

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
QUÍMICA**

ALESSANDRA COSTA VILAÇA

**OBTENÇÃO DA TORTA DA POLPA DO COCO MACAÚBA (*ACROCOMIA
ACULEATA*) PARA USO COMO ADJUNTO PARA A PRODUÇÃO DE CERVEJA
ESPECIAL E FONTE DE EXTRAÇÃO DE PECTINA**

**BELO HORIZONTE – MG
2022**

ALESSANDRA COSTA VILAÇA

OBTENÇÃO DA TORTA DA POLPA DO COCO MACAÚBA (*ACROCOMIA ACULEATA*) PARA USO COMO ADJUNTO PARA A PRODUÇÃO DE CERVEJA ESPECIAL E FONTE DE EXTRAÇÃO DE PECTINA

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Química.

Linha de Pesquisa: Engenharia de Alimentos.

Orientadora: Maria Helena Cãno de Andrade.

.

BELO HORIZONTE – MG
2022

V695o Vilaça, Alessandra Costa.
Obtenção da torta da polpa do coco macaúba (*acrocomia aculeata*) para uso como adjunto para a produção de cerveja especial e fonte de extração de pectina [recurso eletrônico] / Alessandra Costa Vilaça. – 2022.
1 recurso online (124 f. : il., color.) : pdf.

Orientadora: Maria Helena Caño de Andrade.
Coorientadores: Brener Magnobosco Marra, Ênio Nazaré de Oliveira Junior.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Inclui bibliografia.
Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

1. Engenharia química - Teses. 2. Macaúba - Teses. 3. Cerveja - Teses. 4. Pectina - Teses. I. Andrade, Maria Helena Caño de. II. Marra, Brener Magnobosco. III. Oliveira Junior, Ênio Nazaré de. IV. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. V. Título.

CDU: 66.0(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

FOLHA DE APROVAÇÃO

"OBTENÇÃO DA TORTA DA POLPA DO COCO MACAÚBA (*ACROCOMIA ACULEATA*) PARA USO COMO ADJUNTO PARA A PRODUÇÃO DE CERVEJA ESPECIAL E FONTE DE EXTRAÇÃO DE PECTINA"

Alessandra Costa Vilaça

Tese submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos à obtenção do título de **DOCTORA EM ENGENHARIA QUÍMICA**.

65ª TESE APROVADA EM 25 DE FEVEREIRO DE 2022 POR:



Documento assinado eletronicamente por **Simone Palma Favaro, Usuário Externo**, em 04/04/2022, às 10:16, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Jorge David Alguier Bellido, Usuário Externo**, em 04/04/2022, às 11:06, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Enio Nazaré de Oliveira Junior, Usuário Externo**, em 04/04/2022, às 11:06, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Maria Helena Cano de Andrade, Cidadã**, em 04/04/2022, às 14:38, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Brener Magnabosco Marra, Usuário Externo**, em 04/04/2022, às 16:39, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Viviane Santos Birchall, Diretor(a)**, em 04/04/2022, às 20:34, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ana Paula Fonseca Maia de Urzedo, Usuária Externa**, em 05/04/2022, às 09:53, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1357586** e o código CRC **D728DC99**.

Dedico a Deus minha gratidão, que me fortalece e guia minhas decisões em todos os momentos da minha vida. Ao Ricardo, meu namorado, que sempre concedeu incentivo, carinho e companheirismo nesta trajetória. A Sofia, minha filha, pelo incessante apoio e amor diário que alimenta a minha essência e me estimula a conquistar meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me guiar em todos os momentos, e me dar a sabedoria e fé para mostrar que sempre é possível realizar nossos sonhos. E que o tempo é nosso maior aliado para lapidar os aprendizados da vida.

A minha filha Sofia, que sempre foi o meu suporte e a minha força para eu prosseguir e nunca desistir. Agradeço a paciência, o ombro amigo e o amor incondicional acima de tudo.

Ao Ricardo, meu namorado, que sempre me apoiou com seu companheirismo e carinho. Agradeço a dedicação e o empenho em colher quilos e quilos de Macaúba e sempre estar presente nesta jornada em busca da realização desse objetivo. Sua motivação e amor me incentivaram a chegar até aqui.

Ao Broinha, pela amizade, dedicação e a empolgação em colher frutos com a alegria de sempre.

Ao Reginato, pela ajuda em acompanhar várias colheitas de frutos e nos apresentar a cidade de Jeceaba.

Ao Matheus Miki, pela amizade, e a contribuição nesta pesquisa com o seu conhecimento e experiência no mercado cervejeiro.

Ao Ícaro, pela amizade, e o companheirismo em ajudar nos processos de produção das cervejas.

A Sayeny, pela amizade e cumplicidade, divididos fora e dentro dos laboratórios da UFMG.

Ao Ênio pela amizade e solicitude de sempre. E por me mostrar e incentivar o quanto a Ciência é maravilhosa. Você é um exemplo para mim.

À Ana Paula, que nunca mediu esforços para me ajudar e pelas palavras proferidas de incentivo que sempre me motivaram a conquistar a realização desse objetivo.

Ao Brener, pela amizade, e parceria de sempre.

À família, mesmo de longe, pela compreensão e por sempre acreditar em mim e compartilhar a alegria a cada sonho conquistado.

Aos professores do CAP/DQBIO, que sempre apoiaram se dispuseram a auxiliar nas análises de laboratório e na condução da fase final da tese.

À Maria Helena, minha orientadora, pela paciência, pela amizade além do âmbito profissional, pelos incontáveis momentos divididos ao lado uma da outra. Pelos ensinamentos compartilhados ao longo dessa jornada e por ter introduzido a Macaúba em minha vida.

.

O saber que não vem da experiência não é realmente saber.

Lev Vygotsky

.

RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi produzir uma cerveja especial utilizando, como adjunto, a torta da polpa do coco Macaúba (*Acrocomia aculeata*). Para a obtenção da matéria-prima, estabeleceu-se rotas de processamento de colheita, pós-colheita e armazenamento dos frutos, de modo a preservar suas características nutricionais visando a aplicação da torta da polpa para a produção de cerveja especial. O estudo do processamento foi realizado com frutos colhidos em duas safras em anos diferentes. Estabeleceu-se a padronização dos parâmetros do processamento dos frutos, através da secagem controlada e secagem natural, e da avaliação da umidade e acidez titulável. A caracterização físico-química da torta da polpa selecionada para a produção das cervejas especiais, apresentou alto teor de fibras, cinzas, minerais, açúcares totais e pectina. Realizou-se três produções de cervejas. A mesma formulação foi utilizada para as produções, diferenciando na proporção de adjunto (torta da polpa) adicionada à etapa de mosturação. Denominou-se cerveja C, a cerveja produzida sem adição de adjunto. Cerveja M20 produzida com a adição de 20% em massa de torta de polpa, em relação a quantidade de malte e cerveja M40 a cerveja produzida com 40% de adjunto. As cervejas foram avaliadas físico-quimicamente quanto aos teores de pH, sólidos solúveis, cinzas, amargor, cor, acidez titulável, teor alcoólico, açúcares totais, pectina, extrato primitivo, extrato real e extrato aparente. As cervejas M20 e M40, apresentaram características físico-químicas e organolépticas diferenciadas fazendo notar a presença desse adjunto. Os resultados das análises mostraram que a torta da polpa é um adjunto fermentável e fonte viável para a produção de cerveja especial. Para análise da torta da polpa como fonte alternativa de matéria-prima vegetal de pectina, realizou-se a extração da pectina por via ácida utilizando o ácido clorídrico, o ácido acético e ácido cítrico. As extrações apresentaram alto rendimento. A caracterização das pectinas, para todas as extrações, apresentaram alto grau de esterificação indicando que as mesmas podem ser empregadas como agentes geleificantes em processos alimentícios. Os resultados das análises TGA e DSC das pectinas apresentaram alta estabilidade térmica, o que confirma que a torta da polpa do coco Macaúba apresenta grande potencial como fonte alternativa de pectina.

Palavras-chaves: Macaúba; cerveja; pectina; processamento.

