technal/TE-402) com temperatura controlada de 28°C e circulação de ar, durante o período de 32 horas. Todo o procedimento foi realizado em câmara de fluxo laminar com todos os materiais (incluindo substrato e água) previamente esterilizados em autoclave (121°C por 15 minutos). A contagem dos esporos para a inoculação foi realizada em câmara de Neubauer utilizando microscópio eletrônico.

Tabela 1. Tratamentos experimentais da fermentação em estado sólido de coproduto de milho e caju-de-árvore-do-cerrado utilizando *R. oligosporus*

Tratamentos	Resíduo sólido caju-de- árvore-do-cerrado	Farelo de milho	Concentração de esporos (log/mL da suspensão)
C100	100%	0%	10 ⁸
C75FM25	75%	25%	10 ⁸
C50FM50	50%	50%	10 ⁸
C25FM75	25%	75%	10 ⁸
FM100	0%	100%	10 ⁸
CC	100%	0%	S/ fermentação
FM	0%	100%	S/ fermentação

Os coprodutos foram quimicamente caracterizados e para escolha do processo fermentativo, avaliou-se a diferença entre o teor de compostos fenólicos totais, atividade antioxidante (pelos métodos de ABTS, FRAP e DPPH) e o teor de proteínas.

2.3. Análises químicas

O pH foi medido em potenciômetro digital de bancada modelo LUCA-210 (Lucadema, Campinas, Brasil) previamente calibrado com soluções tampão padrões (pH 7,0 e 4,0) (método 943.02, AOAC, 2000). Uma solução contendo 5 g de amostra em 50 mL de água destilada foi utilizada para determinar a acidez titulável total por titulação com solução NaOH 0,1N utilizando fenolftaleína a 1% como indicador do ponto de viragem obtendo coloração rósea persistente por 30 segundos e foi expressa em g de ácido cítrico da amostra e calculada através da Equação 1 (IAL, 2008).

$$\text{Acidez Titulável (g 100 g}^{-1}\text{)} = \frac{[(V \times f \times M \times 100)]}{P} \quad (1)$$

Em que: V é volume em mL de hidróxido de sódio gastos na titulação, f é o fator de correção da solução de hidróxido de sódio, P é a massa da amostra em g, e, M é a molaridade da solução de hidróxido de sódio. O teor de sólidos solúveis foi quantificado

por leitura direta de solução de (2:20) coprodutos e água destilada em refratômetro digital Reichert modelo 14043 (Reichert, Depew, EUA).

O teor de água ($\text{g } 100\text{g}^{-1}$) foi determinado por secagem de 3 g de amostra em estufa de secagem com circulação de ar (Ethik Technology / 400-4ND) a 105°C até massa constante (n° 968.11, AOAC, 2000). O teor de água foi calculado utilizando a Equação 2.

$$\text{Teor de água (g } 100\text{ g}^{-1}\text{)} = \left[\left(\frac{P_{\text{AMOSTRAÚMIDA+CADINHO}} - (P_{\text{AMOSTRASECA+CADINHO}})}{P_{\text{AMOSTRAÚMIDA}}} \times 100 \right) \right] \quad (2)$$

Após a determinação do teor de água o resíduo mineral fixo ($\text{g } 100\text{g}^{-1}$) foi quantificado após a pesagem da matéria seca por incineração em mufla a 550°C até obtenção de cinzas com cores claras (n° 94546, AOAC, 2010). Os resíduos por incineração foram calculados utilizando a Equação 3.

$$\text{Cinzas (g } 100\text{ g}^{-1}\text{)} = \left[\left(\frac{P_{\text{CADINHO+AMOSTRASECA}} - (P_{\text{CADINHO}})}{P_{\text{AMOSTRA(g)}}} \right) \times 100 \right] \quad (3)$$

A quantificação de lipídeos foi realizada de acordo utilizando o método de Soxhlet (método n° 925.38, AOAC, 2000), e 2 g da amostra acondicionadas em papel de filtro e amarrado com fio de lã previamente desengordurado, colocado no aparelho de Soxhlet, adicionado de hexano, acoplado aos destilados do aparelho e mantido sob aquecimento por 8 horas (quatro a cinco gotas por segundo). Após a destilação, os balões foram levados para a estufa a 105°C para a evaporação do solvente residual e pesados. Os resultados foram calculados utilizando a Equação 4 e expressos em g/100g de lipídeos.

$$\text{Lipídeos (g } 100\text{ g}^{-1}\text{)} = \left[\left(\frac{100 \times m \times m'}{P_{\text{AMOSTRA(g)}}} \right) \right] \quad (4)$$

Em que: m = massa de lipídios (g); e m' = massa da matéria seca.

O teor de proteínas ($\text{g } 100\text{g}^{-1}$) foi determinado pelo método micro Kjeldhal (n° 99120, AOAC, 2000). Na digestão, foram usados 0,6 g da amostra sólida, adicionado de 2,5 gramas da mistura catalítica (100 g de K_2SO_4 , 10 g de CuSO_4 e 0,8 g de selênio metálico em pó) e 7 mL de ácido sulfúrico. A digestão a quente foi realizada a 400°C até destruição completa da matéria orgânica e obtenção de uma solução com coloração verde e translúcida. Após o resfriamento até temperatura ambiente, foram adicionados 10 mL de água destilada em cada tubo e os mesmos foram levemente agitados até atingirem coloração azul clara. Na destilação, foram adicionados 20 mL de solução de NaOH 40% ao destilador e acoplado para recolhimento de 125 mL do destilado, um Erlenmeyer com 20 mL de ácido bórico com indicador misto, e por fim foi realizada a titulação com HCl 0,1 N padronizado, com o teor obtido pela Equação 4.

$$\text{Proteína Bruta}(\text{g } 100 \text{ g}^{-1})=[(\text{mL}(\text{HCl})\times\text{F}\times\text{N}\times 0,014\times\text{f}\times 100)] \quad (5)$$

Em que: mL HCl é volume de HCl gasto na titulação, N é a normalidade do HCl titulado (0,1), F é o fator de correção da normalidade do ácido e f é o fator de conversão de N em proteína, que foi utilizado 6,25 como indica a RDC N° 360 (BRASIL, 2003).

O teor de carboidratos ($\text{g } 100^{-1}$) foi calculado por diferença de acordo com a Equação 6.

$$\text{Teor de Carboidrato}(\text{g } 100 \text{ g}^{-1}) = [(100 - \text{umidade} - \text{cinzas} - \text{lipídeos} - \text{proteínas})] \quad (6)$$

O valor calórico foi determinado pelo fator de conversão de Atwater, que consiste na soma do teor proteico multiplicado por 4, lipídeos multiplicados por 9 e carboidratos multiplicado por 4 (Horwitz, 2005).

2.4 Compostos fenólicos e atividade antioxidante

A atividade antioxidante dos coprodutos foi realizada utilizando três métodos diferentes, sendo: sendo: DPPH (2,2-difenil-1picril-hidrazila) foi determinado conforme proposto por Brand-Williams, Cuvelier e Berset (1995), com modificações, ABTS (2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico)) foi determinada de acordo com o proposto por Miller et al., (1993), com modificação de Rufino et al., (2010) e FRAP descrito por Benzie e Strain (1996) e modificado por (PULIDO et al., 2000) foi utilizado. O extrato

foi preparado utilizando metanol 50% e acetona 70%, utilizando 2 g das amostras obtido de cada tratamento. O volume do extrato foi acertado com água destilada para 100 mL (LARRAURI et al., 1997). Para o método de DPPH, foram adicionados 3,9 mL de solução de radical DPPH e 0,1 mL do extrato preparados em tubos de ensaio, deixando reagir por 30 minutos protegidos da luz, e a absorbância a 515 nm foi medida em espectrofotômetro UV-Vis para observar a mudança de cor que indica a captura do radical livre DPPH os resultados foram expressos em equivalentes μM DPPH que foi obtido por curva padrão.

A atividade antioxidante por redução do ferro (FRAP), foi realizada adicionando uma alíquota de 90 μL do extrato, 270 μL de água destilada e 2,7 mL do reagente FRAP, previamente obtido a partir da mistura de tampão acetato (0,3 M, pH 3,6), solução de TPTZ (10 mM) e solução de cloreto férrico (20 mM), em uma proporção de 100:10:10. Após a homogeneização, a amostra foi submetida ao abrigo da luz por 30 minutos a 37°C com posterior leitura de absorbância em espectrofotômetro UV-Vis a 595 nm e os resultados foram expressos em equivalentes de sulfato ferroso que foi obtido por curva padrão.

Para a quantificação de compostos fenólicos totais, 200 μL do extrato de FM foi adicionado de 1,9 mL do reagente Follin-Ciocalteau 1:9 em água destilada recém-preparada. Para neutralizar a mistura 1,9 mL da solução aquosa de carbonato de sódio (60 g L^{-1}) foi usada para neutralizar a mistura. Após 120 minutos da reação na ausência de luz e temperatura ambiente, a absorbância foi medida em 725 nm. O cálculo foi realizado utilizando a curva padrão e os resultados expressos em g equivalentes de ácido ferúlico (EAF) por 100 g de farelo de milho (LI et al., 2009).

2.5 Análise por espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)

A análise FTIR é realizada para detectar os principais grupos funcionais na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) foram realizadas em um equipamento PerkinElmer modelo (FT-IR /NIR Spectrometer, Frontier), seguindo as seguintes condições com espectros coletados na faixa de número de onda $4000\text{-}650 \text{ cm}^{-1}$.

2.6 Análise Estatística

Cada tratamento foi realizado em três repetições, sob condições idênticas, e, posteriormente, todas as análises foram realizadas em triplicata analítica, totalizando 9

repetições. Os resultados das análises foram avaliados por meio de análise de variância (ANOVA), seguido pelo teste de F para análise dos coprodutos e o Tukey para comparação de médias entre as amostras (5% de significância), através de software estatístico Sisvar.

3. Resultados e Discussões

3.1 Caracterização dos coprodutos

O coproduto de caju apresentou baixo valor de pH (3,3) que foi consistente com o alto valor de acidez titulável (18,58 mL 100 g⁻¹) Tabela 2. A acidez é um importante parâmetro na avaliação do estado de conservação de um produto alimentício, pois a acidificação desempenha função inibidora do crescimento microbiano (FENNEMA, 2010).

Tabela 2. Caracterização química de farelo de milho e do resíduo sólido de caju-de-árvore-do-cerrado

Análises químicas	Caju-de- árvore-do- cerrado	Farelo de milho
pH	3,30±0,03 ^b	6,32±0,03 ^a
Acidez titulável (mL 100 g ⁻¹)	18,58±0,44 ^a	10,97±0,19 ^b
Sólidos solúveis (°Brix)	0,68±0,05 ^b	14,67±0,58 ^a
Teor de água (g 100 g ⁻¹)	72,57±0,64 ^a	9,81±0,07 ^b
Cinzas (g 100 g ⁻¹)	0,27±0,01 ^a	0,87±0,03 ^a
Lipídeos (g 100 g ⁻¹)	10,49±1,52 ^b	23,53±1,60 ^a
Proteínas (g 100 g ⁻¹)	3,41±0,59 ^b	9,88±0,31 ^a
Carboidratos (g 100 g ⁻¹)	13,00±0,82 ^b	55,84±1,36 ^a
Valor calórico (kcal 100 g ⁻¹)	117,04±7,42 ^b	502±12,29 ^a
Compostos Fenólicos Totais (mg EAG 100 g ⁻¹)	336,31±4,29 ^a	210,23±13,30 ^b
<i>Atividade antioxidante</i>		
Método DPPH (µg de Trolox por g)	426,74±2,60 ^a	129,02±9,88 ^b
Método ABTS (µg de Trolox por g)	107,15±8,21 ^a	34,45±2,53 ^b
Método FRAP (µg de Trolox por g)	313,70±2,58 ^b	611,51±9,87 ^a

*Médias seguidas pela mesma letra na linha não difere entre si (p<0,05) de significância.

O teor de sólidos solúveis encontrado no coproduto foi de 0,68 °Brix, menor do que o relatado por Matias et al., (2005) (12 °Brix) em bagaço *in natura* de *A. occidentale* L. Baixo teor de sólidos solúveis no resíduo pode indicar que o processo de extração do suco foi eficiente.

O coproduto de caju-de-árvore-do-cerrado apresentou teor de água de 72,57 g 100 g⁻¹ que foi próximo dos valores relatados por Pinho (2009) (75,74 g 100 g⁻¹), Ferreira et al., (2004) (74,60 g 100g⁻¹) e Lima et al., (2011) (74,10 g 100 g⁻¹) que, analisaram o coproduto do pedúnculo do caju *in natura* (*Anacardium occidentale* L.). Teor de cinzas encontrado neste trabalho (0,27 g 100 g⁻¹) foi inferior ao relatado por Aridam Kuilla et al. (2011) (1,07 g 100 g⁻¹) e por Rodrigues (2016) (0,88 g 100 g⁻¹) em coproduto de caju (*A. occidentale* L.).

O coproduto de caju-de-árvore-do-cerrado apresentou teor de lipídeos de 10,49 g 100 g⁻¹, resultado 6 vezes maior que fibra de caju (*A. occidentale* L.) (1,72 g 100 g⁻¹) (OLIVEIRA et al., 2016). O teor proteico do coproduto de caju-de-árvore-do-cerrado foi duas vezes maior que o relatado por Matias et al., (2005) na do coproduto de caju (*A. occidentale* L.) (3,41 e 1,83 g 100 g⁻¹, respectivamente).

O teor de carboidratos do caju-de árvore-do-cerrado foi de 13 g 100 g⁻¹ e a composição proximal resultou num valor calórico de 117,04 kcal. Silva et al., (2008) avaliaram pseudofrutos de caju-de-árvore-do-cerrado (*A. othonianum*), mesma espécie deste trabalho, e relataram valores de 6,97 g 100 g⁻¹ e 38,27 kcal de carboidratos e valor calórico.

As diferenças no conteúdo de macronutrientes de caju-de-árvore-do-cerrado podem acontecer pela necessidade de comparação com outra espécie em razão da indisponibilidade de estudos com a mesma espécie, ou ainda, pela influência das condições ambientais e a interferência humana na espécie estudada.

O FM apresentou teores de pH, acidez titulável e sólidos solúveis de 6,32, 10,97 mL 100 g⁻¹ e 14,67 °Brix. O pH foi próximo ao relatado para farinha de mandioca (6,31) (Rosales-Soto, 2016) e grãos de milho (6,64) (REHMAN et al., 2002).

O FM apresentou um teor de água de 9,81 g 100g⁻¹, resultado esse inferior ao apresentado pela Tabela Brasileira de Composição de Alimentos de 14% (TACO, 2011). Alessi, Raupp e Gardingo (2003) caracterizaram a farinha de milho biju para aproveitamento de subprodutos e encontraram teor de água de 13,5 %, enquanto a farinha de milho pré-cozida apresentou 10,71% de água (CALLEGARO et al., 2005).

Em avaliações em concentrações de granulometria diferentes para FM, SOUSA et al. (2019) relataram resultados para teores de água, proteínas, lipídeos, cinzas, carboidratos e valor energético de 8,19 g 100 g⁻¹, 10,33 g 100g⁻¹, 12,81 g 100 g⁻¹, 3,11 g 100 g⁻¹, 56,97 e 418 kcal, respectivamente para o FM com fração de 0,125 mm, esses resultados foram próximos aos encontrados no presente estudo para carboidratos, teores

de água e proteínas. Os resultados dos mesmos autores Sousa et al., (2019) para os teores de lipídeos foram inferiores e para cinzas foram superiores quando comparados ao deste estudo.

Os coprodutos avaliados mostraram diferença significativa entre os CFT e atividade antioxidante pelos três métodos avaliados. Os CFT foram de 336,31 e 210,23 mg EAG 100 g⁻¹ para coproduto de caju-de-árvore-do-cerrado e milho com diferença significativa entre eles. Soares et al., (2008) avaliaram o conteúdo de compostos fenólicos totais e a capacidade antioxidante do extrato da casca de uva Isabel (*Vitis labrusca*), produzido com acetona 75%, e obtiveram resultados médios de 1026,7 mg EAG 100 g⁻¹ de peso seco. Valores esses próximos ao encontrado no presente trabalho de 1226,07 mg EAG 100 g⁻¹ em base seca, que utilizou diferentes proporções e concentrações metanol 50%, acetona 70% e água respectivamente para quantificar os extratos.

Kolniak-Ostek et al., (2017) relataram CFT de 158,4 mg 100 g⁻¹ e atividade antioxidante de 112,4; 153,7 e 211,0 μmol Trolox 100g⁻¹ para os métodos de DPPH, ABTS e FRAP para farinha de milho.

Utilizando base seca para a composição proximal, foi possível perceber que o FM pode fornecer mais teor de sólidos solúveis, carboidratos e valor calórico de (16,27 g 100 g⁻¹, 61,91 g 100 g⁻¹, 556,60 kcal respectivamente) do que coproduto de caju-de-árvore-do-cerrado. Este último mostrou maior valor de acidez, cinzas, lipídeos, proteínas, compostos fenólicos, DPPH, ABTS e FRAP. A caracterização química dos coprodutos é fundamental para determinar a composição de nutrientes no FM e no caju-árvore-do-cerrado e com isso, utilizá-los para enriquecer algum produto alimentício.

Variações nos resultados da composição química podem estar relacionadas com as diferenças no solo, condições climáticas, estação de crescimento, armazenamento pós-colheita e métodos de extração utilizados na análise (QUEIROZ et al., 2011).

O espectro no infravermelho (IV) (Figura 4) apresenta os picos característicos dos grupamentos amida (3311, N-H), compostos aromáticos (1629, C=C) e ligação de éster (1030, C-O) para o caju-de-árvore-do-cerrado. Essas bandas identificam os compostos presentes que podem ser presença de carboidratos, visto que o caju é composto de água e carboidratos (SAMAMAD et al.,2018).

Enquanto isso, FM demonstrou picos característicos de hidrocarbonetos alifáticos (3295, C-H), hidrocarbonetos alifáticos (2924, C-H), aldeído (1751, C =O) e anel aromático (990, C-H). O farelo de milho avaliado por Ogbaga, Miller, Johnson (2017) apresentaram características espectrais semelhantes com grandes picos na região lipídica

(3050-2800 cm^{-1}), a região de proteína (1700-1600 e 1570-1534 cm^{-1}) e na região de carboidratos (1200-900 cm^{-1}), que foram próximos aos relatados neste trabalho.

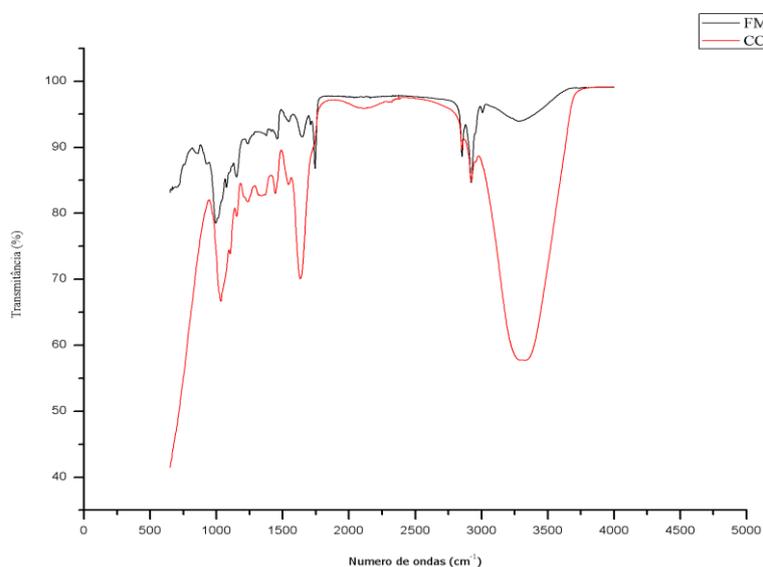


Figura 4. Espectrofotometria de Infravermelho dos coprodutos de caju-de-árvore-do-cerrado e de milho

3.2 FES de coprodutos utilizando *R. oligosporus*

Neste trabalho os teores de água dos substratos fermentados variaram de 10,25 a 13,75 g 100 g⁻¹ Tabela 4. Barrios-González (2012) em seus estudos avaliou que a fermentação em estado sólido possui vantagem em relação à fermentação submersa já que ela ocorre em ambiente com teor de água igual ou superior a 70%. Neste ambiente, as enzimas e metabólitos secundários podem ser obtidos pelos micro-organismos a partir dos substratos sólidos com teor de água ideal para o seu desenvolvimento.

Pode-se sugerir que o decréscimo no teor de água está ligado as concentrações dos coprodutos ao processo natural de biodegradação, ao crescimento do *Rhizopus oligosporus*, em que a água presente no substrato é utilizada no crescimento do micro-organismo. Entretanto, os resultados obtidos foram diferentes dos obtidos por Morales (2012), que no processo de biotransformação de folhas de mandioca pelo *Rhizopus oligosporus*, mostrou pouca influência no teor de água obtendo diferença entre a amostra inicial e final de 10,75 para 11,28%.

Tabela 3. Compostos fenólicos totais e atividade antioxidante de coproduto fermentado usando *R. oligosporus*

TRATAMENTOS	Proteínas (g 100 g ⁻¹)	Teor de Água (g 100 g ⁻¹)	CFT (mg EAG 100 g ⁻¹)	DPPH (µg Trolox g ⁻¹)	ABTS (µg Trolox g ⁻¹)	FRAP (µg Trolox g ⁻¹)
C100	13,44±0,98 ^a	73,03±0,63 ^a	689,23±15,36 ^a	632,63±57,19 ^a	415,48±95,34 ^a	1869,69±300,58 ^a
C75FM25	11,84±0,13 ^a	58,32±1,54 ^b	433,88±15,00 ^c	666,42±20,87 ^a	238,74±31,87 ^b	817,14±46,23 ^c
C50FM50	11,60±0,97 ^b	41,04±3,08 ^c	321,79±23,44 ^d	428,81±39,54 ^c	126,63±18,45 ^c	517,55±46,55 ^d
C25FM75	10,75±0,40 ^b	25,70±1,49 ^d	318,23±24,19 ^d	203,81±9,67 ^d	136,41±11,33 ^c	495,86±24,50 ^d
FM100	11,11±0,26 ^b	8,46±0,24 ^e	287,42±8,64 ^d	162,20±9,24 ^d	115,92±17,52 ^c	491,32±11,90 ^d
CC	11,15±0,63 ^b	71,85±1,95 ^a	528,31±55,34 ^b	87,54±6,77 ^e	411,04±56,14 ^a	1203,53±195,77 ^b
FM	10,25±0,66 ^b	8,29±1,33 ^e	277,91±15,07 ^d	556,84±27,04 ^b	103,01±7,35 ^c	444,90±10,43 ^d

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não difere estatisticamente entre si, pelo teste Tukey, a nível de (p<0,05) de significância.

O teor de água foi utilizado para o cálculo em base seca dos resultados das análises para evitar a influência deste interferente na avaliação entre os tratamentos. O valor proteico variou de 8,46 a 73,03 g 100 g⁻¹ para os produtos fermentados, e de 8,29 para 71,85 g 100 g⁻¹ para os subprodutos sem a fermentação. Como esperado, foi possível observar que a fermentação utilizando *R. oligosporus* aumentou o teor proteico no C100 e C75FM25, sem diferença estatística entre eles.

Foi possível perceber que quando se compara o substrato com e sem fermentação houve aumento significativo no teor de CFT para substrato de caju (de 528,31 para 689,23 mg EAG 100 g⁻¹, respectivamente) e não significativo para o farelo de milho (de 277,91 para 287,42 mg EAG 100 g⁻¹, respectivamente). Schmidt et al., (2014) avaliando o farelo de arroz fermentado com *R. oryzae* observaram aumento de mais de 100% no conteúdo de compostos fenólicos com a fermentação (de 2,4 mg g⁻¹ para 5,1 mg g⁻¹) e o mesmo comportamento foi relatado para a fermentação de frutos de ameixa fermentados com *R. oligosporus* apresentaram aumento de 1,8 vezes no teor de compostos fenólicos totais (de 950,96 mg GAE 100 g⁻¹ para 1778,70 mg GAE 100 g⁻¹) (DULF et al., 2018). A explicação para este comportamento pode ser a polimerização destes compostos, processo que é catalisado por enzimas oxidativas (formação de lignina, tanino e peroxidases) que são ativadas em resposta ao estresse induzido nas cepas de fungos por causa do nitrogênio e carbono facilmente fermentável e o esgotamento das fontes dos substratos (Vattem, Lin, Labbe, & Shetty, 2004). Cheng, Wu, Lin e Liu (2013) relataram que a FES utilizando *Rhizopus* spp. afetou positivamente o aumento de fenólicos totais e isoflavonas agliconas em soja preta descascada e neste caso, o micro-organismo hidrolisam as moléculas de flavonoides para que possam utilizar os açúcares, com isso, estas moléculas ficam biodisponíveis para o corpo humano.

Neste trabalho, observou-se que atividade antioxidante (independentemente do método) aumentou conforme houve o aumento da quantidade de substrato de caju na fermentação. Diferente disso, Suazo et al. (2014) relataram a diminuição na atividade antioxidante do método de DPPH após o processo de fermentação utilizado como substrato o cacau.

O valor proteico variou de 10,75 a 13,44 g 100 g⁻¹ para os produtos fermentados, e de 10,25 para 11,25 g 100 g⁻¹ para os subprodutos sem a fermentação. Como esperado, foi possível observar que a fermentação utilizando *R. oligosporus* aumentou o teor proteico no C100 e C75FM25, sem diferença estatística entre eles.

Segundo a RDC n. 54 de 12 de novembro (BRASIL, 2012) é necessário no mínimo 6% de proteína para ser considerado um alimento “fonte de proteína”, e no mínimo 12% de proteínas para ser considerado de alto teor proteico. Assim, todos os subprodutos fermentados são considerados como alimentos de fontes proteicas.

Três processos fermentativos se destacaram em relação as análises apresentadas na Tabela 3: CC, C100 e C75FM25. O CC mostrou maior valor de compostos fenólicos totais comparado com o CFM; e, no produto fermentado, o valor de CFT aumentou conforme o teor de sólidos de caju aumentou no substrato, indicando que ele foi o maior contribuinte para este componente.

Dada a ampla gama de atividade metabólica fúngica, fermentações fúngicas são promissoras e para uma possível biofortificação de substratos através da formação de proteínas e vitaminas, bem como compostos com efeitos positivos para a saúde (Sutter, Thevenieau, Bourdillon & De Goninck, 2017). Assim, estes três tratamentos foram submetidos a secagem para avaliar a produção de um novo ingrediente para alimentos como descrito no Capítulo II.

4. CONCLUSÃO

Este trabalho avaliou a influência dos coprodutos durante a fermentação em estado sólido do *R. oligosporus* e verificou-se que pelas análises realizadas dois tratamentos obtiveram melhores resultados (C100 e 75C25FM), obtendo um produto com qualidade nutricional e aproveitamento de coprodutos que poderiam ser descartados causando problemas ambientais para a sociedade.

5. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) (001), do CNPq (Processo 426479/2016-5) e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG), por meio de concessão de bolsa a nível de mestrado (Edital 003/2018).

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALESSI, M.I.; RAUPP, D.S.; GARDINGO, J.R. Caracterização do processamento da farinha de milho para o aproveitamento dos subprodutos. **Publicatio UEPG**, Ponta Grossa, v.9, n.2, p.31-31, 2003.

AOAC – Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of Analysis**. 18^a ed. Washington DC USA, 2010.

AOAC, Association of Official Analytical Chemists International. **Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 17 ed., Gaithersburg, 2000.

ARINDAM KUILA; ANSHU SINGH; MAINAK MUKHOPADHYAY; RINTU BANERJEE. Process optimization for aqueous extraction of reducing sugar from cashew apple bagasse: A potential, low cost substrate., **Food Science and Technology**. v. 44, n. 1, p 62-66, 2011.

ASSIS, K. C., PEREIRA, F. D., ALBERTO, P. S., SILVA, F. G., SILVA, J. W., & DE MENEZES, C. C. E. In vitro cultivation of *Anacardium othonianum* Rizz.: Effects of growth regulator, explant orientation and lighting. **African Journal of Biotechnology**, v.11, n.7, 1559-1566, 2014.

BARROS, E. M., CARVALHO, V. M., RODRIGUES, T. H. S., ROCHA, M. V. P., & GONÇALVES, L. R. B. Comparison of strategies for the simultaneous saccharification and fermentation of cashew apple bagasse using a thermotolerant *Kluyveromyces marxianus* to enhance cellulosic ethanol production. **Chemical Engineering Journal**, v.307, pp.939–947, 2017.

BENZIE I. F. F.; STRAIN, J. J. The ferric reducing ability of plasma as a measure of “antioxidant potential.” **Analytical Biochemistry**, v. 239, pp. 70-76, 1996.

BESSA, N. G. F., BORGES, J. C. M., BESERRA, F. P., CARVALHO, R. H. A., & PEREIRA, M. A. B. Prospecção fitoquímica preliminar de plantas nativas do cerrado de uso popular medicinal pela comunidade rural do assentamento vale verde– Tocantins. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v.15, n.4, pp.692-707, 2013.

BRANDÃO, M. C. C.; MAIA, G. A.; LIMA, D. P.; PARENTE, E. J. S.; CAMPELLO, C. C.; Nassu, R. T.; Feitosa, T.; Sousa, P. H. M. Análises físico-químicas, microbiológica e sensoriais de pedúnculo de caju submetidos à desidratação osmótico-solar. **Revista Ciência Agronômica**, v. 34, n. 2, pp. 139-145, 2003.

BRAND-WILLIAMS, W., CUVÉLIER, M. E., BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. (1995). **LWT - Food Science and Technology**, v.28, n. 1, pp.25-30, 1995.

BRASIL, AGÊNCIA BRASILEIRA DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). Resolução - CNNPA nº 12. **Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos, 1978**

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância Sanitária. RDC nº 54 de 12 de Novembro de 2012. Regulamento Técnico sobre à Informação Nutricional Complementar. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília.

CALLEGARO, M.G.K.; DUTRA, C. B.; HUBER, L. S.; BECKER, L. V.; ROSA, C. S.; KUBOTA, E. H.; Determinação da Fibra alimentar insolúvel, solúvel e total de produtos derivados de milho. **SciELO**, Campinas, v.25, n.2, pp.271-274, 2005.

CARR, M. K. V. The water relations and irrigation requirements of cashew (*Anacardium Occidentale* L.): A REVIEW. **Experimental Agriculture**, v.50, n.1, pp.24–39, 2013.

CHENG, K. C., WU, J. Y., LIN, J. T., & LIU, W. H. Enhancements of isoflavone aglycones, total phenolic content, and antioxidant activity of black soybean by solid-state

fermentation with *Rhizopus* spp. **European Food Research and Technology**, v.236, n.6, pp.1107-1113, 2013.

CONAB. (Companhia Nacional de Abastecimento). Grãos. In: Acompanhamento In: Acompanhamento da Safra Brasileira. <<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>> Acesso em: 18 de Julho de 2019.

CORREIA, J. A. DA C., JÚNIOR, J. E. M., GONÇALVES, L. R. B., & ROCHA, M. V. P. Alkaline hydrogen peroxide pretreatment of cashew apple bagasse for ethanol production: Study of parameters. **Bioresource Technology**, v.139, pp.249–256, 2013

CURADO, F. A. M. L. I. M. J., GAZOLLA, A. P., PEDROSO, R. C. N., PIMENTA, L. I. P., DE OLIVEIRA, P. F., TAVARES, D. C., SILVA, M. L. A., CUNHA, W. R., PIETRO, R. C. L. R., JANUÁRIO, A. H., PAULETTI, P. I. M J SALES, J. F. & SILVA, F. G.. Antifungal and cytotoxicity activities of *Anacardium othonianum* extract. **Journal of Medicinal Plants Research**, v.10, n.29, pp 450-456, 2016.

DULF, FV, VODNAR, DC, DULF, E.-H., DIACONEASA, Z., & SOCACIU, C. (2018). Liberation and recovery of phenolic antioxidants and lipids in chokeberry (*Aronia melanocarpa*) pomace by solid-state bioprocessing using *Aspergillus niger* and *Rhizopus oligosporus* strains. **LWT - Food Science and Technology**, v.87, pp.241-249.

FENNEMA, O.R.; DAMODARAN, S.; PARKIN, K.L.; **Química de Alimentos**. 4.ed. São Paulo: Artmed. 2010.

FERREIRA, A. C. H.; NEIVA, J. N. M.; RODRIGUES, N. M.; LÔBO, R. N. B.; VASCONCELOS, V. R. de. Valor nutritivo das silagens de capim-elefante com diferentes níveis de subprodutos da indústria do suco de caju. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 33, n. 6, pp. 1380-1385, 2004.

GUEDES-OLIVEIRA, J. M., SALGADO, R. L., COSTA-LIMA, B. R. C., GUEDES-OLIVEIRA, J., & CONTE-JUNIOR, C. A. (2016). Washed cashew apple fiber (*Anacardium occidentale* L.) as fat replacer in chicken patties. **LWT - Food Science and Technology**, v.71, pp.268–273.

HORWITZ, W., LATIMER, G (Ed.): **Official methods of analysis of AOAC International**. 18th ed. Gaithersburg: AOAC International, 2005.

KOLNIAK-OSTEK, J., KITA, A., PEKSA, A., WAWRZYNIAK, A., HAMUŁKA, J., JEZNACH, M., ... JARIENE, E. Analysis of the content of bioactive compounds in selected flours and enriched extruded corn products. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 64, pp. 147–155, 2017.