ABSTRACT

The objective of this research was to produce a special beer using, as an adjunct, the Macaúba coconut pulp pie (*Acrocomia aculeata*). To obtain the raw material, harvesting, post-harvesting and fruit storage processing routes were established, in order to preserve their nutritional characteristics, aiming at the application of pulp cake for the production of special beer. The processing study was carried out with fruits harvested in two harvests in different years. It was established the standardization of the parameters of the processing of the fruits, through the controlled drying and natural drying, and the evaluation of the humidity and titratable acidity. The physicochemical characterization of the pulp cake selected for the production of special beers showed a high content of fiber, ash, minerals, total sugars and pectin. There were three beer productions. The same formulation was used for the productions, differing in the proportion of adjunct (pulp cake) added to the mashing step. Beer C is the beer produced without the addition of an adjunct. M20 beer produced with the addition of 20% by mass of pulp cake, in relation to the amount of malt and M40 beer produced with 40% of adjunct. The beers were evaluated physicochemically for pH, soluble solids, ash, bitterness, color, titratable acidity, alcohol content, total sugars, pectin, primitive extract, real extract and apparent extract. The M20 and M40 beers presented different physicochemicals and organoleptic characteristics, highlighting the presence of this adjunct. The results of the analyzes showed that the pulp cake is a fermentable adjunct and viable source for the production of special beer. For the analysis of pulp cake as an alternative source of vegetable pectin raw material, pectin was extracted by acid route using hydrochloric acid, acetic acid and citric acid. The extractions showed high yield. The characterization of pectins, for all extractions, showed a high degree of esterification, indicating that they can be used as gelling agents in food processes. The results of the TGA and DSC analyzes of the pectins showed high thermal stability, which confirms that the Macaúba coconut pulp cake shows great potential as an alternative source of pectin.

Keywords: Macaúba; beer; pectin; processing.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1 - Classificação da cor da cerveja nas escalas EBC e SRM.....	29
Figura 2 - Desenho esquemático dos estilos Ale e Lager.....	31
Figura 3 - <i>Acrocomia aculeata</i> (Jacq.) Lodd. ex Mart. conhecida como Macaúba.....	41
Figura 4 - Partes do fruto da Macaúba.	42
Figura 5 – (a) Óleo da amêndoa (b) Óleo da polpa (c) Torta da polpa (d) Torta da amêndoa.....	45
Figura 6 – Estrutura da parede celular.	47
Figura 7 – Estrutura química da pectina.	47

CAPÍTULO 2

Figura 1 - Cachos com frutos da Macaúba.	60
Figura 2 - Despolpadeira para coco Macaúba.	62
Figura 3 - Prensa <i>expeller</i>	63
Figura 4 - Classificação visual de frutos classificados como bons e deteriorados.	69
Figura 8 - Perda de água para os frutos grandes, médios e pequenos.	72

CAPÍTULO 3

Figura 1 - Fluxograma de produção das cervejas especiais.	92
Figura 2 - Rampas de temperatura da etapa de mosturação da cerveja C.....	93

Figura 3 - Rampas de temperatura da etapa de mosturação das cervejas M20 e M40.....	93
Figura 4 - Cervejas (a) C (b) M20 (c) M40.....	100

CAPÍTULO 4

Figura 1 – Espectros de FTIR para as pectinas extraídas da torta da polpa de macaúba por meio de ácido clorídrico (a), ácido acético (b) e ácido cítrico (c).....	115
Figura 2 - Termogramas para as pectinas extraídas da torta da polpa de macaúba por meio de ácido clorídrico (a), ácido acético (b) e ácido cítrico (c).....	117
Figura 3 - Curvas DSC para as pectinas extraídas da torta da polpa.....	119

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1 – Classificação da cerveja quanto ao extrato primitivo.....	29
Tabela 2 – Classificação das cervejas quanto ao teor alcóolico.....	30
Tabela 3 – Classificação das cervejas quanto a proporção de malte de cevada.....	30
Tabela 4 - Composição do grão de cevada e malte.....	33
Tabela 5 – Composição do lúpulo <i>in natura</i>	34
Tabela 6 – Enzimas que atuam na mosturação e condições ótimas de atuação.....	38
Tabela 7 – Composição centesimal das tortas da polpa e da amêndoa.....	45
Tabela 8 - Teor pectina em frutos.....	48

CAPÍTULO 2

Tabela 1 - Análises físico-químicas realizadas na torta de Macaúba.....	59
Tabela 2 – Condições experimentais dos tratamentos aplicados à safra de 2019.....	64
Tabela 3 – Lotes e correspondentes polpas da safra 2019.....	65
Tabela 4 - Condições experimentais dos tratamentos aplicados à safra de 2020.....	66
Tabela 5 - Lotes e correspondentes polpas da safra 2020.....	66
Tabela 6 - Resultados da perda de água nos Lotes 1 a 3.....	68
Tabela 7 - Resultados da umidade e massa de polpa A dos Lotes 1 a 3.....	70
Tabela 8 - Resultados da perda de água e umidade dos Lotes 4 a 6.....	71
Tabela 9 - Valores das massas, diâmetros médios dos FP, FM e FG.....	72
Tabela 10 - Resultados da despulpagem: umidade e massa de polpa dos Lotes 4,5,e 6.....	73

Tabela 11 - Misturas de polpas dos lotes L1 a L6.....	74
Tabela 12 - Caracterização físico-química das tortas da safra 2019	74
Tabela 13 - Resultados da secagem dos frutos sem casca da safra de 2020.....	75
Tabela 14 - Massas de polpas A e resultados de umidade e acidez titulável dos lotes L7 a L16.....	76
Tabela 15 - Análises físico-químicas nas polpas da safra de 2020.....	77
Tabela 16 - Caracterização das tortas da safra 2020.....	78
Tabela 17 - Caracterização das tortas das safras 2019 e 2020.....	79
Tabela 18 - Resultados das análises bromatológicas na torta TF.....	80
Tabela 19 - Análises físico-químicas na torta final.....	82

CAPÍTULO 3

Tabela 1 - Matérias-primas utilizadas para a produções de cervejas especiais.....	91
Tabela 2 - Resultados das análises físico-químicas realizados pelo Laboratório da Cerveja.....	98
Tabela 3 - Resultados das análises físico-químicas nas cervejas especiais.....	101
Tabela 4 - Avaliação organoléptica das cervejas C, M20 e M40.....	104

CAPÍTULO 4

Tabela 1 - Condições de ensaio de extração por via ácida.....	111
Tabela 2 – Rendimentos da extração de pectina por meio de soluções extratoras ácidas.....	113
Tabela 3 – Resultados do grau de esterificação das amostras de pectina obtidos pela técnica de espectroscopia de infravermelho com transformada de fourier (FTIR).....	114

LISTA DE QUADROS

CAPÍTULO 1

Quadro 1- Produtos oriundos da utilização de várias partes da Macaúba.....44

CAPÍTULO 3

Quadro 1- Metodologias e protocolos aplicados para a caracterização físico-química das
cervejas.....96

LISTA DE SIGLAS

ABV- Alcohol By Volume

ANR- Açúcares Não Redutores

ANVISA- Agência Nacional de Vigilância Sanitária

APV- Álcool por Volume

AR- Açúcares redutores

ASBC – American Society of Brewing Chemists

AT- Açúcares totais

ATM- alto teor de metoxilas

BID- Banco Interamericano de Desenvolvimento

BTM- baixo teor de metoxilas

C- cerveja controle

CNPE- Conselho Nacional de Política Energética

DNS- dinitrossalicílico

EBC- European Brewery Convention

FDA- fibra detergente ácido

FDN- detergente neutro

FG- Final Gravity

GE – Grau de Esterificação

HM – *High Methoxyl*

IBU- International Bitterness Unit

LAQDEQ- Laboratório de Análises Químicas do Departamento de Engenharia Química da UFMG

LPPM- Lab. de processos e produtos da Macaúba do do Departamento de Engenharia Química da UFMG

LM – *Low Methoxyl*

MAPA- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

OG- Original Gravity

PNPB- Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel

REMAP- Rede Macaúba de Pesquisa

SG- Specific Gravity

SRM- Standard Reference Method

SST- Sólidos Solúveis Totais

SUS- Sistema Único de Saúde

UBCM- Unidade de Beneficiamento do Coco da Macaúba

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

UFSJ – Universidade Federal de São João Del Rei

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1. INTRODUÇÃO.....	23
2. MOTIVAÇÃO DA PESQUISA.. ..	24
3. REVISÃO DA LITERATURA	24
3.1. CERVEJA.....	24
3.1.1. História da cerveja.....	24
3.2. CERVEJA ARTESANAL	26
3.3. LEGISLAÇÃO BRASILEIRA.....	27
3.4. CLASSIFICAÇÃO DA CERVEJA.....	28
3.4.1. Proporção do extrato primitivo.....	28
3.4.2. Cor.....	29
3.4.3. Teor alcoólico	30
3.4.4. Proporção de malte de cevada.....	30
3.4.5. Quanto à fermentação.....	30
3.5. MERCADO NACIONAL DA CERVEJA ARTESANAL	31
3.6. MATÉRIAS-PRIMAS PARA A PRODUÇÃO DE CERVEJA	32
3.6.1. Água.....	32
3.6.2. Malte.....	32
3.6.3. Lúpulo..... ..	33
3.6.4. Leveduras	34
3.4.5. Adjuntos..... ..	35
3.7. PROCESSAMENTO DA CERVEJA ARTESANAL.....	37
3.7.1. Moagem do malte	37
3.7.2. Mosturação	37
3.7.3. Filtração..... ..	38