LI, W.; HYDAMAKA, A.W.; LOWRY, L.; BETA, T. Comparison of antioxidant capacity and phenolic compounds of berries, chokecherry and seabuckthorn. **Central European Journal of Biology**, v.4, n. 4, pp. 499–506, 2009.

LIMA, E.; SILVA, F. L. H.; SILVA NETO, J. M.; LIMA, F. C. dos S. **Avaliações de pré-tratamentos para deslignificação do bagaço do pedúnculo do caju, para posterior processo de sacarificação**. In: Simpósio Nacional de Bioprocessos, 18., 2011, Caxias do Sul. Anais... Caxias do Sul: ABEQ, 2011. 1 CD-Rom.

MILLER, N. J.; RICE-EVANS, C. A.; DAVIES, M. J.; GOPINATHANN, V.; MILNER, A. A novel method for measuring antioxidant capacity and its application to monitoring the antioxidant status in premature neonates. **Clinical Science**, v. 84, pp. 407-412, 1993.

NURHAN, USLU; MEHMET MUSAÖZCAN. Effect of microwave heating on phenolic compounds and fatty acid composition of cashew (*Anacardium occidentale*) nut and oil. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**. v.18, n. 3, pp 344-347

OGBAGA, C.C.; MILLER, M.A.; JOHNSON, G.N. Fourier transform infrared spectroscopic analysis of maize (Zeamays) subjected to progressive drought reveals involvement of lipids, amides and carbohydrates. **African Journal of Biotechnology**, v.16, n.18, pp.1061–1066, 2017.

PATEL, R. N., BANDYOPADHYAY, S., & GANESH, A. Extraction of cashew (*Anacardium occidentale*) nut shell liquid using supercritical carbon dioxide. **Bioresource Technology**, v.97, n.6, pp.847–853, 2006.

PINHO, L. X.; AFONSO, M. R.A; CARIOCA, J. D. B.; COSTA, J. M.; RYBKA, A. C. P. Desidratação e aproveitamento de resíduo de pedúnculo de caju como adição de fibra na elaboração de hambúrguer. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara. v. 22, n. 4, pp. 571-576, 2011.

PULIDO, R.; BRAVO, L.; SAURA-CALIXTO, F. Antioxidant activity of dietary as determined by a modified ferric reducing/ antioxidant power assay. **Journal Agriculture and Food Chemistry**, v. 48, pp. 3396-3402, 2000.

QUEIROZ, CHRISTIANE; LOPES, MARIA LÚCIA M; FIALHO, ELIANE; MESQUITA, VERA LÚCIA VALENTE. Changes in bioactive compounds and antioxidant capacity of fresh-cut cashew apple. **Food Research International**, v 44, n 5, pp 1459-1462, 2011.

RAGHAVARAO, K.S.M.S.; RANGANATHAN; T.V.; KARANTH, N.G. Some engineering aspects of solid-state fermentation, **Biochemical. Engineering Journal**, v.13, pp. 127 – 135, 2003.

REHMAN, ZIA-UR; HABIB, FARZANA; ZAFAR S.I. Nutritional changes in maize (*Zea mays*) during storage at three temperatures. **Food Chemistry**, v. 77, n. 2, pp. 197-201, 2002.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURACALIXTO, F.; MANCINI-FILHO, J. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, v. 121, pp. 996-1002, 2010.

SCHMIDT, C. G., GONÇALVES, L. M., PRIETTO, L., HACKBART, H. S., & FURLONG, E. B. (2014). Antioxidant activity and enzyme inhibition of phenolic acids from fermented rice bran with fungus *Rizhopus oryzae*. **Food Chemistry**, v.146, pp371–377.

SIFOLO S. COULIBALY; PIUS M. NEDEGWA; MICHAEL AYIANIA; I.A.BI ZORO. Growth, reproduction, and life cycle of *Eudrilus eugeniae* in cocoa and cashew residues. **Applied Soil Ecology**, v 143, pp 153-160, 2019.

SILVA, J. S., MENDES, J. S., CORREIA, J. A. C., ROCHA, M. V. P., & MICOLI, L. . Cashew apple bagasse as new feedstock for the hydrogen production using dark fermentation process. **Journal of Biotechnology**. 2018

SILVA, M. R.; LACERDA, D. B. C. L.; SANTOS, G. G.; MARTINS, D. M. de O. Caracterização química de frutos nativos do Cerrado. **Ciência Rural**, v. 38, n. 6, p. 1790-1793, 2008.

SILVA, M. R.; SILVA, M. S.; OLIVERIA, J. S. Estabilidade de ácido ascórbico em pseudofrutos de caju-do-Cerrado refrigerados e congelados., **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 34, n. 1, pp. 9-14, 2004.

SOARES, M.; WELTER, L.; KUSKOSKI, E. M.; GONZAGA, L.; FETT, R. Compostos fenólicos e atividade antioxidante da casca de Uvas Niágara e Isabel. **Revista Brasileira. Fruticultura.**, Jaboticabal - SP, v. 30, n. 1, p. 059-064, 2008.

SOEIRO, BRUNO THIAGO; BOEN, THAÍS REZENDE; PEREIRA-FILHO, EDENIR RODRIGUES; LIMA-PALLONE, JULIANA AZEVEDO. Investigação da qualidade de farinhas enriquecidas utilizando Análise por Componentes Principais (PCA). **Ciência Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v 30, n 3, p 618-624, jul. – set 2010.

SOUSA, MILENA FIGUEIREDO DE; GUIMARÃES, RAFAIANE MACEDO ; ARAÚJO, MARCOS DE OLIVEIRA ; BARCELOS, KEYLA REZENDE ; CARNEIRO, NÁRGELLA SILVA ; LIMA, DANIELE SILVA ; SANTOS, DAIANE COSTA DOS ; BATISTA, KARLA DE ALELUIA ; FERNANDES, KÁTIA FLÁVIA ; LIMA, MAYRA CONCEIÇÃO PEIXOTO MARTINS ; EGEA, MARIANA BURANELO . Characterization of corn (*Zea mays* L.) bran as a new food ingredient for snack bars. **LWT-Food Science and Technology**, v. 101, pp. 812-818, 2019.

SOUZA, P. L. C., & SILVA, M. R. Quality of granola prepared with dried caju-docerrado (*Anacardium othonianum* Rizz) and baru almonds (*Dipteryx alata* Vog). **Journal of Food Science and Technology**, v 52, n 3, pp. 1712-1717, 2015.

SUAZO, Y.; DAVIDOV-PARDO, G.; AROZARENA, I. Effect of fermentation and roasting on the phenolic concentration and antioxidant activity of cocoa from Nicaragua **Journal of Food Quality**, v. 37, pp. 50-56, 2014.

CAPÍTULO II. Cinética de secagem e qualidade tecnológica de coprodutos fermentados por *Rhizopus oligosporus*

RESUMO: À medida que a população mundial aumenta, existe grande demanda por alimentos. Neste sentido, o aproveitamento de resíduo sólido da produção de suco de *Anacardium othonianum* Rizz e farelo de milho é uma alternativa de agregar valor a estes coprodutos, utilizando a biotransformação pela fermentação em estado sólido com microorganismos. Assim, o objetivo neste trabalho foi promover a bioconversão dos coprodutos de *Anacardium othonianum* Rizz e de milho pelo fungo *Rhizopus oligosporus* por meio da fermentação em estado sólido, analisar a cinética de secagem dos materiais para diferentes condições de ar e avaliar suas propriedades químicas, tecnológicas, compostos bioativos e atividade antioxidante. Os coprodutos após a fermentação foram secos utilizando quatro temperaturas 50, 60, 70 e 80°C, seguidas de trituração e homogeneização para padronização como farinha e avaliar qualidade por meio de análises químicas, tecnológicas, atividade antioxidante e compostos bioativos. Os modelos matemáticos que melhor se ajustaram aos dados experimentais da cinética para a produção de farinha foram Midilli, Wan e Sing e Valcam para a cinética de secagem 100% caju-de-árvore-do-cerrado fermentado, 75% caju-de-árvore-do-cerrado e 25% farelo de milho fermentado e 100% de caju-de-árvore-do-cerrado, respectivamente. Em relação as análises realizadas nas farinhas, as amostras 100% caju-de-árvore-do-cerrado fermentado, 100% caju-de-árvore-do-cerrado obtiveram maiores teores de proteínas, atividade antioxidante e compostos fenólicos e menores teores de lipídeos em relação as amostras de 75% caju-de-árvore-do-cerrado e 25% farelo de milho fermentado em todas as temperaturas em estudo. Concluiu-se que a utilização destes coprodutos de origem vegetal em bioprocessos possibilita sua utilização como substratos alternativos, além de colaborar com a atenuação de problemas de poluição, que sua disposição causa.

PALAVRAS-CHAVE: Milho, *Anacardium othonianum* Rizz., fermentação em estado sólido, farinha.

CHAPTER II Drying kinetics and technological quality of byproducts fermented by *Rhizopus oligosporus*

ABSTRACT: The world population is constantly increasing and consequently there is a great demand for food. In this sense, the use of solid residue from the *Anacardium othonianum* Rizz juice and corn bran production is an alternative to add value to these byproducts using solid state fermentation with micro-organisms. The objective of this work was to promote the bioconversion of *Anacardium othonianum* Rizz and corn byproducts by *Rhizopus oligosporus* by solid state fermentation and to evaluate the contribution of the chemical and nutritional properties of these byproducts to the development of a new ingredient for the food industry. The byproducts after fermentation were dried using four temperatures 50, 60, 70 and 80 ° C, followed by grinding and homogenization for standardization as flour and quality evaluation by chemical, technological analysis, antioxidant activity and bioactive compounds. It was concluded that for the drying kinetics C100, C75FM25 and CC the models that presented the best fit to the obtained experimental data were Midilli, Wan and Sing and Valcam respectively. Regarding the analyzes performed on the flours, samples C100 and CC obtained higher protein content, antioxidant activity and phenolic compounds and lower lipid content compared to C75FM25 samples at all temperatures under study. It was concluded that the use of these byproducts of plant origin in bioprocesses allows their use as alternative substrates, besides contributing to the attenuation of pollution problems, which their disposition could cause. With the advent of biotechnological innovations, new perspectives were visualized for its use, mainly in the area of food technology and fermentation to obtain bioproducts.

KEYWORDS: Corn, *Anacardium othonianum* Rizz., Solid state fermentation, flour.

1. Introdução

A fermentação é um processo biotecnológico usado para aumentar a vida de prateleira e as qualidades nutricionais e sensoriais dos alimentos (Hur et al., 2014). Este tipo de biotratamento é também utilizado na produção de alimentos para enriquecer ou disponibilizar compostos bioativos, tais como vitaminas e fenólicos e de atividade com potencial antioxidante, bem como para aumentar seu valor nutricional, por exemplo, por digestão parcial de macromoléculas, nos substratos (STARZYŃSKA-JANISZEWSKA et al., 2019).

Um alimento tradicional na Indonésia produzido utilizando fermentação em estado sólido com fungos é o “Tempeh” de soja que geralmente é fermentado com as cepas de espécies *Rhizopus* como *Rhizopus oligosporus*, *Rhizopus arrhizus* e *Rhizopus stolonifer*. “Tempeh” é reconhecido como bom substituto de produtos de carne para vegetarianos pelo seu alto teor de proteína (HUANG et al., 2019).

O farelo de milho (FM) é um coproduto mais abundante e de menor valor agregado do processo industrial de moagem de milho para obtenção de grits cervejeiro ou após a extração de óleo (YADAV et al., 2016). O FM é constituído da camada externa dos cereais, já que o endosperma é usado para a produção do grits, e muitas vezes ele é descartado ou usado para alimentação animal pelo seu baixo valor comercial, quando na verdade poderia ser utilizado na alimentação humana (CODA et al., 2015; GUIMARÃES et al., 2019; SOUSA et al., 2019).

O *Anacardium othonianum* Rizz. popularmente conhecida como caju-de-árvore-do-cerrado faz parte da família *Anacardiaceae*. Essa espécie é típica do Cerrado e possui porte arbóreo com 3-4 metros de altura. A castanha é o seu fruto verdadeiro, frequentemente consumida torrada, apresenta alto teor de óleo, enquanto o pseudofruto (pedúnculo) é a parte carnosa, normalmente consumido *in natura*, ou utilizado no preparo de geleia, suco, licor, doce e infusões em aguardente. Quando maduros, os pseudofrutos apresentam coloração de amarelo a vermelho, dimensões de 2 a 4 cm de comprimento, 2 a 3 cm de diâmetro e peso entre 5 e 12 g (SILVA et al., 1994).

As indústrias alimentícias têm usado estratégias para suplementar produtos com ingredientes que são veículos para compostos funcionais, como produtos e subprodutos de origem vegetal (BHARAT HELKAR, SAHOO, & PATIL, 2016). Houve aumento considerável no consumo de produtos de origem vegetal, este fato está relacionado a busca por melhoria de qualidade de vida, e os consumidores estão buscando consumir frutos, vegetais ou processados com maior valor nutricional. Relacionado a importância

do desenvolvimento de processados de frutas, estuda-se a farinha como alternativa para veicular compostos nutricionalmente benéficos, podendo ser facilmente inserida na dieta humana devido ao custo benefício (BRITO et al., 2017).

Para a produção de farinhas utilizar o processo de secagem é uma tecnologia que permite a preservação das propriedades físicas, químicas e microbiológicas durante o armazenamento por reduzir o teor de água a níveis seguros (RESENDE et al., 2018). Várias teorias têm sido propostas para prever o comportamento da secagem, na maioria das vezes, as relações semiempíricas e empíricas têm-se mostrado como melhores opções para prever o processo de secagem (Resende et al., 2010).

A estimação dos parâmetros em modelos não lineares baseia-se na minimização da soma do quadrado dos resíduos, obtendo o sistema de normal não linear equações, cuja solução requer o uso de método iterativo. Entre os procedimentos iterativos, o mais comum é a de Gauss-Newton (RIBEIRO et al., 2018). Uma característica importante do não linear modelos é que, para ajustes adequados, o parâmetro estimados apresentam interpretação prática e preditiva com base em dados experimentais analisados (MAZZINI et al., 2005). A secagem é um método importante, o produto seco pode ser utilizado fora da sua sazonalidade e distante em localização geográfica da área de produção da matéria-prima.

Assim, o objetivo neste trabalho foi produzir uma farinha a partir de coprodutos de milho e caju-de-árvore-do-cerrado fermentados por *R. oligosporus*, e analisar a cinética de secagem destes materiais para diferentes condições de temperatura de ar, bem como as suas propriedades químicas, tecnológicas, compostos bioativos e atividade antioxidante.

2. Materiais e Métodos

2.1. Material vegetal

O farelo de milho (FM) foi cedido por uma agroindústria produtora de grãos de milho da região de Rio Verde (Goiás, Brasil) que foi gerado a partir do processo de moagem seca. O FM foi recebido no Laboratório de Biocompostos e Bioprocessos, e foi separado em embalagens de polipropileno (30×40) e armazenados sob refrigeração (8°C) até a realização das análises.

O coproduto do caju-de-árvore-do-cerrado (bagaço) foi obtido da produção de suco de *A. othonianum* Rizz. Os frutos foram coletados no estádio de maturação

considerado maduro no mês de agosto a setembro de 2018 em áreas remanescentes do Cerrado Goiano, na Fazenda Gameleira localizada na cidade de Montes Claros de Goiás (-16.1634, -51.3208). Após a coleta, os pseudofrutos foram separados do fruto, lavados, sanitizados e acondicionados em embalagens plásticas de polipropileno (30×40) e armazenados sob refrigeração (-26°C) até a produção do suco.

Para a extração do suco, o pseudofruto foi homogeneizado em liquidificador e o resíduo sólido separado por processo de filtração em malhas de fibras de nylon. O resíduo sólido do suco foi homogeneizado, armazenado em embalagens plásticas de polipropileno (30×40) e congelado (-26°C) até a utilização.

2.2. Fermentação em estado sólido

A cepa de *Rhizopus microsporus* van Tieghem var. *oligosporus* IOC 3801 foi obtido por doação da Coleção de Culturas de Fungos Filamentosos do Instituto Oswaldo Cruz (Rio de Janeiro, Brasil) em forma ativa e sua manutenção foi realizada por meio de repiques periódicos (15 dias) em ágar PGA (Potato Glucose Agar). As combinações dos substratos estão apresentadas na Tabela 1 e, após a homogeneização a inoculação em 100 g do fungo foi realizada e as embalagens individuais de polipropileno (14 x 20 cm), devidamente seladas e perfuradas a cada 1 cm de distância, foram mantidas em câmaras de germinação modelo (Technal/TE-402) com temperatura controlada de 28°C e circulação de ar, durante o período de 32 horas. Todo o procedimento foi realizado em câmara de fluxo laminar com todos os materiais (incluindo substrato e água) previamente esterilizados em autoclave (121°C por 15 minutos). A contagem dos esporos para a inoculação foi realizada em câmara de Neubauer utilizando microscópio eletrônico.