3.7.4. Fervura	39
3.7.5. Resfriamento.....	39
3.7.6. Fermentação.....	39
3.7.7. Maturação.....	40
3.7.8. Carbonatação e envase.....	40
3.8. MACAÚBA.....	40
3.8.1. Características gerais da palmeira Macaúba.....	40
3.8.2. Utilização e potencialidades da Macaúba.....	42
3.8.3. Tortas do coco Macaúba.....	44
3.9. PECTINA.....	46
3.9.1. Pectina e o processo de produção de cerveja.....	49
4. REFERÊNCIAS	50

CAPÍTULO 2 – PROCESSAMENTO DO COCO MACAÚBA E OBTENÇÃO DA TORTA DA POLPA

1.INTRODUÇÃO.....	55
2. OBJETIVO.....	56
2.1. Objetivo Geral	56
2.2. Objetivos Específicos.....	56
3.MATERIAL E MÉTODOS	57
3.1. MATÉRIAS-PRIMAS.....	57
3.2. METODOLOGIA.....	57
3.2.1. Características Gerais.....	57
3.2.2. Análises Físico-Químicas das polpas e tortas das polpas.....	58
3.2.3. Equipamentos e Processos.....	59
3.2.3.1. Colheita e armazenamento dos frutos.....	59
3.2.3.2. Secagem de frutos e polpa.....	60

3.2.3.3.	Remoção da casca e da polpa.....	61
3.2.3.4.	Prensagem mecânica.....	62
3.3	PROCEDIMENTOS ESPECÍFICOS.....	63
3.3.1.	Procedimentos na Safra 2019.....	63
3.3.1.1.	Processamento: secagem, remoção da casca e despulpamento.....	63
3.3.1.2	Prensagem da polpa e obtenção das tortas.....	65
3.3.2.	Procedimentos na Safra 2020.....	65
3.3.2.1.	Processamento: remoção da casca, secagem e despulpamento.....	65
3.3.2.2	Prensagem da polpa e obtenção das tortas.....	67
3.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	68
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	68
4.1.	PROCEDIMENTOS NA SAFRA 2019.....	68
4.1.1	Processamento: Secagem, remoção da casca e despulpamento	68
4.1.1.1	Avaliação dos lotes L1/L2/L3.....	68
4.1.1.2	Avaliação dos Lotes L4/L5/L6.....	71
4.1.2	Prensagem da polpa e obtenção das tortas.....	73
4.2	PROCEDIMENTOS NA SAFRA 2020.....	74
4.2.1	Processamento: remoção da casca, secagem e despulpamento.....	74
4.2.2	Prensagem da polpa e obtenção das tortas.....	77
4.3	SELEÇÃO DA TORTA PARA A PRODUÇÃO DA CERVEJA.....	78
4.3.1	Seleção da Torta.....	79
4.3.2	Caracterização da Torta Final.....	79
5.	CONCLUSÃO	84
6.	REFERÊNCIAS.....	85

CAPÍTULO 3 - PROCESSAMENTO DAS CERVEJAS ESPECIAIS

1.	INTRODUÇÃO.....	88
2.	OBJETIVO.....	89

2.1. Objetivo Geral	89
2.2. Objetivos Específicos.....	89
3.MATERIAL E MÉTODOS	90
3.1. MATÉRIAS-PRIMAS.....	90
3.2. METODOLOGIA.....	90
3.2.1. Elaboração das cervejas especiais.....	90
3.2.2. Processo de produção.....	91
3.2.3. Caracterização físico-química das cervejas especiais.....	95
4. ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	98
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	98
6. CONCLUSÃO.....	105
7. REFERÊNCIAS.....	106

4. TORTA DA POLPA COMO FONTE ALTERNATIVA DE PECTINA

1. INTRODUÇÃO.....	108
2. OBJETIVO.....	110
2.1. Objetivo Geral	110
2.2. Objetivos Específicos.....	110
3.MATERIAL E MÉTODOS	110
3.1. MATÉRIAS-PRIMAS.....	110
3.2. METODOLOGIA.....	110
3.2.1 Extração da pectina.....	110
3.2.1.2 Rendimento da extração.....	111
3.2.2 Caracterização da pectina.....	112
3.2.2.1.Grau de esterificação.....	112
3.2.2.2 Análise Termogravimétrica (TGA) e Calorimetria Diferencial Exploratória (DSC)	112
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	113
4.1 EXTRAÇÃO E RENDIMENTO DA PECTINA.....	113

4.2 GRAU DE ESTERIFICAÇÃO.....	114
4.3 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA E CALORIMETRIA DIFERENCIAL EXPLORATÓRIA.....	116
5. CONCLUSÃO.....	122
6. REFERÊNCIAS	123

CAPÍTULO 1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1. INTRODUÇÃO

A indústria cervejeira tem papel de destaque no mercado atual de bebidas. A inovação tecnológica, por meio da incorporação de novas matérias-primas no processo de produção cervejeira, tem estimulado a inserção de vários aromas e sabores voltados a produtos que apresentem qualidade sensorial diferenciada. Dessa forma, atende-se às preferências de consumidores exigentes e propicia-se a redução de custos na produção industrial (PINTO, 2015).

A adição de frutas como adjuntos ao processo cervejeiro tem proporcionado agregar às cervejas características típicas de várias regiões do Brasil (FERNANDES, 2017). Exemplos tais como cervejas produzidas com adição de acerola, com pequenas frutas (*berries*), melão de caroá (*Sicana odorífera (Vell.) Naudim*), e mel, tem sido avaliadas quanto à aceitabilidade e qualidade sensorial (BRUNELLI; MANSANO, VENTURINI FILHO; 2014; ARAUJO et al; 2017).

Nesse contexto, a Macaúba (*Acrocomia aculeata*), considerada uma das palmeiras mais versáteis encontradas no território brasileiro, com grande abrangência no Cerrado Mineiro, tem um fruto que apresenta alto potencial energético e nutricional (ARAUJO et al, 2017). A elevada produção de óleos oriundos da polpa e da amêndoa do fruto e o aproveitamento integral de seus coprodutos, tem agregado valor à sua cadeia produtiva gerando produtos manufaturados voltados para vários segmentos industriais (ANDRADE, 2014). Um coproduto é a torta obtida da extração do óleo da polpa do fruto. A torta apresenta grande potencial por ser fonte de fibras, proteínas, minerais e lipídeos que possibilitam sua ampla utilização para fins de ração animal e produtos alimentícios. A fim de abrir novos caminhos para o desenvolvimento de novos produtos para o mercado cervejeiro, propõe-se, nesta pesquisa, utilizar a torta da polpa como matéria-prima adjunta ao malte, e avaliá-la como relevante fonte vegetal para a extração da pectina.

Assim, pretende-se inovar o mercado cervejeiro e alimentício, através da inserção de um coproduto na produção da cerveja, componente do cerrado brasileiro e caracterizar a torta como fonte alternativa de matéria-prima vegetal para extração de pectina. Dessa forma a presente pesquisa, visa contribuir sustentavelmente, para o fortalecimento da cadeia produtiva da Macaúba trazendo novas perspectivas para o cenário nacional.

Todas as etapas desde a obtenção do fruto, processamento para obtenção da torta e sua aplicação para a produção de cerveja e para a extração de pectina são apresentados em capítulos.

No Capítulo 1 aborda-se breve revisão bibliográfica sobre a cerveja, a palmeira Macaúba (*Acrocomia aculeata*) e a pectina. No Capítulo 2 é apresentado o processamento do coco Macaúba desde sua colheita até a obtenção da torta da polpa que será utilizada como adjunto na produção de cerveja. No Capítulo 3 descreve-se a produção das cervejas especiais. Encerra-se com o Capítulo 4, que apresenta a metodologia e resultados da extração e caracterização da pectina obtida da torta da polpa do coco Macaúba.

2. MOTIVAÇÃO DA PESQUISA

A motivação desta pesquisa consistiu em desenvolver uma tecnologia sustentável para a produção de cerveja especial, que utiliza como matéria-prima adjunta ao malte, a torta resultante do processo de extração do óleo da polpa do fruto da Macaúba.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1 CERVEJA

3.1.1 História da cerveja

Com o fim das eras glaciais ocorridas na Terra, iniciou-se o desenvolvimento das técnicas agrícolas, devido a necessidade de os povos abandonarem a vida nômade. Dessa forma, começaram a fixar sua moradia formando comunidades agrícolas, evitando a incessante busca por alimentos. O ser humano observou que os cereais (sorgo, cevada, trigo dentre outros) produziam sementes, que em contato com a água da chuva, saíam do estado latente para o de germinação. Enquanto algumas sementes germinadas seguiam seu natural processo de desenvolvimento, dando origem a novas plantas, outras secavam, em contato com o sol. O amido contido no seu interior se transformava em açúcares, que novamente em contato com a água, resultava em posterior ocorrência de fermentação. O líquido açucarado formado, geralmente era armazenado em jarras que ficavam expostas ao tempo. Por consequência, tinham ações de leveduras do ar (selvagens), que consumiam

as moléculas dos açúcares transformando-as em álcool e gás. A partir daí transforma-se a história do mundo: surge a cerveja (ALMEIDA, 2015).

Há indícios de que a cerveja foi inicialmente produzida a cerca de 8000 anos a.C., sendo seu desenvolvimento histórico paralelo à produção de grãos. Pode-se definir que o conceito de cerveja, historicamente e arqueologicamente, é toda bebida fermentada a partir de grãos passíveis de serem germinados. O surgimento da cerveja é atribuído a região da Mesopotâmia, precisamente aos sumérios e babilônios. Esses dois impérios foram essenciais para que a cerveja tivesse um papel fundamental na criação e desenvolvimento da sociedade civilizada. Naquela época, a cerveja era considerada alimento, comparada ao pão pela sua riqueza nutricional e pelo semelhante processo de produção. A civilização que sucedeu os sumérios foi a civilização babilônica. A civilização babilônica influenciou a civilização egípcia, e sucessivamente, a cultura cervejeira repercutiu para as próximas civilizações: grega e romana. Os gregos foram influenciados pelos egípcios, assim como os romanos foram influenciados pelos gregos. Notadamente, na Idade Média e ao longo da história, a cerveja teve grande importância por atuar como moeda de troca e como alimento. Nos séculos XII e XIII surgia a produção de cerveja em escalas industriais, passando apenas de uma atividade artesanal para uma atividade comercial e industrial (CABRAS, HIGGINS, 2016).

Em 23 de abril de 1516, ocorreu um dos mais marcantes registros da história cervejeira, a Lei de Pureza Alemã (*Reinheitsgebot*), criada pelos Duques Guilherme IV e Luís X. Essa regra estabelecia que as cervejas comercializadas poderiam ter apenas três ingredientes: água, malte e lúpulo. A intenção dessa Lei, por um lado, era garantir a qualidade da cerveja, e, por outro, e garantir que os grãos mais valiosos e que estavam em falta naquele tempo, como o trigo e o centeio, deixassem de ser utilizados na fabricação do pão garantindo, desta forma, a oferta de trigo. Atualmente a Lei da Pureza Alemã é aplicada aos processos cervejeiros na Alemanha, reforçando a tradicionalidade daquele país (POELMANS; SWINNEN, 2009).

No século XIX, com as inovações trazidas pela Revolução industrial, a atividade cervejeira aprimorou o processo com novas tecnologias que trouxeram a revitalização da cultura cervejeira. Atualmente, o mercado cervejeiro visa atender aos quesitos de qualidade e expectativas sensoriais de um consumidor exigente, atento à inovação e sofisticação desse mercado (CABRAS; HIGGINS, 2016).

No Brasil, o cenário cervejeiro ressurgiu através de Dom João VI que trouxe o hábito de beber cerveja. Até que em 1888, surge em São Paulo a Companhia Antarctica Paulista fundada pelo alemão Louis Bücher e no Rio de Janeiro, surge a Companhia Cervejaria Brahma fundada pelo suíço Joseph Villiger. A partir daí a cultura cervejeira no Brasil passa por várias transformações impulsionadas pela valorização da cerveja em todo o mundo. As duas companhias dominaram o mercado por longos anos protagonizando a cultura cervejeira nacional por quase um século (MORADO, 2017).

O cenário brasileiro atual é composto por três cervejarias: Ambev, *Heinekein* e Petrópolis que juntas correspondem a uma fatia de mais de 90% do mercado cervejeiro. Mesmo com a crise mundial trazida pela pandemia do Coronavírus em 2020, a exigência do consumidor em buscar qualidade e inovação fez ressignificar o papel da cerveja artesanal. Os três grupos atuam em prol da expansão e readequação neste novo cenário e não medem esforços para a valorização e crescimento do mercado cervejeiro nacional.

3.2 CERVEJA ARTESANAL

É importante salientar que não existe nenhuma legislação específica em termos legais que define o conceito de cerveja artesanal. Mas em um contexto histórico, cultural e sensorial pode-se afirmar que a cerveja artesanal se caracteriza pelo processo de fabricação. Em sua produção, utilizam-se matérias-primas (água, malte, lúpulo, levedura) de qualidade, podendo utilizar adjuntos, que atuam como outra fonte de açúcares ou que ajudam na incorporação de novos aromas e sabores. O processo de produção é diferenciado respeitando o período certo de cada etapa, principalmente em relação às etapas de fermentação e maturação. Geralmente não se utilizam aditivos químicos, o que promove uma pluralidade de aromas e sabores. A tradicionalidade na elaboração das receitas, o conhecimento de todo o processo, desde a obtenção dos insumos, a técnica de cada etapa e a eficiência de cada equipamento, são requisitos imprescindíveis para produção de uma boa cerveja.

As cervejas produzidas industrialmente, conhecidas como *mainstream*, se diferenciam das artesanais pelo volume de produção, pela utilização de cereais não maltados e de antioxidantes, corantes e estabilizantes utilizados para padronizar o processo. A produção em larga escala e o processo ultra padronizado visa vender a cerveja

por um custo mais atrativo, com baixo teor alcoólico e que instiga o consumo em maior quantidade. Essas cervejas apresentam diferenças de aromas e sabores quando comparadas às denominadas cervejas artesanais.

Com o aumento da cultura cervejeira e a procura por novos produtos que atendam a um consumidor mais exigente, a demanda por cervejas artesanais cresceu nos últimos dez anos. Esse mercado vem despertando o empreendedorismo e impulsionando um negócio bastante lucrativo. Como consequência, surgiram conceitos que definem as características de uma cerveja especial. Segundo o DECRETO Nº 8.442, DE 29 DE ABRIL DE 2015 cerveja especial:

Art. 2º Para fins do disposto neste Decreto considera-se:

I - cerveja especial - a cerveja que possuir 75% (setenta e cinco por cento) ou mais de malte de cevada, em peso, sobre o extrato primitivo, como fonte de açúcares;

II - chope especial - a cerveja especial não submetida a processo de pasteurização para o envase.

3.3 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA

As bebidas (alcoólicas ou não) classificadas como produtos de origem vegetal possuem legislação e regulamentação que garantem a segurança do consumidor. A Lei nº 8.918, de 14 de julho de 1994, dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas no Brasil. Essa lei é regulamentada pelo Decreto Nº 6.871, de 4 de junho de 2009, que estabelece alguns critérios e exigências e propõe a definição legal de bebida no Art. 2º:

“II -bebida: o produto de origem vegetal industrializado, destinado à ingestão humana em estado líquido, sem finalidade medicamentosa ou terapêutica;
III - também bebida: a polpa de fruta, o xarope sem finalidade medicamentosa ou terapêutica, os preparados sólidos e líquidos para bebida, a soda e os fermentados alcoólicos de origem animal, os destilados alcoólicos de origem animal e as bebidas elaboradas com a mistura de substâncias de origem vegetal e animal.”

Toda bebida definida pelo Regulamento aprovado pelo Decreto nº 6.871 de 4 de junho de 2009, assim como os vinhos e derivados da uva e do vinho (descritos na lei nº 7678, de 8 de novembro de 1988), devem ser registradas no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. Esse órgão atua para garantir a segurança e a qualidade dos alimentos e bebidas oferecidos à população. Além disso, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) é o órgão responsável pela avaliação do produto para o consumo humano, que por sua vez está subordinada ao Sistema Único de Saúde (SUS) e, conseqüentemente ao Ministério da Saúde. Então, em âmbito federal, o MAPA e o Ministério da Saúde, por meio da ANVISA dividem responsabilidades no controle, consumo e comércio de alimentos e bebidas.