Tabela 4. Tratamentos experimentais da fermentação em estado sólido de coproduto de milho e caju-de-árvore-do-cerrado utilizando *R. oligosporus*

Tratamentos	Resíduo sólido caju-de-árvore-do-cerrado	Farelo de milho	Concentração de esporos (log/mL da suspensão)
C100	100%	0%	10 ⁸
C75FM25	75%	25%	10 ⁸
CC	100%	0%	S/ fermentação

Após a fermentação em estado sólido, as amostras foram homogeneizadas, para que cada tratamento tivesse o mesmo aspecto e concentração em todo seu interior e seguiram para a cinética de secagem.

Após a secagem os tratamentos foram submetidos ao processo de moagem em moinho de facas (Start FT 50, Fortinox, Brasília, Brasil) e homogeneizado em peneira com malha de 250 mesh, após isso as amostras foram submetidas as análises químicas, compostos fenólicos, atividade antioxidante pelo método de (DPPH, ABTS e FRAP).

2.3 Cinética de Secagem

O experimento foi desenvolvido no Laboratório de Pós-Colheita de Produtos Vegetais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde (IF Goiano - Campus Rio Verde), com coprodutos de acordo com a Tabela 1. A secagem das amostras foram conduzidas em quatro temperaturas do ar sendo 50, 60, 70 e 80°C, sob umidade relativa interna de 14,3, 8,94, 5,72, 3,83%, respectivamente, em estufa de ar forçado (Ethik Technology / 400-4ND). As temperaturas do ar de secagem e temperatura ambiente foram monitoradas por termômetros e a umidade relativa no interior da estufa foi obtida com base nos princípios básicos da psicrometria, utilizando o programa de computador GRAPSI.

Os coprodutos foram dispostos em três porções de 300 g, em bandejas de metal (23 cm de comprimento x 8,5 cm de largura) em uma camada de massa de 2,0 cm de espessura. As bandejas foram pesadas até o teor de água final de 0,14 para C100, CC e para C75FM25 de 0,12 (b.s.) para as quatro temperaturas em estudo. O teor de água foi calculado pela diferença entre as massas nos diferentes tempos de secagem, considerando o teor de água inicial. Para a determinação das curvas de secagem e ajustes dos modelos, a secagem dos coprodutos foi conduzida até que eles apresentassem massa constante. Os teores de água do produto foram determinados em estufa a $105 \pm 3^\circ\text{C}$, até massa constante.

As razões de teor de água dos produtos durante a secagem foram determinadas usando a Eq.1:

$$R_x = \frac{X - X_E}{X_I - X_E} \quad (1)$$

em que:

R_X –razão de teor de água, adimensional;

X - teor de água do produto em um determinado instante de tempo, (b.s.);

X_i - teor de água inicial do produto, (b.s.);

X_e - teor de água de equilíbrio do produto (b.s.).

A secagem foi prevista utilizando doze modelos matemáticos, apresentados na Tabela 2, que muitos comumente utilizados na literatura para representação da cinética de secagem de produtos vegetais.

Tabela 2. Modelos matemáticos utilizados para prever a secagem dos produtos de origem vegetal

	MODELO	EQUAÇÃO MODELO
(2)	Aproximação de difusão	$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1-a) \exp(-k \cdot b \cdot t)$
(3)	Dois termos	$RX = a \cdot \exp(-k_0 \cdot t) + b \cdot \exp(-k_1 \cdot t)$
(4)	Exponencial de dois termos	$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1-a) \exp(-k \cdot a \cdot t)$
(5)	Henderson e Pabis	$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t)$
(6)	Logarítmico	$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + c$
(7)	Midilli	$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t^n) + b \cdot t$
(8)	Newton	$RX = \exp(-k \cdot t)$
(9)	Page	$RX = \exp(-k \cdot t^n)$
(10)	Thompson	$RX = \exp\left(\frac{-a - (\sqrt{a^2 - 4 \cdot b \cdot t})}{2b}\right)$
(11)	Verma	$RX = a \cdot \exp(-kt) + (1-a) \exp(-k_1 \cdot t)$
(12)	Wang e Sing	$RX = 1 + at + bt^2$

(13)

Valcam

$$RX=a+b.t+c.t^{1,5}+c.t^2$$

Em que:

RX – razão de teor de água, adimensional;

a, b, c, n – parâmetros da equação;

t – tempo de secagem, (h);

k, k₀, k₁ – constante da equação (h⁻¹).

Os modelos matemáticos foram ajustados por meio da análise de regressão não linear pelo método de Gauss-Newton. O grau de ajuste dos modelos aos dados experimentais foi avaliado com base na magnitude do coeficiente de determinação ajustado (R²), erro médio estimado (SE) Equação 14 e erro relativo médio (P) Equação 15, o teste de Qui-quadrado (χ^2) Equação 16 ao nível de significância de 5% e o intervalo de confiança a 95 % (p<0,05).

$$SE = \sqrt{\frac{\sum(Y - \hat{Y})^2}{GLR}} \quad (14)$$

$$P = \frac{100}{n} \sum \frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \quad (15)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum(Y - \hat{Y})^2}{GLR} \quad (16)$$

Em que:

Y: valor experimental;

\hat{Y} : valor estimado pelo modelo;

N: número de observações experimentais;

DF: graus de liberdade do modelo (número de observações experimentais menos o número de parâmetros do modelo).

2.4. Análises químicas

O pH foi medido em potenciômetro digital de bancada modelo LUCA-210 (Lucadema, Campinas, Brasil) previamente calibrado com soluções tampão padrões (pH

7,0 e 4,0) (método 943.02, AOAC, 2000). Uma solução contendo 5 g de amostra em 50 mL de água destilada foi utilizada para determinar a acidez titulável total por titulação com solução NaOH 0,1N utilizando fenolftaleína a 1% como indicador do ponto de viragem obtendo coloração rósea persistente por 30 segundos e foi expressa em g de ácido cítrico da amostra e calculada através da Equação 17 (IAL, 2008).

$$\text{Acidez Titulável (g 100 g}^{-1}\text{)} = \frac{[(V \times f \times M \times 100)]}{P} \quad (17)$$

Em que V é volume em mL de hidróxido de sódio gastos na titulação, f é o fator de correção da solução de hidróxido de sódio, P é a massa da amostra em g, e, M é a molaridade da solução de hidróxido de sódio. O teor de sólidos solúveis foi quantificado por leitura direta de solução de (2:20) da amostra e água destilada em refratômetro digital Reichert modelo 14043 (Reichert, Depew, EUA).

O teor de água (g 100g⁻¹) foi determinado por secagem de 3 g de amostra em estufa de secagem com circulação de ar (Ethik Technology / 400-4ND) a 105°C até massa constante (n° 968.11, AOAC, 2000). O teor de água foi calculado utilizando a Equação 18.

$$\text{Teor de água (g 100 g}^{-1}\text{)} = \left[\left(\frac{(P_{\text{AMOSTRAÚMIDA+CADINHO}}) - (P_{\text{AMOSTRASECA+CADINHO}})}{P_{\text{AMOSTRAÚMIDA}}} \times 100 \right) \right] \quad (18)$$

Após a determinação do teor de água o resíduo mineral fixo (g 100g⁻¹) foi quantificado após a pesagem da matéria seca por incineração em mufla 550°C até obtenção de cinzas com cores claras (n° 94546, AOAC, 2010). Os resíduos por incineração foram calculados utilizando a Equação 19.

$$\text{Cinzas (g 100 g}^{-1}\text{)} = \left[\left(\frac{(P_{\text{CADINHO+AMOSTRASECA}}) - (P_{\text{CADINHO}})}{P_{\text{AMOSTRA(g)}}} \times 100 \right) \right] \quad (19)$$

A quantificação de lipídeos foi realizada de acordo utilizando o método de Soxhlet (método n° 925.38, AOAC, 2000), e 2 g da amostra acondicionado em papel de filtro e

amarrado com fio de lã previamente desengordurado, colocado no aparelho de Soxhlet, adicionado de hexano, acoplado aos destilados do aparelho e mantido sob aquecimento por 8 horas (quatro a cinco gotas por segundo). Após a destilação, os balões foram levados para a estufa a 105°C para a evaporação do solvente residual e pesados. Os resultados foram calculados utilizando a Equação 20 e expressos em g/100g de lipídeos.

$$\text{Lipídeos (g 100 g}^{-1}\text{)} = \left[\frac{(100 \times m \times m')}{P_{\text{AMOSTRA(g)}}} \right] \quad (20)$$

Em que m = massa de lipídios (g); e m' = massa da matéria seca.

O teor de proteínas (g 100 g⁻¹) foi determinado pelo método micro Kjeldhal (n° 99120, AOAC, 2000). Na digestão, foram usados 0,6 g da amostra sólida, adicionado de 2,5 gramas da mistura catalítica (100 g de K₂SO₄, 10 g de CuSO₄ e 0,8 g de selênio metálico em pó) e 7 mL de ácido sulfúrico. A digestão a quente foi realizada a 400°C até destruição completa da matéria orgânica e obtenção de uma solução com coloração verde e translúcida. Após o resfriamento até temperatura ambiente, foram adicionados 10 mL de água destilada em cada tubo e os mesmos foram levemente agitados até atingirem coloração azul clara. Na destilação, foram adicionados 20 mL de solução de NaOH 40% ao destilador e acoplado para recolhimento de 125 mL do destilado, um Erlenmeyer com 20 mL de ácido bórico com indicador misto, e por fim foi realizada a titulação com HCl 0,1 N padronizado, com o teor obtido pela Equação 21.

$$\text{Proteína Bruta(g 100 g}^{-1}\text{)} = [(\text{mL(HCl)} \times F \times N \times 0,014 \times f \times 100)] \quad (21)$$

Em que mL HCl é volume de HCl gasto na titulação, N é a normalidade do HCl titulado (0,1), F é o fator de correção da normalidade do ácido e f é o fator de conversão de N em proteína, que foi utilizado 6,25 como indica a RDC N° 360 (BRASIL, 2003).

O teor de carboidratos (g 100⁻¹) foi calculado por diferença de acordo com a Equação 22.

$$\text{Teor de Carboidrato (g 100 g}^{-1}\text{)} = [(100 - \text{umidade} - \text{cinzas} - \text{lipídeos} - \text{proteínas})] \quad (22)$$

O valor calórico foi determinado pelo fator de conversão de Atwater, que consiste na soma do teor proteico multiplicado por 4, lipídeos multiplicados por 9 e carboidratos multiplicado por 4 (Horwitz, 2005).

2.5 Compostos fenólicos e atividade antioxidante

A atividade antioxidante das farinhas foi realizada utilizando três métodos diferentes, sendo: DPPH (2,2-difenil-1picril-hidrazila) foi determinado conforme proposto por Brand-Williams, Cuvelier e Berset (1995), com modificações, ABTS (2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico)) foi determinada de acordo com o proposto por Miller et al., (1993), com modificação de Rufino et al., (2010) e FRAP descrito por Benzie e Strain (1996) e modificado por (PULIDO et al., 2000). O extrato foi preparado utilizando metanol 50% e acetona 70%, utilizando 2 g das amostras obtidos de cada tratamento. O volume do extrato foi acertado com água destilada para 100 mL (LARRAURI et al., 1997). Para o método de DPPH, foram adicionados 3,9 mL de solução de radical DPPH e 0,1 mL do extrato preparados em tubos de ensaio, deixando reagir por 30 minutos protegidos da luz, e a absorbância a 515 nm foi medida em espectrofotômetro UV-Vis para observar a mudança de cor que indica a captura do radical livre DPPH os resultados foram expressos em equivalentes μM DPPH que foi obtido por curva padrão.

A atividade antioxidante por redução do ferro (FRAP), foi realizada adicionando uma alíquota de 90 μL do extrato, 270 μL de água destilada e 2,7 mL do reagente FRAP, previamente obtido a partir da mistura de tampão acetato (0,3 M, pH 3,6), solução de TPTZ (10 mM) e solução de cloreto férrico (20 mM), em uma proporção de 100:10:10. Após a homogeneização, a amostra foi submetida ao abrigo da luz por 30 minutos 37°C com posterior leitura de absorbância em espectrofotômetro UV-Vis a 595 nm e os resultados foram expressos em equivalentes de sulfato ferroso que foi obtido por curva padrão.

Para a quantificação de compostos fenólicos totais, 200 μL do extrato de FM foi adicionado de 1,9 mL do reagente Follin-Ciocalteau 1:9 em água destilada recém-preparada. Para neutralizar a mistura 1,9 mL da solução aquosa de carbonato de sódio (60 g L^{-1}) foi usada para neutralizar a mistura. Após 120 minutos da reação na ausência de luz e temperatura ambiente, a absorbância foi medida em 725 nm. O cálculo foi realizado utilizando a curva padrão e os resultados expressos em g equivalentes de ácido ferúlico (EAF) por 100 g da amostra (LI et al., 2009).

2.6 Análise por espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)

A análise FTIR é realizada para detectar os principais grupos funcionais na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) foram realizadas em um equipamento PerkinElmer modelo (FT-IR /NIR Spectrometer, Frontier), seguindo as seguintes condições com espectros coletados na faixa de número de onda 4000-650 cm⁻¹.

2.7 Avaliações tecnológicas da farinha

A avaliação de cor foi realizada com colorímetro digital portátil (Konica Minolta, CR400, JAPÃO), calibrado de acordo com os parâmetros de iluminância D65 e a leitura realizada diretamente na amostra através de feixe disparado pelo equipamento, os parâmetros L* (luminosidade), a*(+:vermelho, -:verde), b* (+: amarelo, -:azul), C* (Chroma: saturação) e hab (ângulo hue: tonalidade) que foram obtidos pelo próprio equipamento, através das coordenadas do espaço de cor CIE (*Commission Internationale de l'Eclairage*).

O índice de absorção de água (IAA), solubilidade em água (SA) e capacidade de absorção de óleo (CAO) foram determinados segundo Okezie e Bello (1988). Para isso, 0,5 g de farinha e 25 mL de água destilada foram agitados por 2 minutos em vortex modelo (Multifunctional Vortex – Kasvi K40-1020) e centrifugados (5300 rpm, 20 minutos) em modelo (Centrífuga SL - 700 Solab), e o sobrenadante foi colocado em placa previamente tarada e levado a estufa com circulação de ar (Technal TE-394/1) a 105°C para evaporação da água. SA foi calculado pela Equação 23, enquanto o sólido úmido foi pesado e IAA foi calculado pela Equação 24. A mesma metodologia foi utilizada substituindo água por óleo para a determinação da CAO que foi calculada através da Equação 25.

$$SA = \frac{\text{RESÍDUO DE EVAPORAÇÃO (g)}}{\text{PESO DA AMOSTRA (g)}} \times 100 \quad (23)$$

$$IAA = \frac{\text{ÁGUA ABSORVIDA PELA AMOSTRA (g)}}{\text{PESO DA AMOSTRA (g)}} \quad (24)$$

$$CAO = \frac{\text{ÓLEO ABSORVIDO PELA AMOSTRA}}{\text{PESO DA AMOSTRA (g)}} \quad (25)$$

A capacidade de formação de emulsão das farinhas foi determinada segundo a metodologia descrita por Yasumatsu et al. (1972). Sendo preparada uma suspensão com 7 g de amostra em 100 mL de água destilada e 100 mL de óleo de soja. A suspensão foi agitada em agitador de haste durante 1 min em velocidade moderada, posteriormente foi dividida em tubos graduados e centrifugados por 5 min a 3000 rpm. Para a capacidade de formação de espuma será usada a seguinte Equação 26.

$$\text{FORMAÇÃO DE EMULSÃO(\%)} = \frac{V_{EI}}{V_I} \quad (26)$$

Em que:

V_{EI} = volume da camada de emulsão;

V_I = volume total da suspensão no tubo.

Para determinar a estabilidade da emulsão (EE), foram utilizados os mesmos tubos com as emulsões da determinação da atividade emulsificante, inicialmente foram anotados os valores da camada emulsificadora, em seguida os tubos foram aquecidos em banho-maria a 80 °C por 30 min e posteriormente resfriados por 20 min em água corrente, e seguiu-se com centrifugação dos tubos com a amostra a 3000 rpm por 5 min. Anotou-se o volume da camada de emulsão final, ou seja, a camada emulsificadora (remanescente). A Equação 27 foi utilizada para calcular EE:

$$\text{ESTABILIDADE DE EMULSÃO (\%)} = \frac{C_{ER}}{C_{EI}} \quad (27)$$

Em que:

C_{ER} = camada emulsificada remanescente, expressa em mL;

C_{EI} = camada emulsificada inicial, expressa em mL.