O Decreto Nº 6.871, de 4 de junho de 2009, apresenta a definição e classificação de cerveja:

Art. 36: define-se cerveja como a bebida obtida pela fermentação alcoólica do mosto cervejeiro oriundo do malte de cevada e água potável, por ação da levedura, com adição de lúpulo.

Art. 38: define-se a classificação das cervejas em cinco diferentes critérios: quanto ao extrato primitivo, a cor, ao teor alcoólico, proporção de malte de cevada e ao tipo de fermentação.

3.4 CLASSIFICAÇÃO DA CERVEJA

3.4.1 Proporção de extrato primitivo

O extrato da cerveja pode ser determinado por três diferentes formas: extrato original ou primitivo, extrato aparente e extrato real.

Entende-se por extrato primitivo a quantidade de substâncias dissolvidas (extrato) do mosto que deu origem à cerveja e se expressa em porcentagem ou graus plato. Deve ser sempre maior ou igual a 5% em peso (MAPA, 2008). Equivale ao teor de sólidos no mosto antes da fermentação.

O extrato aparente corresponde a porcentagem (%m/m) dos sólidos presentes na cerveja - os açúcares, proteínas e dextrinas - durante a fermentação do mosto, considerando a presença do álcool.

O extrato real é o extrato medido considerando a correção na leitura da presença do álcool, após a fermentação.

A proporção do extrato primitivo determina a seguinte classificação da cerveja, apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação da cerveja quanto ao extrato primitivo.

Classificação	Características
Cerveja Leve	Igual ou superior a 5% e inferior a 10,5% em peso
Cerveja Comum	Igual ou superior a 10,5% e inferior a 12,5% em peso
Cerveja Extra	Igual ou superior a 12,5% e inferior a 14% em peso
Cerveja Forte	Igual ou superior a 14% em peso

Fonte: Decreto nº 6871 de 4 de junho de 2009.

3.4.2 Cor

Existem duas unidades para classificação da cor da cerveja: *Standard Reference Method* (SRM) e *European Brewery Convention* (EBC). Ambas utilizam como base a espectrofotometria para definição das cores. A legislação brasileira segue a escala EBC. As cervejas são divididas em duas categorias: clara e escura. Dessa forma, as cervejas claras são aquelas que possuem até 20 unidades de EBC. As cervejas escuras apresentam valores acima de 20 unidades de EBC. A classificação em unidades de SRM e EBC é mostrada na Figura 1 a seguir:

MACRO DIVISÃO	SRM	TONALIDADE	EBC	CLASSIF.**
Palha	2 – 3		3,94 – 5,91	Cerveja Clara até 20 EBC
Amarelo	3 – 4		5,91 – 7,88	
Ouro	4 – 5		7,88 – 9,85	
Âmbar	6 – 9		11,82 – 17,73	
Profundo âmbar / cobre luz	10 – 14		19,70 – 27,58	
Cobre	14 – 17		27,58 – 33,49	Cerveja Escuro ≥ 20 EBC
Profundo cobre/castanho claro	17 – 18		33,49 – 35,46	
Castanho	19 – 22		37,43 – 43,34	
Castanho Escuro	22 – 30		43,34 – 59,10	
Castanho muito escuro	30 – 35		59,10 – 68,95	
Preto	35 +		68,95 – 78,80	
Preto opaco	40+		>78,80	

Figura 1 - Classificação da cor da cerveja nas escalas EBC e SRM.

Fonte: <http://revistamalagueta.com.br/wp-content/uploads/2018/10/tabela-cores.jpg>

3.4.3 Teor alcoólico

O teor alcoólico de uma cerveja é definido como o percentual de álcool por volume de cerveja. O padrão de medida utilizado é o ABV (*Alcohol By Volume*) ou, em português, APV (Álcool por Volume). A classificação das cervejas quanto ao teor alcoólico é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 – Classificação das cervejas quanto ao teor alcoólico.

Classificação	APV (%)
Cerveja sem álcool	Inferior ou igual a 0,5%
Cerveja com álcool	Superior a 0,5%

Fonte: Decreto nº 6871 de 4 de junho de 2009.

Para a cerveja sem álcool não é obrigatório constar no rótulo a informação do teor alcoólico, enquanto para a cerveja com álcool o rótulo deverá informar obrigatoriamente o percentual de álcool em volume.

3.4.4 Proporção de malte de cevada

Quanto a proporção de malte de cevada, as cervejas são classificadas de acordo com as informações apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Classificação das cervejas quanto a proporção de malte de cevada.

Classificação	Características
Cerveja puro malte	100% de malte de cevada, em peso, sobre o extrato primitivo, com fonte de açúcares
Cerveja	Maior ou igual a 50%, em peso, sobre o extrato primitivo, como fonte de açúcares.
Cerveja com o nome do vegetal predominante	Maior do que 20 e menor do que 50%, em peso, sobre o extrato primitivo, como fonte de açúcares.

Fonte: Decreto nº 6871 de 4 de junho de 2009.

3.4.5 Quanto à fermentação

As cervejas podem ser classificadas de acordo com seu processo fermentativo em dois grupos: cervejas de alta fermentação, denominadas do estilo *Ale*, e cervejas de baixa fermentação, denominadas do estilo *Lager*.

A fermentação do estilo *Ale* ocorre na faixa de temperatura entre 15°C e 24°C. As leveduras atuam na parte superior do mosto. A fermentação do estilo *Lager* a fermentação ocorre na faixa de temperatura de 8°C a 15°C e as leveduras se depositam no fundo do

tanque (MORADO,2017). A Figura 2 apresenta o desenho esquemático dos estilos *Ale* e *Lager*.



Figura 2 – Desenho esquemático dos estilos *Ale* e *Lager*.

Fonte: adaptado <http://www.falecomfulvia.com.br/cervejas-e-suas-familias>.

3.5 MERCADO NACIONAL DA CERVEJA ARTESANAL

A secretaria de Defesa Agropecuária do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) apresentou em 2020 o documento institucional, denominado Anuário da cerveja 2020 que apresenta dados estatísticos em relação ao registro de cervejarias e de produtos. Vale ressaltar que os dados apresentados mostram o impacto que a pandemia (COVID-19) acarretou ao mercado cervejeiro.

Houve o crescimento de 14,4% do registro de novas cervejarias em relação ao ano de 2019, que correspondeu a 174 novas cervejarias registradas. Apesar do aumento esse índice foi o menor registrado desde 2011. Em 2020 foram computadas 1383 cervejarias artesanais com registro ativo no MAPA, sendo que as regiões sul e sudeste detêm a maior concentração com 85,6% dos estabelecimentos. O destaque de 2020 fica para a região nordeste que teve crescimento de 41,4% e a Centro-Oeste de 22,8% (ANUÁRIO DA CERVEJA, 2020). Em relação ao registro de produtos para a cerveja houve uma redução de 15% comparado a 2019.

O cenário atual ainda se encontra sobre os efeitos da pandemia, e mesmo com dificuldades, o setor de cerveja artesanal busca alternativas para superar esse desafio com

a criação de novas estratégias. Dessa forma, novas tendências e caminhos reafirmam o papel da cultura da cerveja artesanal de modo a garantir o crescimento mercadológico e o fortalecimento do setor.

3.6 MATÉRIAS-PRIMAS PARA A PRODUÇÃO DE CERVEJA

A produção de cerveja essencialmente é composta por quatro matérias-primas básicas: água, malte, lúpulo e levedura. A seleção dessas matérias-primas e a proporção de cada ingrediente na receita, dará origem a mais de 150 estilos de cervejas fabricados ao redor do mundo. A utilização de adjuntos, como outras fontes de carboidratos além do malte, irá conferir características sensoriais diferenciadas na cerveja.

3.6.1 Água

A água é a principal matéria-prima e corresponde entre 90% e 95% da composição da cerveja. A qualidade da cerveja se deve, em muito, às características da água que foi utilizada na sua produção. As características da água tais como pH, potabilidade, nitratos, quantidade de sais, turbidez, metais pesados, odor, cor entre outras são essenciais para garantir os processos químicos e enzimáticos necessários para a produção da cerveja. As características primordiais para a água cervejeira são limpidez, potabilidade e ausência de odor e corpos estranhos (VENTURINI FILHO et al, 2001).

Na maioria dos processos cervejeiros é realizado o ajuste da água para que se obtenha a especificação que irá garantir as características da cerveja a ser produzida. O ajuste do perfil da água é essencial para garantir a eficiência da mosturação e da fermentação, além de evidenciar o dulçor do malte ou o amargor do lúpulo (BRUNELLI; MANSANO; VENTURINI FILHO; 2014).

3.6.2 Malte

O nome malte designa o cereal que resultou da germinação do grão de cevada em condições adequadas de temperatura, aeração e umidade. O teor de proteína, a taxa de

gordura, o rendimento da extração e a capacidade de germinação do cereal é que irá qualificá-lo para ser utilizado para a produção de cerveja. Nesse contexto, o grão de cevada se destaca por apresentar características como o alto teor de amido, proteínas, lipídios e enzimas além do seu valor ser mais econômico quando comparado a outros cereais (TRENTIN et al., 2021). A Tabela 4 apresenta a composição média do grão de cevada em comparação com o malte (após o processo de malteação).

Tabela 4 - Composição do grão de cevada e malte.

Composição	Cevada	Malte
Massa do Grão (mg)	32-36	29-33
Umidade (%)	10-14	4-6
Amido (%)	55-60	50-55
Açúcares (%)	0,5-1,0	8-10
Nitrogênio Total (%)	1,8-2,3	1,8-2,3
Nitrogênio solúvel (% de N total)	10-12	35-50
Poder diastásico, °Lintner	50-60	100-250
A-amilase, unidades de dextrina	Traços	30-60
Atividade proteolítica	Traços	15-30

Fonte: CEREDA (1985).

Para que o grão de cevada esteja apto para a fabricação de cerveja é necessário que passe pelo processo de malteação. A malteação é realizada em quatro etapas: maceração, germinação, secagem e torrefação.

O malte tem papel fundamental por ter a função de fornecer os açúcares que serão substratos das leveduras e por conferir aromas, sabores e cores diferenciadas à cerveja. Pode ser utilizado na forma de grãos ou extrato seco ou líquido e são classificados como malte base e malte especial. Os maltes bases possuem maiores características diastásicas (alto poder enzimático) e por isso fornecem a maioria dos açúcares fermentáveis. Os maltes especiais (baixo poder diastásico) geram menor quantidade de açúcares fermentáveis e são responsáveis para conferir proteínas de médio peso molecular, aroma, sabor e cor à cerveja (PINTO et al, 2015).

3.6.3 Lúpulo

O lúpulo (*Humulus lupulus*) é uma planta trepadeira característica de regiões frias que possui flores masculinas e femininas, muito comum nas regiões do hemisfério norte,

podendo alcançar até 10 metros de altura. Pertence à família *Cannabinaceae*, mas apesar de fazer parte da mesma família da maconha não possui efeitos psicotróficos como ela (CURI; VENTURINI; NOJIMOTO; 2009).

Os principais constituintes do lúpulo são resinas, óleos essenciais e polifenóis que irão conferir à cerveja o gosto amargo. É comercializado na forma de flores ou cones, *pellets* ou extrato.

A composição do lúpulo *in natura* pode ser verificada na Tabela 5 a seguir.

Tabela 5 – Composição do lúpulo *in natura*.

Composição	Quantidade
Resinas totais (alfa+ beta)	15-40%
Polifenóis	2 - 5%
Óleos e ácidos gordos	0 - 25%
Proteínas	≈. 15%
Celulose	40-50%
Água	5- 12%
Pectinas	≈ 2%
Cinzas	≈ 10%

Fonte: SENAI (2014).

As partes femininas da planta (estróbilos) é que são utilizadas para a produção de cerveja por possuírem 150 vezes mais resinas do que as partes masculinas. O lúpulo confere o sabor amargo, além de propiciar características medicinais e bacteriostáticas. A lupulina, principal composto do lúpulo, é que contém os óleos e resinas que irão conferir o amargor e o aroma nas cervejas. As resinas do lúpulo contêm os alfa e beta ácidos que conferem o amargor à cerveja. A quantidade de alfa-ácidos definem o grau de amargor e a quantidade de beta-ácidos definem a qualidade deste amargor. Os óleos presentes irão promover os aromas e sabores. O lúpulo é considerado o tempero da cerveja (HAILEE et al; 2019).

3.6.4 Leveduras

A levedura ou fermento é um dos principais ingredientes da cerveja. As leveduras pertencem ao Reino *fungi*, são fungos unicelulares e reproduzem por brotamento. Metabolizam os açúcares presentes no mosto e produzem álcool e gás carbônico. Conferem os aromas frutados, fenóis entre vários outros componentes e definem o perfil sensorial da cerveja (FILHO, 2020). O metabolismo da levedura pode ser afetado por

diversos fatores, tais como a especificidade da cepa, quantidade e qualidade do adjunto utilizado na produção da cerveja, pH da fermentação, temperatura, modelo do fermentador e concentração do mosto (VENTURINI FILHO et al, 2001). As leveduras são comercializadas na forma liofilizada (seca) ou líquida.

As cervejas são produzidas basicamente por duas espécies que pelas características da fermentação, são classificadas em cervejas *Ale* e cervejas *Lager*. São apresentadas a seguir:

- *Saccharomyces cerevisiae* (*Ale*): leveduras de alta fermentação, atuam em faixas de temperaturas de 15° a 24°C. Ao final da fermentação se depositam na superfície do tanque. Produzem cervejas mais alcólicas com aromas frutados e condimentados.
- *Saccharomyces pastorianus* (*Lagers*): leveduras de baixa fermentação, atuam na faixa de temperatura de 8°C a 15°C. Ao final da fermentação se depositam no fundo do tanque. Produzem cervejas com aromas mais limpo e de sabor seco.

Outras linhagens de leveduras, conhecidas como leveduras selvagens, são aquelas existentes no ambiente e são conhecidas desde os primórdios da história do surgimento da cerveja. São exemplos: *Brettanomyces bruxellensis*, *Brettanomyces lambicus* e *Brettanomyces anomalus*. Essas leveduras conferem à cerveja uma acidez preponderante por produzirem ácido acético. Para a situação que ocorre uma fermentação espontânea e lenta, um exemplo clássico são as cervejas do estilo *Lambic* (SPITAEELS et al;2015).

3.6.5 Adjuntos

Os adjuntos são matérias-primas adicionadas como complementos ou suplementos ao malte e são fontes de amido e açúcares fermentáveis. São utilizados para propiciar características diferenciadas na cerveja mantendo o padrão de qualidade sensorial (SENAI, 2014).

Classificados quanto à proporção de carboidratos em sua composição, os adjuntos podem ser amiláceos ou açucarados (VENTURINI FILHO et al, 2019). Milho, trigo, sorgo, aveia e arroz são adjuntos amiláceos, sendo que necessitam que ocorra prévia

hidrólise do amido por ação enzimática, antes de adicioná-los ao mosto. Xarope de milho, açúcar comum, açúcar invertido (xarope de glicose e frutose) são exemplos de adjuntos açucarados e podem ser adicionados diretamente ao mosto (ARAÚJO, 2003).

No Brasil, o Decreto nº 2314, de 4 de setembro de 1997 regulamenta a Lei nº 8.918, de 14 de julho de 1994, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. Esse Decreto, embora apresente a definição de cerveja, não estabelece limites para a utilização de adjuntos. No ano de 2001, foi internalizado no Brasil o regulamento técnico MERCOSUL de produtos de cervejarias, pela Instrução Normativa nº54/2001, na qual é estabelecido um limite na quantidade de adjunto que pode ser utilizado na produção da cerveja.

A Instrução Normativa nº54/01 estabelece:

2.1.1. Cerveja: Entende-se exclusivamente por cerveja a bebida resultante da fermentação, mediante levedura cervejeira, do mosto de cevada malteada ou do extrato de malte, submetido previamente a um processo de cocção, adicionado de lúpulo. Uma parte da cevada malteada ou do extrato de malte poderá ser substituída por adjuntos cervejeiros.

2.1.2. Malte líquida: Entende-se por malte líquida a bebida não-alcoólica, resultante do mosto de cevada malteada ou do extrato de malte e água potável, submetido previamente a um processo de cocção, adicionada ou não com lúpulo, colorida ou não com corante caramelo, carbonatada ou não. Uma parte da cevada malteada ou do extrato de malte poderá ser substituída por adjuntos cervejeiros.