2.8 Análise Estatística

As análises foram realizadas em triplicata analítica, os resultados foram avaliados através de análise de variância (ANOVA), seguido pelo teste de Tukey para comparação de médias entre as amostras (5% de significância), através de software estatístico Sisvar 5.6.

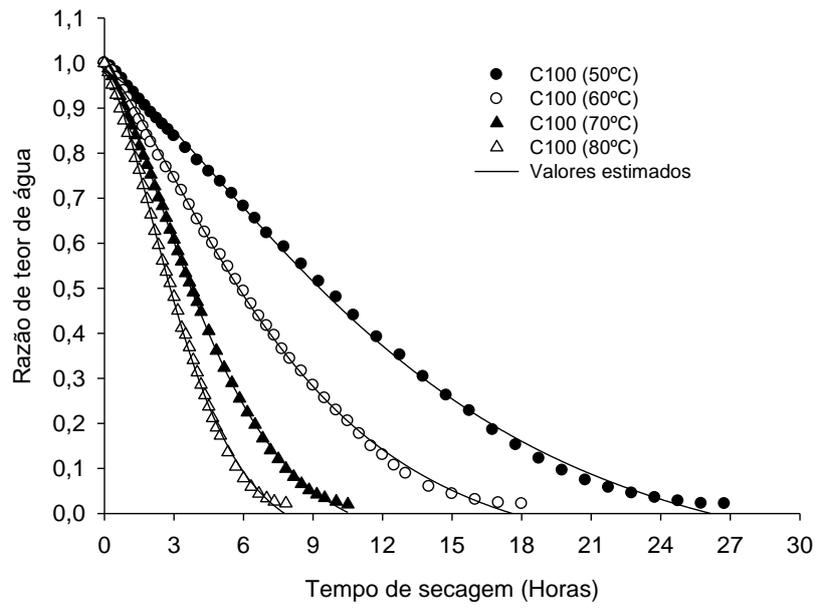
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Cinética de secagem

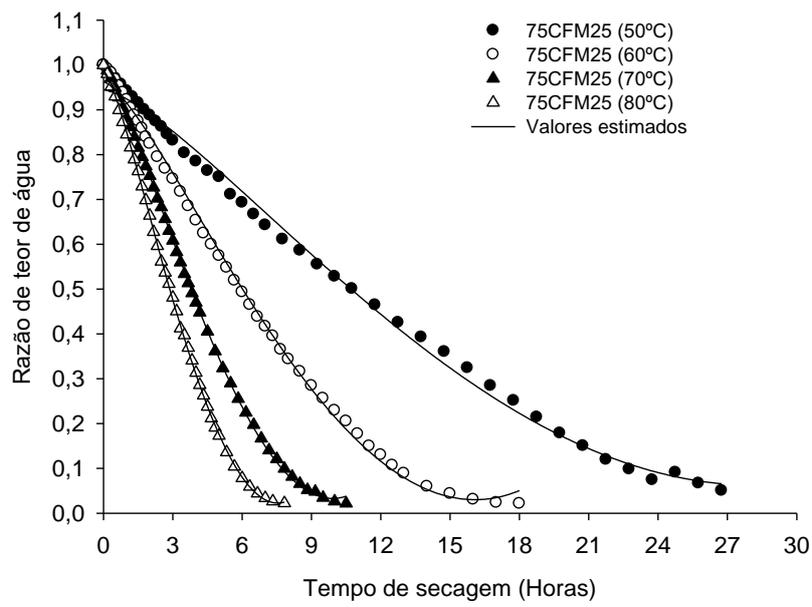
O processo de secagem permite que o potencial nutritivo do coproduto seja conservado, diminui a perecibilidade e promove o aproveitamento da cadeia integral do produto (ARAÚJO et al., 2017). Os resultados das perdas de massa coletados durante o processo de secagem dos coprodutos de C100, 75CFM25 e CC foram convertidos em razões de teor de água variando em função do tempo de secagem e estão apresentados na Figura 2, para as temperaturas de 50, 60, 70 e 80°C. Para atingir o teor de água final foram necessários 26,75; 18,00; 10,50; 7,33 horas para C100; 27,75; 19,00; 10,00; 7,83 horas para 75CFM25 e 29,00; 18,00; 10,00 e 8,33 horas para CC, para as temperaturas 50, 60, 70 e 80 °C, respectivamente. As diferenças obtidas neste trabalho para a produção de farinha nos tempos de secagem ocorrem principalmente pelas diferentes temperaturas aplicadas no processo e estão relacionadas às características finais de cada produto. Como esperado, foi possível verificar que o tempo de secagem reduziu com o aumento da temperatura do ar para todos tratamentos estudados este comportamento já havia sido verificado para sementes de *Jatropha curcas* (Siqueira et al., 2012), para frutos de *Malpighia emarginata* (Rosa et al., 2015) e para polpa de *Averrhoa carambola* (Silva et al., 2016). Isso acontece porque com o aumento da temperatura aumenta a diferença entre a pressão de vapor do ar de secagem e a das amostras, assim, aumenta o potencial de transferência de calor entre o ar e a camada do produto proporcionando maior redução de água em menor período.

As curvas de secagem bem como o ajuste do modelo estão apresentadas na Figuras 1. Foi possível observar que em todas as temperaturas houve maior perda de água no início do processo, com redução subsequente da taxa de migração de água do interior para a superfície, como resultado, menores taxas de secagem foram observadas na fase final da secagem.

(A)



(B)



(C)

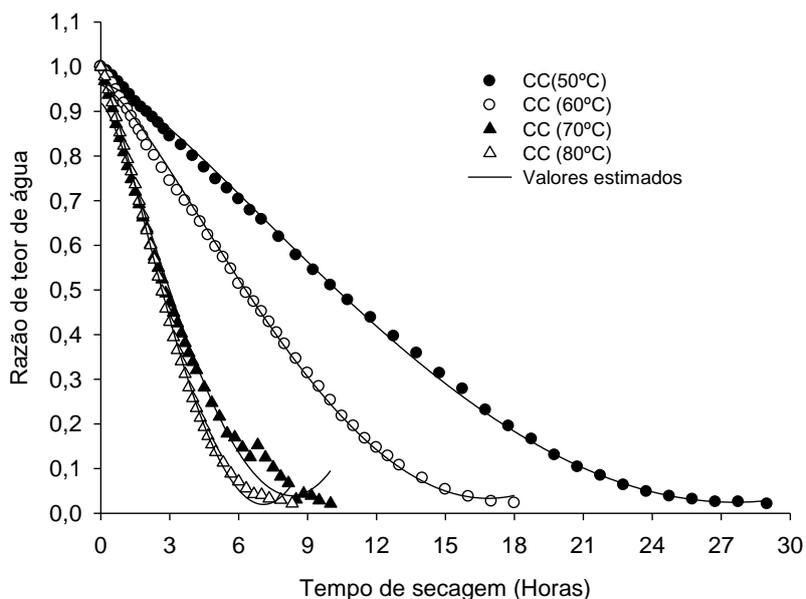


Figura 1. Ajuste de curvas de secagem dos coprodutos de C100 (A), 75CFM25 (B) e CC (C) sob diferentes temperaturas de 50, 60, 70 e 80°C.

Almeida et al. (2006) após avaliarem a cinética de secagem de resíduos de frutos de *Malpighia emarginata* apontaram que a temperatura é o fator que mais interfere no tempo de secagem, já que ela proporciona o aquecimento da água presente nos resíduos, ocasionando a evaporação, conseqüentemente, a diminuição na massa e volume do material submetido ao processo.

A qualidade dos ajustes dos modelos matemáticos pode ser observada nas curvas de secagem (Figura 1), destacando o diferente comportamento cinético das amostras de C100, C75FM25 e CC submetidas à secagem nas diferentes temperaturas.

Nas Tabela 3, 4 e 5 encontram-se as magnitudes do erro médio estimado (SE), erro médio relativo (P) e o coeficiente de determinação (R^2) para a comparação entre os doze modelos ajustados aos dados experimentais de razão de teor de água para o processo de secagem.

Kashaninejad et al. (2007) relatam que os valores do erro médio relativo (P) indicam o desvio dos valores observados em relação à curva estimada pelo modelo, enquanto Mohapatra e Rao (2005) consideram modelos com valores de erro médio relativo superiores a 10% inadequados para a descrição de um determinado fenômeno. Os valores do erro médio estimados indicam a capacidade de cada modelo em descrever com fidelidade um determinado processo físico, sendo que quanto menor for sua magnitude melhor será a qualidade de ajuste do modelo em relação aos dados observados (DRAPER e SMITH, 1998).

Tabela 3. Coeficientes de determinação (R²), erros médios relativos (P%) e erro estimado (SE, decimal) para os modelos ajustados para coproduto fermentado (CC) submetidos a secagem a 50, 60, 70 e 80°C

MODELO	50°C				60°C				70°C				80°C			
	SE	P (%)	X2	R2(%)	SE	P (%)	X2	R2(%)	SE	P (%)	X2	R2(%)	SE	P (%)	X2	R2(%)
(2)	0,0033	21,57	0,0005	99,58	0,0215	39,92	0,0032	96,87	0,002	11,47	0,0003	99,67	0,0098	29,14	0,0016	98,47
(3)	0,0026	18,99	0,0004	99,68	0,0033	14,63	0,0005	99,55	0,0015	9,19	0,0002	99,77	0,0021	9,78	0,0003	99,70
(4)	0,0285	61,81	0,0044	96,45	0,0215	39,92	0,0032	96,87	0,0094	30,68	0,0015	98,46	0,0305	49,75	0,005	95,26
(5)	0,0202	51,65	0,0031	97,48	0,0152	33,44	0,0023	97,78	0,0058	24,10	0,0009	99,04	0,019	38,09	0,0031	97,05
(6)	0,0028	20,02	0,0004	99,65	0,0023	13,66	0,0003	99,67	0,0017	10,38	0,0003	99,73	0,0071	25,01	0,0012	98,89
(7)	0,0012	11,46	0,0002	99,85	0,001	7,36	0,0001	99,86	0,0006	4,93	0,0001	99,90	0,0006	5,08	0,0001	99,91
(8)	0,0288	61,82	0,0044	96,45	0,0215	39,92	0,0032	96,87	0,0095	30,68	0,0015	98,46	0,0309	49,75	0,005	95,26
(9)	0,0040	19,07	0,0006	99,50	0,0031	12,84	0,0005	99,55	0,0008	8,66	0,0001	99,86	0,001	5,28	0,0002	99,84
(10)	0,0285	61,82	0,0044	96,45	0,0215	39,93	0,0032	96,87	0,0094	30,69	0,0015	98,46	0,0305	49,76	0,005	95,25
(11)	0,0049	25,41	0,0008	99,38	0,0035	15,98	0,0005	99,49	0,0007	8,78	0,0001	99,88	0,0305	49,76	0,005	95,26
(12)	0,0021	16,03	0,0003	99,74	0,0015	10,03	0,0002	99,78	0,0012	9,66	0,0002	99,80	0,0061	17,46	0,001	99,05
(13)	0,0004	5,24	0,0001	99,95	0,0003	2,70	0,0001	1,00	0,0011	8,13	0,0002	99,83	0,0006	9,18	0,0001	99,90

Em relação aos coeficientes de determinação (R^2) observou-se que somente os modelos Aproximação da Difusão, Dois termos, Logarítmico, Midilli, Page, Wang e Sing e Valcam apresentaram valores superiores a 98% para todas as temperaturas de secagem.

Analisando os demais parâmetros, nota-se que para o (SE) todos os modelos avaliados mostraram-se próximos de zero. Em relação ao teste de Qui-quadrado, os treze modelos analisados se encontram no intervalo de confiança de 99%.

Em relação ao parâmetro (P) observa-se que o modelo de Dois termos e Page obtiveram ajuste deste parâmetro nas temperaturas de 70 e 80°C, enquanto na temperatura de 60°C o modelo de Verma se ajustou. Para o modelo de Midilli as temperaturas de 60, 70 e 80°C o (P) ficou abaixo de 10% e o modelo que teve ajuste do (P) para todas as temperaturas estudadas foi o Valcam (SIQUEIRA et al., 2013).

Assim, para a representação gráfica das curvas de secagem (Figura 1C), utilizou-se o modelo de Valcam que foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais para representação do fenômeno de secagem. Também pode ser observado a correspondência entre os valores experimentais e estimados e o ajuste satisfatório do modelo para descrição da secagem do tratamento CC.

Tabela 4. Coeficientes de determinação (R²), erros médios relativos (P%) e erro estimado (SE, decimal) para os modelos ajustados para coproduto fermentado (C100) submetidos a secagem a 50, 60, 70 e 80°C

MODELO	50°C				60°C				70°C				80°C			
	SE	P (%)	X ²	R ² (%)	SE	P (%)	X ²	R ² (%)	SE	P (%)	X ²	R ² (%)	SE	P (%)	X ²	R ² (%)
(2)	0,0277	59,53	0,0044	96,43	0,0277	18,01	0,0005	99,51	0,0057	21,54	0,0009	99,18	0,0066	24,33	0,0011	98,92
(3)	0,0191	49,07	0,0030	97,54	0,0191	13,93	0,0003	99,70	0,0217	44,54	0,0034	96,86	0,0033	18,65	0,0005	99,47
(4)	0,0277	59,53	0,0044	96,45	0,0277	42,76	0,0033	97,01	0,0355	57,30	0,0055	94,87	0,0353	57,71	0,0058	94,28
(5)	0,0191	49,08	0,0030	97,54	0,0191	34,57	0,0021	98,10	0,0217	44,54	0,0034	96,86	0,0226	46,21	0,0037	96,33
(6)	0,0027	18,72	0,0004	99,66	0,0027	15,50	0,0004	99,66	0,0036	17,73	0,0006	99,48	0,0046	20,45	0,0008	99,26
(7)	0,0009	9,46	0,0001	99,88	0,0009	7,16	0,0001	99,91	0,0003	4,95	0,0000	99,95	0,0006	6,77	0,0001	99,91
(8)	0,0281	59,53	0,0044	96,43	0,0281	42,76	0,0033	97,01	0,0359	57,30	0,0055	94,87	0,0353	57,71	0,0058	94,28
(9)	0,0033	17,07	0,0005	99,58	0,0033	11,36	0,0003	99,74	0,0013	9,81	0,0002	99,81	0,0017	10,84	0,0003	99,72
(10)	0,0277	59,53	0,0044	96,43	0,0277	42,75	0,0033	97,01	0,0355	57,31	0,0055	94,87	0,0353	57,72	0,0058	94,28
(11)	0,0042	23,23	0,0007	99,46	0,0042	14,77	0,0004	99,68	0,0029	17,51	0,0005	99,58	0,0038	20,07	0,0006	98,92
(12)	0,0021	15,04	0,0003	99,73	0,0021	10,64	0,0003	99,75	0,0044	16,82	0,0007	99,37	0,0054	19,55	0,0009	99,13
(13)	0,0002	3,56	0,0000	99,97	0,0002	1,52	0,0005	99,51	0,0001	1,59	0,0000	99,99	0,0001	1,83	0,0000	99,98

Pelos parâmetros estudados, os modelos de Midilli e Valcam se ajustam aos dados experimentais da secagem do tratamento C100. Foi possível observar na Tabela 4 os modelos de Logarítmico, Midilli, Page, Verma, Wang e Sing e Valcam apresentaram valores superiores a 98% para todas as temperaturas de secagem para os valores em relação aos coeficientes de determinação (R^2)

Avaliando os outros parâmetros observou-se para o (SE) para todos os modelos analisadores os valores ficaram próximos de zero. Em relação ao teste de Qui-quadrado, os doze modelos analisados se encontram no intervalo de confiança de 99%.

Os modelos de Midilli e Valcam para todas as temperaturas estudadas apresentaram valores abaixo de 10%. O modelo de Midilli foi escolhido para a representação gráfica das curvas de secagem por ser o mais conhecido e utilizado entre os dois modelos (Figura 1A), que foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais para representação do fenômeno de secagem. Também pode ser observado a correspondência entre os valores experimentais e estimados e o ajuste satisfatório do modelo para descrição da secagem.

Para estudos da polpa de *Annona cherimola* (Galdino et al., 2016), o modelo de Midilli foi o que apresentou melhores ajustes das curvas para todas as temperaturas secagem de 60, 70 e 80°C. Sousa et al. (2017), também relataram o modelo de Midilli como o que melhor ajustou para a secagem nas temperaturas de 50, 60 70 e 80°C para a polpa *Caryocar brasiliense*, assim como para secagem da polpa de *Psidium guajava* para a secagem nas temperaturas 75, 80 e 85°C (MACIEL et al., 2017).

Tabela 5. Coeficientes de determinação (R²), erros médios relativos (P%) e erro estimado (SE, decimal) para os modelos ajustados para coproduto fermentado (C75FM25) submetidos a secagem 50, 60, 70 e 80°C.