2.1.3. Cevada malteada ou malte: Entende-se exclusivamente por cevada malteada ou malte o grão de cevada cervejeira submetido à germinação parcial e posterior desidratação e/ou tostagem, em condições tecnológicas adequadas. Qualquer outro cereal submetido a um processo de malteação deverá denominar-se malte de, seguido do nome do cereal.

2.1.4. Extrato de malte: Entende-se exclusivamente por extrato de malte o produto seco ou de consistência xaroposa ou pastosa, obtido tão somente do malte ou da cevada malteada.

2.1.5. Adjuntos cervejeiros: Entende-se por adjuntos cervejeiros as matérias-primas que substituam parcialmente o malte ou o extrato de malte na elaboração da cerveja. Seu emprego não poderá, em seu conjunto, ser superior a 45% em relação ao extrato primitivo. Consideram-se adjuntos cervejeiros a cevada cervejeira e os cereais, malteados ou não-malteados, aptos para o consumo humano, com exceção dos produtos definidos nos itens 2.1.3 e 2.1.4.

Também são considerados adjuntos cervejeiros os amidos e açúcares de origem vegetal. Quando se tratar de açúcares vegetais diferentes dos provenientes de cereais, a quantidade máxima de açúcar empregada em relação ao seu extrato primitivo será: a) cerveja clara, menor ou igual a 10% em peso; b) cerveja escura, menor ou igual a 25% em peso.

Em julho de 2019 foi publicado o decreto Nº 9.902/2019 que atualiza as disposições legais sobre cerveja no Brasil. Esse Decreto permite a utilização de

ingredientes de origem vegetal, e de origem animal como por exemplo o leite, chocolate e mel. Cervejas que utilizavam esses ingredientes antigamente eram consideradas bebidas mistas. Essa mudança na legislação para o mercado cervejeiro trouxe oportunidades às cervejarias artesanais para propiciar maior liberdade para inovar a produção (BRASIL; 2019).

3.7 PROCESSAMENTO DA CERVEJA ARTESANAL

O processo de produção de cerveja é constituído por várias etapas nas quais ocorre a transformação química de carboidratos encontrados nos grãos de cereais em álcool etílico. A seguir são descritas as etapas do processo de produção de cerveja.

3.7.1 Moagem do malte

A moagem do malte tem como finalidade romper o endosperma do grão para expor o amido e acelerar as reações enzimáticas. O rendimento dessa etapa tem influência direta na clarificação, transformações físico-químicas e na qualidade da cerveja final (BRUNELLI; MANSANO; VENTURINI FILHO, 2014).

A etapa de moagem deve ocorrer de forma que a casca do malte permaneça a mais íntegra possível para que seja utilizada como camada filtrante, permitindo a exposição do conteúdo da melhor forma. A moagem pode ser realizada usando o moinho de rolos ou o moinho tipo martelo e a escolha do moedor dependerá da etapa de mosturação e filtração do processo (LINKO et al, 1998).

3.7.2 Mosturação

A etapa de mosturação consiste na adição do malte na água. O malte passará por cozimento para extrair os açúcares que serão o substrato para as leveduras na etapa de fermentação. Na mosturação é que ocorre a ativação enzimática em diferentes faixas de temperaturas e tempo controlados (MORADO; 2017).

Para os diferentes estilos de cerveja, deve-se trabalhar com a temperatura ideal de cada enzima, para propiciar o tempo e pH necessários para sua ativação (BARON; 1985). Dessa forma, o amido é quebrado em diferentes tamanhos gerando açúcares e dextrinas de diferentes massas moleculares (PALMER; 2006). Altas temperaturas produzem dextrinas que não são fermentáveis pela levedura, enquanto temperaturas menores na mosturação propiciam a produção de açúcares básicos fermentescíveis (KUNZE; 1996).

As enzimas presentes no malte que atuam na mosturação e suas respectivas funções e faixas de atuação são descritas na Tabela 6.

Tabela 6 – Enzimas que atuam na mosturação e condições ótimas de atuação

ENZIMA	FAIXA DE TEMPERATURA IDEAL	FAIXA DE PH IDEAL	FUNÇÃO
Fitase	30-52°C	5.0-5.5	Reduz o pH da mostura para que outras enzimas possam atuar
<i>Debranching</i> (várias enzimas)	35 e 45°C	5,0 e 5,8	Contribuem para a solubilização do amido
Beta glucanase	35-45°C	4.5-5.5	Responsável pela quebra dos beta-glucanos. Geralmente indicada quando há uso de cereais não maltados na receita.
Peptidase e Protease	45-55°C	4,6 – 5,3	Diminuem a turbidez final do líquido, quebrando cadeias longas em compostos menores. Produz maior quantidade de proteínas solúveis no mosto. Ajudam na formação de espuma.
Dextrinase	60 e 62,5°C	5,4-5,8	Quebra o amido em maltose e maltotriose
Beta-amilase	55-65°C	5,0-5,7	Transforma o amido em maltose
Alfa-amilase	65-72°C	5,2-5,8	Quebra o amido em cadeias de vários tamanhos, como por exemplo: maltose, maltotriose e dextrinas.

Fonte: PALMER (2006)

3.7.3 Filtração

Ao final da mosturação, a etapa de filtração terá como finalidade a separação do bagaço de malte do mosto. Ocorrerá a separação dos sólidos insolúveis presentes no mosto, de modo a permitir a sua clarificação e garantir a recuperação de açúcares remanescentes no extrato residual (ARAÚJO; 2017). Para que isso ocorra, realiza-se a recirculação de água adicional ao mosto através da camada filtrante, composta pelo bagaço de malte e substâncias que não foram solubilizadas até completa clarificação do mesmo. Posteriormente ocorre uma segunda recirculação com água a 75°C para recuperar os açúcares residuais e inativar as enzimas e atividade bacteriana (CEREDA et al; 2005).

3.7.4 Fervura

Na etapa de fervura é feita a adição de lúpulos que irão conferir o amargor e aroma à cerveja. Nesta etapa ocorre a coagulação de proteínas, a estabilidade biológica, bem como a estabilidade química e físico-química do mosto cervejeiro. As adições de lúpulo, mais propícias, são geralmente realizadas no início da fervura para obtenção de amargor e ao final da fervura para obtenção de aroma. Destaca-se que a fervura deve ocorrer de maneira vigorosa, de forma a garantir a isomerização dos alfa-ácidos dos lúpulos, a clarificação da cerveja e o aumento da taxa de evaporação, para evitar o retorno de condensado ao mosto (MORADO, 2017).

3.7.5 Resfriamento

Os precipitados oriundos das reações proteicas, do lúpulo e materiais coagulados no fundo do tanque e dos taninos do malte são denominados *trub*. Esse material deve ser retirado para não prejudicar a fermentação e estabilidade coloidal da cerveja. Realiza-se nessa etapa o *whirlpool*, que é efetuado por meio de movimentos circulares, gerando um redemoinho, para que o *trub* se decante, depositando no centro do tanque. Após a realização do *whirlpool*, é necessário reduzir a temperatura do mosto, preparando-o para a etapa de fermentação. Ressalta-se a importância de realizar esse resfriamento o mais rapidamente possível a fim de evitar contaminação (BRUNELLI;MANSANO, VENTURINI FILHO; 2014).

3.7.6 Fermentação

Nessa etapa são adicionadas as leveduras, que são os microrganismos responsáveis pela conversão dos açúcares fermentescíveis em etanol e gás carbônico (MORADO; 2017). Na fermentação são formados compostos que irão incrementar aromas e sabores da cerveja. O correto controle do tempo e da temperatura da fermentação e a quantidade de levedura inoculada é que irá favorecer a formação de compostos agradáveis e eliminar os compostos indesejáveis. Ao término desta etapa, a levedura irá sedimentar ou flocular (NUNES et al; 2017; SPITAEELS et al; 2015).

3.7.7 Maturação

A maturação é considerada uma fermentação secundária. Durante a etapa de maturação ocorre a sedimentação das leveduras e a clarificação da cerveja, como também a saturação de gás carbônico e o refinamento dos aspectos visuais, de aromas e sabores. Geralmente é conduzida em temperaturas menores que a fermentação (LINKO et al, 1998).