MODELO	50°C				60°C				70°C				80°C			
	SE	P (%)	X ²	R ² (%)	SE	P (%)	X ²	R ² (%)	SE	P (%)	X ²	R ² (%)	SE	P (%)	X ²	R ² (%)
(2)	0,0096	12,43	0,0015	98,49	0,001	5,45	0,0001	99,84	0,0033	8,14	0,0005	99,44	0,0029	8,62	0,0005	99,47%
(3)	0,0094	12,03	0,0015	98,51	0,0003	2,34	0,0000	99,80	0,0101	14,98	0,0016	98,29	0,0016	7,90	0,0003	99,70%
(4)	0,0173	22,46	0,0027	97,28	0,0012	6,13	0,0002	99,62	0,0179	20,60	0,0028	96,95	0,0235	27,55	0,0039	95,63
(5)	0,0151	20,01	0,0024	97,62	0,0064	13,27	0,0010	98,95	0,0101	14,80	0,0016	98,29	0,0146	21,71	0,0024	97,28
(6)	0,0060	6,02	0,0010	99,05	0,0004	2,70	0,0001	99,94	0,0022	6,51	0,0003	99,63	0,0019	6,91	0,0003	99,65
(7)	0,0060	6,76	0,0009	99,06	0,0001	1,64	0,0000	99,98	0,0003	2,15	0,0000	99,95	0,0002	2,58	0,0000	99,96
(8)	0,0173	22,46	0,0027	97,28	0,0097	16,21	0,0015	98,39	0,0179	20,60	0,0028	96,95	0,0235	27,55	0,0039	95,63
(9)	0,0101	12,64	0,0016	98,41	0,0012	5,62	0,0002	99,80	0,0004	2,80	0,0001	99,92	0,0012	5,79	0,0002	99,78
(10)	0,0173	22,46	0,0027	97,28	0,0097	16,22	0,0015	98,39	0,0179	20,58	0,0028	96,95	0,0235	27,55	0,0039	95,63
(11)	0,0096	12,44	0,0015	98,49	0,001	5,45	0,0001	99,84	0,0179	20,58	0,0028	96,95	0,0019	8,54	0,0003	99,65
(12)	0,0063	4,74	0,0010	99,00	0,0002	1,00	0,0000	99,97	0,0022	5,76	0,0003	99,62	0,0023	7,05	0,0004	99,58
(13)	0,0059	6,31	0,0009	99,07	0,0005	2,13	0,0001	99,94	0,0001	0,82	0,0000	99,99	0,0001	1,28	0,0000	99,98

Os modelos Logarítmico, Midilli, Wang e Sing e Valcam foram os que ajustaram aos dados experimentais de acordo com os parâmetros estatísticos estudados para a secagem do tratamento C75FM25 (Tabela 5). Em todas as temperaturas estudadas os modelos que obtiveram resultados dos coeficientes de determinação (R^2) superiores a 98% foram os de Aproximação da Difusão, Dois termos, Logarítmico, Midilli, Page, Wang e Sing, e Valcam.

Para o SE pode ser observado que para todos os modelos analisados os valores ficaram próximos de zero. Em relação ao teste de Qui-quadrado, os doze modelos analisados se encontram no intervalo de confiança de 99%.

Os modelos Logarítmico, Midilli, Wang e Sing e Valcam tiveram o valor inferior a 10%. O modelo de Wang e Sing foi escolhido para a representação gráfica das curvas de secagem por ser o mais simples (Figura 1B), e foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais para representação do fenômeno de secagem. Também pode ser observado a correspondência entre os valores experimentais e estimados e o ajuste satisfatório do modelo para descrição da secagem.

Oliveira et al. (2018) no estudo da secagem do mesocarpo *Dipteryx alata*, Sousa et al. (2016) no estudo de bagaço de malte, e Smaniotto et al. (2017) no estudo de secagem de *Helianthus annuus*, concluíram que o modelo de Wang e Sing foi o que melhor se ajustou para representar as curvas de secagem destes produtos.

3.2 Caracterização química das farinhas

A composição química varia de acordo com cada tipo de farinha, o que atribui suas características funcionais e tecnológicas e que define a qualidade da farinha e a qual área poderá ser direcionada (SCHERUER et al., 2011). Na Tabela 6 é possível observar os resultados obtidos para as análises químicas das farinhas e que houve diferença estatística para acidez, lipídeos, carboidratos, teor de água e proteínas e houve diferença significativa entre os tratamentos e temperaturas.

Tabela 6. Análises químicas das farinhas obtida a partir da fermentação de coprodutos vegetais utilizando *R. oligosporus*

	50°C			60°C			70°C			80°C		
	C100	C75FM25	CC	C100	C75FM25	CC	C100	C75FM25	CC	C100	C75FM25	CC
pH	3,18 ^{cb} ±0,01	3,85 ^{aA} ±0,03	3,19 ^{cb} ±0,02	3,10 ^{cdB} ±0,02	3,68 ^{bA} ±0,02	3,13 ^{cdB} ±0,03	3,08 ^{cb} ±0,03	3,78 ^{aA} ±0,06	3,13 ^{cdB} ±0,04	3,17 ^{cdB} ±0,10	3,81 ^{aA} ±0,05	3,17 ^{cdB} ±0,07
Sólidos solúveis (°Brix)	30,71 ^{bA} ±0,25	21,45 ^{cb} ±2,47	32,74 ^{abA} ±1,27	35,38 ^{aA} ±1,37	22,19 ^{cb} ±1,74	31,38 ^{abA} ±2,47	33,02 ^{abA} ±1,42	22,89 ^{cb} ±1,94	30,65 ^{bA} ±1,51	32,30 ^{abA} ±1,19	24,21 ^{cb} ±0,65	32,23 ^{abA} ±1,11
Acidez titulável (mL 100g ⁻¹)	4,63 ^{bcdB} ±2,30	3,66 ^{cC} ±0,55	4,94 ^{abA} ±1,37	5,09 ^{aA} ±1,52	4,24 ^{cC} ±0,89	4,86 ^{abcB} ±0,55	4,96 ^{aA} ±1,07	4,57 ^{cdA} ±4,20	4,94 ^{abA} ±1,30	4,43 ^{deB} ±3,67	4,16 ^{cC} ±1,45	4,96 ^{aA} ±0,33
Teor de água (g 100g ⁻¹)	7,07 ^{cb} ±0,21	4,62 ^{dC} ±0,30	10,16 ^{aA} ±0,56	9,22 ^{abA} ±0,25	4,78 ^{dB} ±0,17	8,71 ^{abcA} ±0,30	8,60 ^{abcA} ±0,77	3,64 ^{dB} ±0,48	8,86 ^{abcA} ±1,27	8,49 ^{abcA} ±1,85	3,60 ^{dB} ±0,61	7,72 ^{bcA} ±0,58
Cinzas (g 100g ⁻¹)	0,85 ^{bc} ±0,01	0,94 ^{aA} ±0,09	0,89 ^{abB} ±0,02	0,74 ^{cb} ±0,06	0,93 ^{abA} ±0,01	0,87 ^{abAB} ±0,09	0,92 ^{abAB} ±0,02	0,94 ^{aA} ±0,01	0,90 ^{abB} ±0,01	0,91 ^{abC} ±0,01	0,94 ^{aA} ±0,03	0,92 ^{abB} ±0,01
Proteínas (g 100g ⁻¹)	13,33 ^{abA} ±0,85	11,48 ^{bcB} ±0,75	11,08 ^{cb} ±0,17	11,33 ^{cA} ±0,85	10,06 ^{cAB} ±0,10	9,78 ^{cb} ±0,75	10,98 ^{cA} ±0,16	10,38 ^{cA} ±0,42	10,57 ^{cA} ±0,08	13,67 ^{aA} ±1,79	9,79 ^{cb} ±0,33	11,30 ^{cAB} ±0,14
Lipídeos (g 100g ⁻¹)	15,94 ^{abA} ±2,60	30,24 ^{aA} ±7,93	20,66 ^{abAB} ±3,82	14,07 ^{abA} ±7,04	27,30 ^{aA} ±4,54	20,00 ^{abA} ±7,93	19,02 ^{abA} ±13,35	16,12 ^{abA} ±0,60	14,18 ^{abA} ±9,50	7,01 ^{bB} ±0,75	16,19 ^{abA} ±1,57	7,69 ^{bB} ±0,76
Carboidratos (g 100g ⁻¹)	62,81 ^{abA} ±2,81	52,72 ^{bA} ±8,56	57,23 ^{abA} ±3,69	64,64 ^{abA} ±6,85	56,92 ^{abA} ±4,59	60,64 ^{abA} ±8,56	60,47 ^{abA} ±13,43	68,92 ^{abA} ±0,20	65,48 ^{abA} ±9,53	69,96 ^{abA} ±1,76	69,55 ^{abA} ±1,88	72,42 ^{aA} ±0,64
Valor calórico (Kcal)	448,00 ^{bcB} ±13,04	529,00 ^{aA} ±39,32	459,08 ^{abcB} ±19,13	430,50 ^{cb} ±34,98	513,67 ^{abA} ±22,66	461,68 ^{abcAB} ±39,32	457,03 ^{abcA} ±6,77	462,28 ^{abcA} ±3,01	431,88 ^{cA} ±47,47	397,62 ^{cb} ±3,74	463,11 ^{abcA} ±7,81	404,06 ^{cb} ±3,81

Médias seguidas de letras diferem minúsculas nas linhas ao nível de 5% de probabilidade. Médias seguidas de letras diferem maiúsculas nas colunas ao nível de 5% de probabilidade. 100% Farinha de coproduto caju-de-árvore-do-cerrado fermentado (C100), 75% Farinha de coproduto caju-de-árvore-do-cerrado fermentado e 25% Farelo de Milho (C75FM25), 100% Farinha de coproduto caju-de-árvore-do-cerrado (CC).

O pH das farinhas dos tratamentos CC e C100 (60 a 80°C) e CC 70°C não obteve diferença sendo avaliadas em suas respectivas temperaturas com valores entre 3,10 e 3,17, em comparação a todas as farinhas avaliadas observou-se que as farinhas que continham FM tiveram maiores valores variando de 3,68 a 3,85. Estes valores foram inferiores ao reportado por Braga et al. (2013) (4,54) para farinha da casca de manga. Observou-se que os teores de água das farinhas analisadas variaram de 3,60 a 10,17 g 100 g⁻¹ e estão dentro dos limites estabelecidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), que estipula o máximo de 15% (m/m) de água para farinhas (BRASIL, 2017). O baixo valor de pH e teor de água, diminuem o risco de reações enzimáticas, não enzimáticas e contaminação microbiológica (SELANI et al., 2014).

Os valores de cinzas variaram de 0,74 a 0,94 g 100 g⁻¹, sem diferença significativa entre os tratamentos CC (50,60.70 e 80°C), C100 (70 e 80°C), C75FM25 a 60°C. Além disso, estes resultados foram inferiores aos encontrados por Lemos et al. (2010), que avaliaram o resíduo de abacaxi desidratado e encontraram teor de 2,00% para a farinha deste resíduo, os teores de cinzas em uma amostra de alimento indicam a riqueza de compostos minerais fixos.

Os teores encontrados para acidez titulável nas farinhas C100 nas temperaturas de 60 e 70°C e de CC a 80°C não mostraram diferença significativa. A farinha do tratamento C75FM25 (independente do tratamento) apresentou maior teor de acidez de (3,66 a 4,57 g 100 g⁻¹) e que se mostrou superior ao encontrado por Matias et al., (2005) (2,68 g 100 g⁻¹) para resíduo de *Anacardium occidentale* desidratado.

Para sólidos solúveis as amostras de CC (50, 60 e 80°C) e C100 (70 e 80°C) não diferiram estaticamente (31,38 a 31,25 °Brix). Sólidos solúveis apresentam correlação com teores de açúcares e ácidos orgânicos, quanto maior a quantidade de açúcares e ácidos orgânicos maiores os valores dos sólidos solúveis totais (SILVA et al., 2002; CANUTO et al., 2010).

O tratamento C100 a 80°C apresentou maior teor de proteínas de 13,67 g 100 g⁻¹ confirmando que o processo de enriquecimento promovido pelo fungo *R. oligosporus* nas farinhas dos coprodutos em estudos, a partir do processo de fermentação em estado sólido, é eficaz. Huang et al., (2019) avaliando a farinha de trigo fermentada com *R. oligosporus* relataram que a fermentação aumentou os teores de proteína de 41 para 43 g 100 g⁻¹.

Secagem a temperatura de 80°C apresentou menores teores de lipídeos de 7,01 e 7,69 g 100 g⁻¹ para C100 e CC, respectivamente. A Tabela 6 apresenta que o tratamento

C75FM25 mostrou decréscimo de lipídeos nas amostras de 30,24 para 16,12 g 100 g⁻¹ Huang et al. (2019) avaliando a farinha de trigo fermentada com *R. oligosporus* observaram decréscimo nos teores de lipídeos de 29,6 para 26,6 após a fermentação demonstrando que esta diminuição pode estar associada ao metabolismo do fungo. As farinhas apresentaram alto teor calórico, entre 397 a 529 Kcal.

Os teores de compostos fenólicos estão representados na Figura 1. Diferentes processos de secagem têm sido relatados em literaturas com suas vantagens e desvantagens na composição nutricional, atividade antioxidante, polifenóis e carotenoides (KARAM et al., 2016). Nesse estudo, a secagem foi eficiente e aumentou os compostos fenólicos com o aumento da temperatura. A fermentação para as amostras de C100 aumentou de 867,86 a 1107,85 mg EAG 100 g⁻¹. Dordević, Šiler-Marinković e Dimitrijević-Branković (2010) relataram que a fermentação do ácido lático pode aumentar o conteúdo fenólico e a atividade antioxidante em alguns cereais, mas a eficiência foi muito baixa.

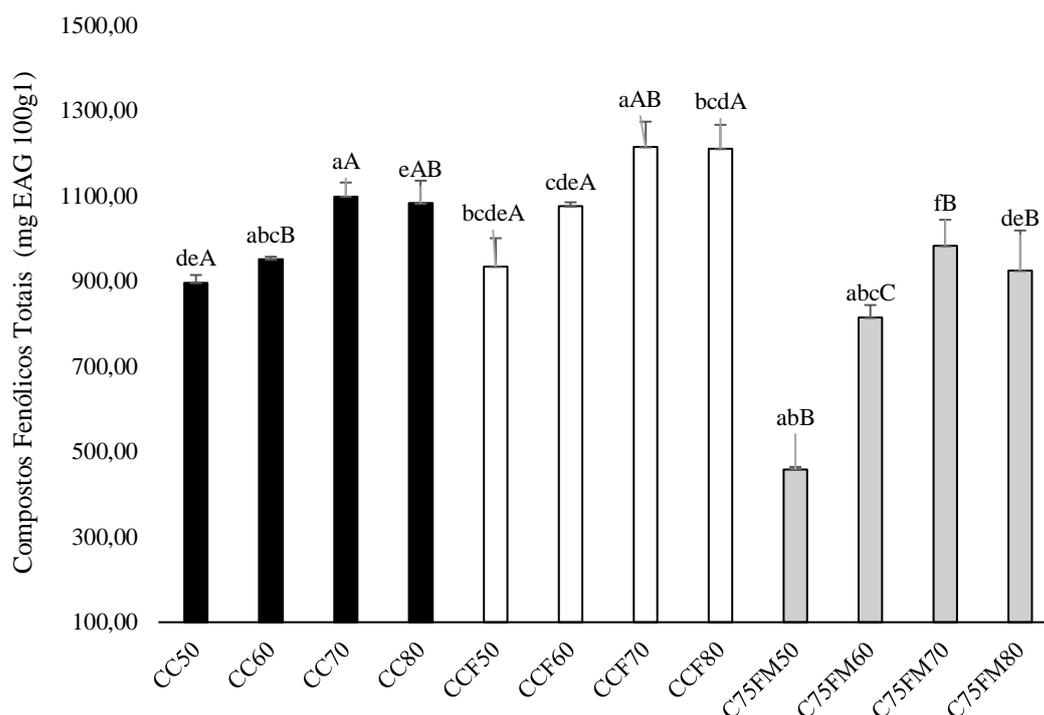


Figura 2. Compostos Fenólicos de farinhas secas em temperaturas distintas. Médias seguidas de letras diferem minúsculas nas linhas ao nível de 5% de probabilidade. Médias seguidas de letras diferem maiúsculas nas colunas ao nível de 5% de probabilidade. 100% Farinha de coproduto caju-de-árvore-do-cerrado (CC), 100% Farinha de coproduto caju-de-árvore-do-cerrado fermentado (CCF), 75% de Farinha de coproduto caju-de-árvore-do-cerrado fermentado e 25% Farelo de Milho (C75FM).

Na Figura 2 estão apresentados os teores de atividade antioxidante pelos métodos de ABTS, DPPH e FRAP. A fermentação aumentou a atividade antioxidante pelo método

de ABTS apenas nas amostras da temperatura a 50°C. Em relação a DPPH a fermentação só não aumentou o potencial antioxidante nas amostras secas a 80°C. Pelo método de FRAP a fermentação foi eficiente em todas as temperaturas e para as amostras de C100, comparada com a controle CC.

A capacidade da fermentação em estado sólido pode aumentar a capacidade de eliminação do radical DPPH das amostras e esse comportamento foi relatado como o enriquecimento do produto final em compostos fenólicos (BHANJA et al., 2009, RAZAK et al., 2015, SINGH et al., 2010, XIAO et al., 2014).

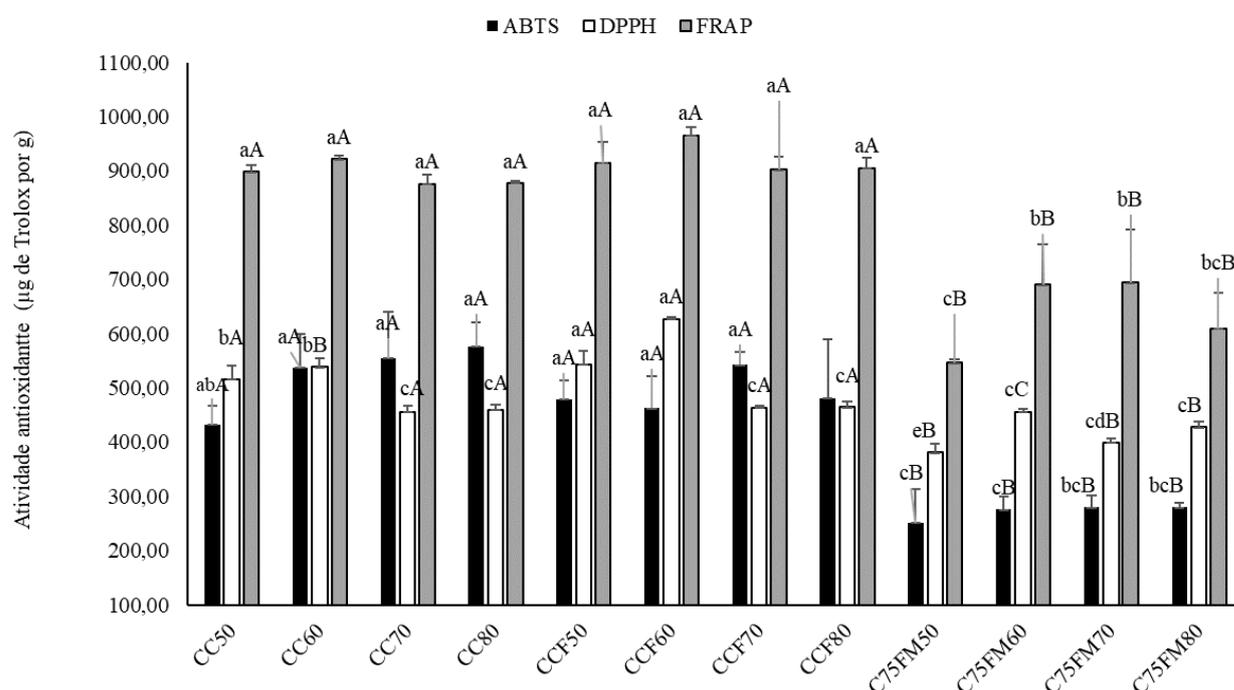


Figura 3. Gráfico dos teores de atividade antioxidante pelos métodos ABTS, DDPH e FRAP das farinhas secas em temperaturas distintas. Médias seguidas de letras diferem minúsculas nas linhas ao nível de 5% de probabilidade. Médias seguidas de letras diferem maiúsculas nas colunas ao nível de 5% de probabilidade. 100% Farinha de coproduto caju-de-árvore-do-cerrado (CC), 100% Farinha de coproduto caju-de-árvore-do-cerrado fermentado (CCF), 75% de Farinha de coproduto caju-de-árvore-do-cerrado fermentado e 25% Farelo de Milho (C75FM).

A bandas observadas no espectro FTIR (Figura 3) demonstram comportamento semelhante nas amostras e temperaturas avaliadas, e foi verificado que as farinhas de C100, C75FM25 e CC obtiveram picos que foi possível identificar a presença de ligações de hidrogênio (O-H) na frequência de 3200-3600 cm^{-1} , carbonos alifáticos primários e secundários (C-H) nos picos entre 2850-3000 cm^{-1} , ácidos carboxílicos (C=O) em 1725-1700, picos entre 1500-1650 cm^{-1} , característicos de ligações (C=C) de aromáticos, que

podem estar relacionados com os níveis de atividade antioxidante presentes nas farinhas, pico intenso em 1000 cm^{-1} característico de ligações (C-O) de álcoois e fenóis

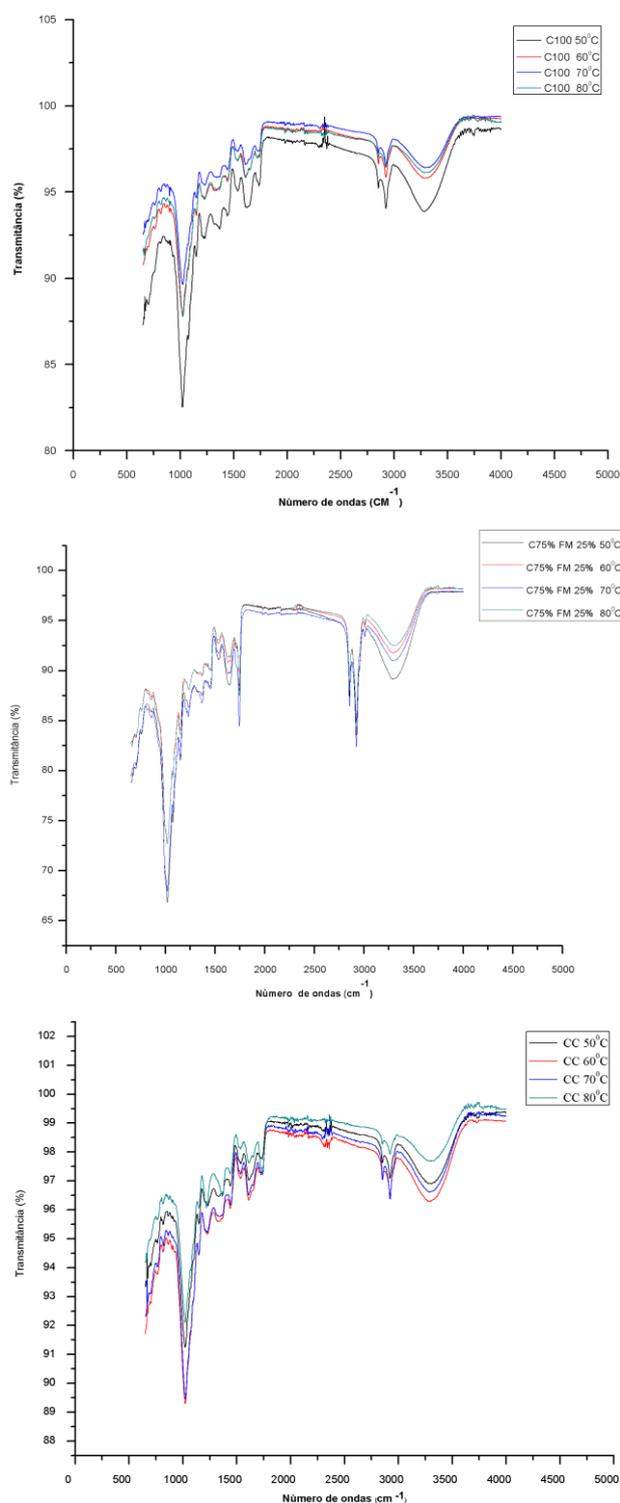


Figura 4. Espectros obtidos por Infravermelho das farinhas de C100, C75FM25 e CC a T50, T60, T70 e T80.100% Farinha de coproduto caju-de-árvore-do-cerrado fermentado (C100), 75% Farinha de coproduto caju-de-árvore-do-cerrado fermentado e 25% Farelo de Milho (C75FM25), 100% Farinha de coproduto caju-de-árvore-do-cerrado (CC).

3.3 Caracterização tecnológica das farinhas

Para a aplicação de farinha de qualquer origem é necessário conhecer as suas características tecnológicas enquanto ingrediente principal na formulação de produtos. As análises físicas, tais como índice de absorção de água, índice de absorção de óleo e poder de inchamento, são importantes para a funcionalidade e estabilidade da massa, estando relacionadas às características de textura dos produtos alimentícios (REIS; ASCHERI; DEVILLA, 2010).

É possível observar na Tabela 7 que nos resultados em solubilidade em água as amostras de CC (50°e 70°C) não diferiram estaticamente e o tratamento C100 com secagem a 80°C foi a que apresentou maior valor de SA (40,88%) que foi superior ao relatado por Santana et al. (2017) para farinha de uva (13%). Farinhas com elevados valores de SA podem ser empregadas em alimentos que requerem baixas temperaturas para serem preparados (instantâneos) ou como ingredientes para formulação de sopas, sobremesas e molhos, que necessitam de ingredientes com maior solubilidade em água (LEONEL; FREITAS; MISCHAN, 2009).

Tabela 7. Análises tecnológicas das farinhas obtida a partir da fermentação de coprodutos vegetais utilizando *R. oligosporus*

	50°C			60°C			70°C			80°C		
	C100	C75FM25	CC	C100	C75FM25	CC	C100	C75FM25	CC	C100	C75FM25	CC
AS	32,09 ^{dA} ±	18,94 ^{fB} ±	34,98 ^{bcdA} ±	38,03 ^{abcA} ±	24,63 ^{eB} ±	33,90 ^{cdA} ±	38,91 ^{abA} ±	24,01 ^{eC} ±	35,15 ^{bcdB} ±	40,88 ^{aA} ±	25,13 ^{eC} ±	36,83 ^{abcB} ±
IAA	6,73 ^{abA} ±	8,58 ^{abcA} ±	9,83 ^{abcA} ±	7,52 ^{abcA} ±	5,19 ^{bcA} ±	7,11 ^{abcA} ±	6,18 ^{bcA} ±	5,75 ^{bcA} ±	7,59 ^{abcA} ±	5,98 ^{bcA} ±	4,62 ^{cA} ±	6,02 ^{bcA} ±
CAO	6,39 ^{aA} ±	5,17 ^{aA} ±	6,22 ^{aA} ±	4,47 ^{aA} ±	4,12 ^{aA} ±	4,38 ^{aA} ±	3,97 ^{aA} ±	4,55 ^{aA} ±	4,68 ^{aA} ±	2,94 ^{aA} ±	4,16 ^{aA} ±	4,07 ^{aA} ±
CFE	43,05 ^{aA} ±	44,74 ^{aA} ±	48,25 ^{aA} ±	47,73 ^{aA} ±	48,31 ^{aA} ±	46,73 ^{aA} ±	51,80 ^{aA} ±	51,19 ^{aA} ±	54,14 ^{aA} ±	53,90 ^{aAB} ±	49,11 ^{aB} ±	54,19 ^{aA} ±
EE	25,11 ^{abA} ±	24,75 ^{abA} ±	24,47 ^{abA} ±	23,87 ^{ba} ±	24,79 ^{abA} ±	24,35 ^{abA} ±	23,18 ^{ba} ±	36,29 ^{aA} ±	22,25 ^{ba} ±	22,17 ^{ba} ±	21,97 ^{ba} ±	21,67 ^{ba} ±
L*	63,08 ^{bcdAB} ±	66,68 ^{abA} ±	58,66 ^{dB} ±	60,01 ^{cdB} ±	69,57 ^{aA} ±	62,65 ^{bcdB} ±	61,97 ^{bcdB} ±	66,71 ^{abA} ±	65,78 ^{abcAB} ±	60,70 ^{bcdA} ±	62,27 ^{bcdA} ±	61,62 ^{bcdA} ±
a*	11,38 ^{abA} ±	5,95 ^{eB} ±	13,73 ^{aA} ±	13,30 ^{abA} ±	6,71 ^{deC} ±	11,91 ^{abB} ±	12,07 ^{abA} ±	7,44 ^{deB} ±	11,03 ^{bcA} ±	12,54 ^{abA} ±	8,70 ^{cdB} ±	11,74 ^{abA} ±
b*	28,68 ^{deA} ±	30,11 ^{cdA} ±	28,28 ^{deA} ±	32,46 ^{bcB} ±	35,90 ^{aA} ±	29,19 ^{deC} ±	30,87 ^{cdB} ±	36,69 ^{aA} ±	29,11 ^{deC} ±	29,39 ^{deB} ±	34,88 ^{abA} ±	26,95 ^{ec} ±
C	30,86 ^{cdA} ±	30,69 ^{cdA} ±	30,86 ^{cdA} ±	35,14 ^{bcA} ±	36,54 ^{aA} ±	31,57 ^{cdB} ±	33,15 ^{bcB} ±	37,44 ^{aA} ±	30,89 ^{cdC} ±	31,95 ^{cdB} ±	35,95 ^{aA} ±	29,39 ^{dc} ±
H	73,57 ^{cdB} ±	82,64 ^{aA} ±	71,69 ^{dB} ±	74,55 ^{cdB} ±	83,48 ^{aA} ±	74,16 ^{cdB} ±	74,41 ^{cdB} ±	81,52 ^{abA} ±	75,38 ^{cb} ±	73,12 ^{cdB} ±	78,84 ^{ba} ±	72,05 ^{dB} ±

Médias seguidas de letras diferem minúsculas nas linhas ao nível de 5% de probabilidade. Médias seguidas de letras diferem maiúsculas nas colunas ao nível de 5% de probabilidade. 100% Farinha de coproduto caju-de-árvore-do-cerrado fermentado (C100), 75% Farinha de coproduto caju-de-árvore-do-cerrado fermentado e 25% Farelo de Milho (C75FM25), 100% Farinha de coproduto caju-de-árvore-do-cerrado (CC). Solubilidade em água (SA), Índice de absorção de água (IAA), Capacidade de absorção de óleo (CAO), Capacidade de formação de emulsão (CFE), Estabilidade da emulsão (EE). L* - luminosidade (mais clara tende a 100 e mais escura tende a zero), a* - transição da cor verde (a* > 0) para o vermelho (a* > 0); b* - transição da cor azul (b* > 0) para a cor amarela (b* < 0).

Os tratamentos C75FM25 e CC (50°C), C100 e CC (60 °C), CC (70°C) não mostraram diferença para o IAA com valores de (7,11 a 9,83%). Khattab e Arntfield (2009) descreveram valor de IAA para o coproduto de semente de canola de 3,90 g/g, que foi inferior aos dados apresentados neste trabalho. Os resultados de IAA e SA podem indicar alterações na estrutura do amido das farinhas uma vez que índice de absorção determina o volume ocupado pelo grânulo de amido após o inchaço, provocado pelo excesso de água. O índice de solubilidade determina a quantidade de moléculas livres extraídas do grânulo de amido (SAVLAK; TÜRKER e YESILKANAT, 2016).

Em todos os tratamentos e temperaturas em estudos para as análises de CAO e CFE não houve diferença estatística nas farinhas. Sousa et al., (2019) em frações de FM encontraram valor para CFE de 46,05 a 49,51% resultados esses próximos ao encontrado na farinha de CC 80°C. Para a EE as amostras que não diferiram foram de C100, C75FM25 e CC (50°C), C75FM25 e CC (60°C) os valores variaram de 24,33 a 25,11%, que foram inferiores ao relatado por Santana et al., (2017) em farinha de maracujá (31,62%).

Quanto à cor das amostras, foram analisados os parâmetros L* - luminosidade (mais clara tende a 100 e mais escura tende a zero), a luminosidade para os tratamentos C75FM25 (60 °C) e CC (70°C) houve aumento quando os valores são comparados com as demais temperaturas, enquanto para as amostras de C100 (60°C) obteve a redução de 63,08 para 60,01. A redução dos valores de L*, indicam o escurecimento das amostras de farinhas de acordo com o aumento da temperatura de secagem, tal comportamento, possivelmente, ocorreu pela produção de melanoidinas provenientes da reação de Maillard (DAMODARAN et al., 2010).

Os resultados do parâmetro a* para as amostras de C100 e C75FM25 com o aumento da temperatura apresentaram um tom mais vermelho, enquanto para CC as farinhas tiveram coloração mais claras do que as amostras a 50°C que obteve valor de 13,73%, valor esse superior aos encontrados para essas amostras nas temperaturas em estudo. Para os valores de b* foi observado que para os tratamentos de C100 e C75FM25 com o aumento das temperaturas os valores também houve acréscimo nos resultados, comportamento diferente para as amostras de CC que com o aumento da temperatura teve decréscimo nos resultados de 28,28 para 26,95%. É possível observar que no tratamento de CC houve decréscimo no valor de C* de 30,86 (50 °C) para de 29,39 (80 °C). Enquanto para H* ocorreu um decréscimo nos resultados de C75FM25 (70 e 80°C).

4. CONCLUSÃO

A secagem dos coprodutos em estudo reduziu o teor de água inicial e foi possível verificar que o tempo de secagem reduziu com o aumento da temperatura do ar para todos tratamentos estudados. Dos doze modelos estudados, três sendo Midilli, Wan e Sing e Valcam para a cinética de secagem 100%, C75FM25 e CC, respectivamente

A fermentação em estado sólido de *R. oligosporus* nas farinhas de caju-de-árvore-do-cerrado contribuiu com o aumento nos teores satisfatórios de compostos fenólicos, atividade antioxidante e proteínas dos três tratamentos em estudos o tratamento C100 apresentou resultados superiores aos demais. As farinhas estudadas apresentam características que permitem seu uso como ingredientes com propriedades funcionais tecnológicas para diversas aplicações de interesse para a indústria de alimentos.

5. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) (001), do CNPq (Processo 426479/2016-5) e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG), por meio de concessão de bolsa a nível de mestrado (Edital 003/2018).

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABD RAZAK, D. L., ABD RASHID, N. Y., JAMALUDDIN, A., SHARIFUDIN, S. A., & LONG, K. (2015). Enhancement of phenolic acid content and antioxidant activity of rice bran fermented with *Rhizopus oligosporus* and *Monascus purpureus*. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v 4 ,pp. 33-38, 2015.

ALMEIDA, F. A.C.; GOUEIA, J.P.G; SILVA, F. L.H. Avaliação da cinética de secagem em frutos de acerola. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 6 n. 1, pp.145-151, 2006.

AOAC – Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of Analysis**. 18^a ed. (2010). Washington DC USA.

AOAC, Association of Official Analytical Chemists International. **Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 17 ed., Gaithersburg: AOAC, 2000.

ARAÚJO KTA, SILVA RM, SILVA RC, FIGUEIRÊDO RMF, QUEIROZ AJM. Caracterização físico-química de farinhas de frutas tropicais. **Rev. Brasil. Agrotecnologia.**; v.7 n.2, pp. 110–115, 2017.

BENZIE I. F. F.; STRAIN, J. J. The ferric reducing ability of plasma as a measure of “antioxidant potential.” **Analytical Biochemistry**, v. 239, pp. 70-76, 1996.

- BHANJA, T.; KUMARI A.; BANERJEE, R. Enrichment of phenolics and free radical scavenging property of wheat koji prepared with two filamentous fungi. **Bioresource Technology**, v.100, n.11, pp. 2861-2866, 2009.
- BRAGA, B. A.; CARVALHO, S. A.; SOUZA, A. O. Avaliação físico-química e da qualidade microbiológica de farinhas produzidas a partir de resíduos agroindustriais. **Higiene Alimentar**. v. 27, pp. 3871-3875, 2013.
- BRAND-WILLIAMS, W., CUVELIER, M. E., BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. (1995). **LWT - Food Science and Technology**, v.28, n.1, pp 25-30, 1995.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução CNNPA nº 12, de 24 de Julho de 1978. Produtos de confeitaria. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/anvisalegis/resol/12_78_prod_confeita.htm> Acesso em 16 de Julho de 2019.
- BRASIL. ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Farinhas. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/anvisalegis/portarias/354_96.htm> Acesso em: 18 julho. 2019.
- BRITO, A. L. B.; OLIVEIRA, A. F.; NOGUEIRA, A. R. A.; PESSOA, A. G. G, PONTES, L. F. B. L. Determination of inorganic constituents and physicochemical characterization of functional flour samples. **Microchemical Journal**, v. 132, n. 1, pp. 112–118, 2017.
- CANUTO, G. A. B., XAVIER, A. A. O., NEVES, L. C., & BENASSI, M. D. T. Caracterização físico-química de polpas de frutos da Amazônia e sua correlação com a atividade anti-radical livre. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 4, n. 32, pp. 1196-1205, 2010.
- CODA, R.; KATINA, K.; RIZZELLO, C.G. Bran bioprocessing for enhanced functional properties. **Curr. Opin. Food Sci.**, v.1, pp.50-55, 2015.
- DANG, L. A. R.; NUR, Y. A. R.; ANISAH, J. S. A.; SHARIFUDIN, K. L.; Enhancement of phenolic acid content and antioxidant activity of rice bran fermented with *Rhizopus oligosporus* and *Monascus purpureus*. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 4, n. 1, pp 33-38, 2015.
- DHILLON, G. S., KAUR, S., & BRAR, S. K. . Perspective of apple processing wastes as low-cost substrates for bioproduction of high value products: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 27, pp. 789–805, 2013.
- DORDEVIĆ, T.M.; ŠILER-MARINKOVIĆ, S.S.; DIMITRIJEVIĆ-BRANKOVIĆ, S.I. Effect of fermentation on antioxidant properties of some cereals and pseudo cereals. **Food Chemistry**, v.119, pp. 957-963, 2010.
- DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. 3.ed. New York: John Wiley & Sons, pp 712, 1998.
- GALDINO, P. O., FIGUEIRÊDO, R. M. F. DE, QUEIROZ, A. J. DE M., & GALDINO, P. O. (2016). Drying kinetics of atemoya pulp. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n.7, pp. 672–677, 2016.
- GUIMARÃES, R. M.; PIMENTEL, T. C.; DE REZENDE, T. A. M.; SILVA, J. S.; FALCÃO, H. G.; IDA, E. I.; EGEA, M. B. Gluten-free bread: effect of soy and corn coproducts on the quality parameters. **European Food Research and Technology**, v. 246, pp. 1-12, 2019.

- HORWITZ, W., LATIMER, G (Ed.): Official methods of analysis of AOAC International. 18th ed. Gaithersburg: AOAC International, 2005.
- HUANG, L., HUANG, Z., ZHANG, Y., ZHOU, S., HU, W., & DONG, M. (2019). Impact of tempeh flour on the rheology of wheat flour dough and bread staling. **LWT-Food Science and Technology**, v.111 pp. 694-702.
- KARAM, M. C., PETIT, J., ZIMMER, D., BAUDELAIRE DJANTOU, E., & SCHER, J. (2016). Effects of drying and grinding in production of fruit and vegetable powders: A review. **Journal of Food Engineering**, v. 188, pp. 32–49.
- KASHANINEJAD, M. *et al.* Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 1, p. 98-108, 2007.
- KHATTAB, R. Y.; ARNTFIELD, S. D. Functional properties of raw and processed canola meal. **LWT-Food Science and Technology**, Oxford, v. 42, n. 6, pp. 1119-1124, 2009.
- LEONEL, M.; FREITAS, T. S.; MISCHAN, M. M. Physical characteristics of extruded cassava starch. **Scientia Agricola**, Piracicaba-SP, v. 66, n. 4, pp. 486-493, 2009.
- LEMOS, D. M., OLIVEIRA, E. N. A., SANTOS, D. C., SOUSA, E. P., MATIAS, M. L. (2010). Composição físico-química de resíduos de abacaxi in natura e desidratado. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v. 4, n. 2, pp 53-56.
- LI, W.; HYDAMAKA, A.W.; LOWRY, L.; BETA, T. Comparison of antioxidant capacity and phenolic compounds of berries, chokecherry and seabuckthorn. **Central European Journal of Biology**, v.4, n. 4, pp. 499–506, 2009.
- M’HIRI, N.; IOANNOU, I.; GHOUL, M.; MIHOUBI BOUDHRIOUA, N. Proximate chemical composition of orange peel and variation of phenols and antioxidant activity during convective air drying. **J. New Sci. Agric. Biotech** Volume JS-INAT, v. 9, 2015.
- MAZZINI, A.R.de A.; MUNIZ, J.A.; AQUINO, L.H.de; SILVA, F.F. Análise da curva de crescimento de machos Hereford. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.27, n.5, pp.1105-1112, 2003.
- MATIAS, M. F. O. *et al.* Use of fibres obtained from the 18. cashew (*Anacardium occidentale*, L) and guava (*Psidium guajava*) fruits for enrichment of food products. **Braz. Arch. Biol. Technol.**, v. 48, p. 143-150, 2005.
- MILLER, N. J.; RICE-EVANS, C. A.; DAVIES, M. J.; GOPINATHAN, V.; MILNER, A. A novel method for measuring antioxidant capacity and its application to monitoring the antioxidant status in premature neonates. **Clinical Science**, v. 84, pp. 407-412, 1993.
- MOHAPATRA, D.; RAO, P. S. A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of Food Engineering**, v. 66, n. 4, pp. 513-518, 2005.
- MOURA, C. F. H., FIGUEIREDO, R. W. DE, ALVES, R. E., SILVA, E. DE O., ARAÚJO, P. G. L. DE, & MACIEL, V. T. (2010). Aumento da vida útil pós colheita de pedúnculos de cajueiro anão precoce pela redução da temperatura de armazenamento. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, pp. 140-145, (2010).
- NOUT, M.J.R.; SARKAR, P.K.; BEUCHAT, L.R. **Indigenous fermented foods food Microbiology: Fundamentals & frontiers** (3rd ed.), American Society of Microbio.
- OKEZIE, B., BELLO, A. B. Physico-chemical and functional properties of winged beans flour and isolated compared with soy isolated (1988). **Journal Food Science**, <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1988.tb07728.x>.

- PULIDO, R.; BRAVO, L.; SAURA-CALIXTO, F. Antioxidant activity of dietary as determined by a modified ferric reducing/ antioxidant power assay. **Journal Agriculture and Food Chemistry**, v. 48, pp. 3396-3402, 2000.
- QUEIROZ, C., DA SILVA, A. J. R., LOPES, M. L. M., FIALHO, E., & VALENTE-MESQUITA, V. L. (2011). Polyphenol oxidase activity, phenolic acid composition and browning in cashew apple (*Anacardium occidentale*, L.) after processing. **Food Chemistry**, v.125, n.1, pp. 128-132, (2011).
- RESENDE, O., FERREIRA, L.U., ALMEIDA, D.P., 2010. Modelagem matemática para descrição da cinética de secagem do feijão adzuki (*Vigna angularis*). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.12, pp. 171-178, 2010.
- RESENDE, O.; OLIVEIRA, D. E. C.; COSTA, L. M.; FERREIRA JUNIOR, W. N. Drying kinetics of baru fruits (*Dipteryx alata Vogel*). **Engenharia Agrícola**, v. 38, n. 1, pp. 103-109, 2018.
- RIBEIRO, T.D.; SAVIAN, T.V.; FERNANDES, T.J.; MUNIZ, J.A. The use of the nonlinear models in the growth of pears of 'Shinseiki' cultivar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.48, n.01, 2018
- ROBERTA M. G. MACIEL; MARCOS R. A. AFONSO; JOSÉ M. C. DA COSTA; LEANDRO S. SEVERO; NATÁLIA D. DE LIMA. Mathematical modeling of the foam-mat drying curves of guava pulp. **Revista Brasileira de Engenharia. Agrícola e Ambiental**, v.21, n.10, pp.721-725, 2017.
- ROSA, DP, CANTÚ-LOZANO, D., LUNA-SOLANO, G., POLACHINI, TC E TELIS-ROMERO, J. (2015). Mathematical modeling of orange seed drying kinetics **Cienc. Agrotecnol.**, v. 39 pp. 291-30, 2015.
- RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURACALIXTO, F.; MANCINI-FILHO, J. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, v. 121, p. 996-1002, 2010.
- SANTANA, G. S.; OLIVEIRA FILHO, J. G.; EGEEA, M. B. Características tecnológicas de farinhas vegetais comerciais. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 4, n. 2, pp. 88-95, 2017.
- SCHEUER, P. M., FRANCISCO, A. de; MIRANDA, M. Z. de; LIMBERGER, V. M. Wheat: characteristics and use in baking. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.13, n.2, pp.211-222, 2011.
- SELANI, M. M.; BRAZACA, S. G. C.; DIAS, C. T. S.; RATNAYAKE, W. S.; FLORES, R. A.; BIANCHINI, A. Characterization and potential application of pineapple pomace in an extruded product for fibre enhancement. **Food Chemistry**, London, v. 163, pp. 23-30, 2014..
- SILVA, R. B. ; SILVA, F. S. ; PORTA, A. G.; ALVES, A. P. Estudo da cinética de secagem de polpa de carambola. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, Ponta Grossa, v. 10, n. 2, pp. 2069-2080, 2016.
- SILVA, P.S.L.; SÁ, W.R.; MARIGUELE, K.H.; BARBOSA, A.P.R.; OLIVEIRA, O.F. Distribuição do teor de sólidos solúveis totais em frutos de algumas espécies de clima temperado. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 15, n. 1/2, pp.19-23, 2002.

SINGH, H.B.; SINGH, B.N.; S.P.; SINGH, C.S. Nautiyal Solid-state cultivation of *Trichoderma harzianum* NBRI-1055 for modulating natural antioxidants in soybean seed matrix **Bioresource Technology**, v.101, n.16, pp. 6444-6453, 2010.

SIQUEIRA, V. C.; RESENDE O.; CHAVES, T. H. Mathematical modelling of the drying of jatropha fruit: an empirical Comparison. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 2, pp. 278-285, 2013.

SIQUEIRA, VC, RESENDE, O. E CHAVES, TH (2012). Drying kinetics of jatropha seeds. **Rev. Ceres**, v.59 , pp. 171-177, 2012.

SMANIOTTO, T. A. DE S.; RESENDE, O.; SOUSA, K. A. DE; OLIVEIRA, D. E. C. DE; CAMPOS, R. C. Drying kinetics of sunflower grains. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.21, pp.203-208, 2017.

SOUSA, F. T.; SILVA, M. A. P. DA; OLIVEIRA, D. E. C.; PLÁCIDO, G. R.; GAGNIN, C.; MOURA, L. C.; SOUZA, D. G.; CALIARI, M.; LIMA, M. S. Modelagem matemática da secagem e propriedades físicas e funcionais do bagaço de malte. **Global Science and Technology**, v.9, pp.51-61, 2016.

SOUSA, M. F; GUIMARÃES, R. M.; ARAÚJO, M. O.; BARCELOS, K. R.; CARNEIRO, N. S.; LIMA, D. S.; SANTOS, D. C; BATISTA, K. A.; FERNANDES, K. F.; LIMA, M. C. P. M.; EGEEA, M. B. Characterization of corn (*Zea mays* L.) bran as a new food ingredient for snack bars. **LWT-Food Science and Technology**, v. 101, p. 812-818, 2019.

STARZYŃSKA-JANISZEWSKA, A., STODOLAK, B., GÓMEZ- CARAVACA, A. M., MICKOWSKA, B., Martín-García, B., & Byczyński, Ł. (2019). Mould starter selection for extended solid state fermentation of quinoa. **LWT-Food Science and Technology**, v.99, 231–237, 2019.

STORCK CR, NUNES GL, OLIVEIRA BB, BASSO C. Folhas, talos, cascas e sementes de vegetais: composição nutricional, aproveitamento na alimentação e análise sensorial de preparações. **Cienc. Rural.**; v.43, n.3,pp 537-543, 2013.

SAVLAK, N.; TÜRKER, B.; YESILKANAT, N. Effects of particle size distribution on some physical, chemical and functional properties of unripe banana flour. **Food Chemistry**. v. 213, n. 1, pp.180–186, 2016.

TROMBINI, F. R. M.; LEONEL, M.; MISCHAN, M. M. Development of extruded snacks from blends of soya flour, cassava starch and bran. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 1, pp. 178-184, 2013.

VONG, WC, HUA, XY, & LIU, S.-Q. Solid-state fermentation with *Rhizopus oligosporus* and *Yarrowia lipolytica* improved nutritional and flavour properties of okara. **LWT-Food Science and Technology**, v. 90, pp316-32, 2018.

XIAO Y., XING G., RUI X., LI W., CHEN X., JIANG M., DONG M. Enhancement of the antioxidant capacity of chickpeas by solid state fermentation with *Cordyceps militaris* SN-18 **Journal of Functional Foods**, v.10, pp. 210-22, 2014.

YADAV, M. P.; HICKS, K. B.; JOHNSTON, D. B.; HOTCHKISS, A.; CHAU, H. K.; HANAH, K. Production of bio-based fiber gums from the waste streams resulting from the commercial processing of corn bran and oat hulls. **Food Hydrocolloids**, v. 53 pp. 125-133, 2016.

YASUMATSU, K., SAWADA, K., MORITAKA, S., MISAKI, M., TODA, J., WADA, T., & ISHII, K. (1972). Whipping and Emulsifying Properties of Soybean Products. **Agricultural and Biological Chemistry**, v.36, n. 5, pp 719–727, 1972.

YUNUS, F.-N., NADEEM, M., & RASHID, F. (2015). Single-cell protein production through microbial conversion of lignocellulosic residue (wheat bran) for animal feed. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 121, n. 4, pp 553–557, 2015.