3.7.8 Carbonatação e envase

Após a maturação, o teor de gás carbônico na cerveja não é suficiente para garantir a gaseificação da mesma. A técnica de carbonatação acontece pela injeção de gás carbônico (carbonatação forçada) ou pelo *priming*, que consiste na adição de açúcar diretamente na garrafa ou no tanque. O envase e a carbonatação são realizados concomitantemente, seja no enlatamento, embarrilamento ou engarrafamento. A realização de uma etapa de pasteurização antes do envase dependerá da necessidade e objetivo do processo de produção (MORADO, 2017).

3.8 MACAÚBA

3.8.1 Características gerais da palmeira Macaúba

A Macaúba é uma palmeira do gênero *Acrocomia*, pertencente à família *Arecaceae* (antiga *Palmae*). No Brasil, as espécies *Acrocomia aculeata* (Jacq.), *Acrocomia totai* Mart. e *Acrocomia intumescens* Drude são conhecidas como macaubeiras. No estado de Minas Gerais predomina o ecótipo *aculeata* (Figura 3), enquanto na região oeste do Centro-oeste o ecótipo *totai* e, no Nordeste, o *intumescens*, popularmente conhecida como “barriguda” (CARDOSO et al., 2020).

Sua ampla abrangência geográfica se estende do México à Argentina, Costa Rica, Paraguai e Brasil. No Brasil, é considerada a palmeira de maior dispersão com elevadas concentrações nos biomas Cerrado e Pantanal. A Macaúba é encontrada em todas as regiões do Brasil, com maior frequência no Centro Oeste e menor incidência no sul do país (MDA, 2014).

As Macaúbas são palmeiras robustas e seu caule, tipo estipe, chega a atingir até 15 metros de altura e varia de 30 a 40 cm de diâmetro. A estipe é recoberta por espinhos pontiagudos na região dos nós e apresenta folhas pinadas de coloração esverdeada que variam de 4 a 5 metros. Suas flores são agrupadas em cachos pequenos e amarelos com a presença de uma bráctea denominada espata que pode medir até 2 metros de comprimento (CICONINI et al, 2013).



Figura 3 - *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart. conhecida como Macaúba.
Fonte: Próprio autor.

Os frutos, comumente denominados de cocos da Macaúba, dependendo da região de ocorrência, e são conhecidos por outros nomes como mbocayá na Argentina, totaí na Bolívia, tamaco na Colômbia, ou ainda, coco-de-espinho, macacaúba, mucaia, coco-baboso, coco-de-catarro, bocaiúva, mucajaba, mucaia, dentre outros nomes, no Brasil (MOTOIKE et al., 2013).

Os frutos da Macaúba apresentam formato esférico, compostos pelo epicarpo, mesocarpo, endocarpo e semente. O epicarpo (casca), porção externa do fruto, envolve o mesocarpo amarelo, extremamente fibroso e rico em óleo, conhecido como polpa. Aderido à polpa, encontra-se um envoltório enegrecido e rígido denominado endocarpo que envolve uma amêndoa oleaginosa revestida por um fino tegumento. Cada fruto pode

conter de uma até duas sementes dependendo da espécie (CICONINI et al, 2013; MDA, 2014). As partes do fruto são apresentadas na Figura 4.



Figura 4 - Partes do fruto da Macaúba.
Fonte: Próprio autor

Os percentuais das partes dos frutos são da ordem de 20% de casca, 40% de polpa, 33% de endocarpo e 7% de amêndoa. O tamanho do fruto varia de 2,5 cm a 5,0 cm de diâmetro. A frutificação ocorre durante todo o ano e a colheita dos frutos em estágio de maturação avançado ocorre de dezembro a abril (CICONINI et al, 2013).

A exploração da Macaúba no Brasil é extrativista; ela ocorre de forma rudimentar e doméstica e gera para as famílias que colhem os frutos uma fonte de renda complementar. Entretanto, o aproveitamento industrial é de extrema importância para obtenção de um manejo racional e sustentável, uma vez, que o produto extrativista tem pouco valor agregado. A Macaúba é considerada uma palmeira de alta versatilidade e produtividade, por apresentar fonte de biomassa para biorrefinarias, aproveitamento de todas as partes da planta e alto potencial agrônomo. Assim, o desenvolvimento tecnológico para seu aproveitamento comercial e industrial, possibilita fortalecer a cadeia produtiva de forma sustentável com grande viabilidade econômica voltada para diversos setores industriais (MOTOIKE, 2013).

3.8.2 Utilização e potencialidades da Macaúba

A Macaúba apresenta grande potencial produtivo que desperta interesse na área industrial e na área de pesquisa, com a participação de vários pesquisadores nacionais e internacionais. Apresenta grande contribuição ao ecossistema, por ser fonte alimentícia

para a fauna silvestre, sendo a polpa e amêndoa de seus frutos ricas em óleos. O rendimento de óleo vegetal, por ciclo produtivo, varia de 3 a 5 toneladas por hectare (LORENZI et al, 2011).

Várias pesquisas têm sido direcionadas para sua utilização em recuperação de pastagens degradadas e plantios consorciados com outras espécies, e sua aplicação voltada para sistemas agrossilvipastoril. Dessa forma, apresenta grandes vantagens com relação a sua sustentabilidade econômica e ambiental em comparação com as demais palmeiras oleaginosas. Além, do seu cultivo apresentar vantagem por auxiliar no processo de sequestro de carbono amenizando o efeito estufa (LORENZI et al, 2011).

O cultivo da Macaúba propicia benefícios vantajosos não apenas em relação a comercialização e produção dos seus óleos, mas no aproveitamento de todas as partes da palmeira. Sua estipe, folhas e frutos geram coprodutos que agregam valor a cadeia produtiva, gerando produtos manufaturados voltados para os setores alimentício, farmacêutico, cosmético, artesanal, energético, dentre outros. Exemplos destes produtos são apresentados no Quadro 1.

O produto de maior valor agregado da palmeira consiste nos óleos obtidos da polpa e da amêndoa. Ambos se destacam para a produção de biocombustíveis, pois se enquadram nas especificações da *American Society for Testing and Materials* (ASTM). Por essa razão, a Macaúba, se destaca por ser uma palmeira promissora para a produção sustentável de óleo para fins energéticos no Brasil (COLLARES; 2020).

Da cadeia produtiva da Macaúba o produto economicamente mais expressivo é o fruto, pois propicia a geração de óleos e coprodutos que fortalecem a economia e o agronegócio. Há, entretanto, a necessidade de investir em pesquisas e desenvolvimento tecnológico para trabalhar com o extrativismo sustentável e adequação do seu cultivo para o beneficiamento do fruto. Além da proposição de novos projetos que visam o plantio em escala industrial e que garantam a qualidade e constância que o mercado exige. Projetos estes que também devem visar a inclusão social dos agricultores, a preservação da biodiversidade e qualidade do fruto a ser processado. Desta forma, direciona-se a um manejo sustentável e a valorização da cultura desta palmeira tão importante para o cenário social (VARGAS-CARPINTEIRO et al, 2021).

Quadro 1- Produtos oriundos da utilização de várias partes da Macaúba.

Partes da Macaúba	Mercado	Produtos
Estipe	Construção Alimentação	Parede, ripas, caibro Palmito e vinho
Folha	Construção Artesanato Alimentação	Cobertura de casas Chapéu, balaio, redes Ração animal
Epicarpo	Alimentício Energético	Ração animal Carvão, briquetes
Mesocarpo	Polpa	Goma de mascar, doces, geleias, sorvete, sucos, licor, vitaminas, bolos, farinha Ração animal Adubo
	Alimentício	
	Torta da polpa	
	Outro	
	Óleo do mesocarpo	
Amêndoa	Medicinal	Analgésico Hidratante capilar Biodiesel
	Cosmético	
	Combustível	
	Alimentício	
	Combustível	
Endocarpo	Artesanal	Confecção de botões Carvão vegetal, biomassa Carvão ativado
	Energia	
	Alimentício	
	Torta da amêndoa	
	Óleo da amêndoa	
Amêndoa	Alimentício	Óleo de cozinha Biodiesel Hidratante capilar Laxante
	Combustível	
	Cosmético	
	Medicinal	
	Alimentício	

Fonte: COLLARES (2019).

3.8.3 Tortas do coco Macaúba

O processamento para a extração dos óleos (polpa e amêndoa) ocorre pela prensagem mecânica com a utilização de uma prensa contínua do tipo *expeller*. Após a retirada do óleo da polpa e da amêndoa obtém-se dois tipos de tortas (Figura 5) e os respectivos óleos. Para aumentar a eficácia da extração dos óleos residuais nas tortas se pode recorrer ao uso de solventes orgânicos, sendo o hexano o mais utilizado, embora o etanol e o isopropanol sejam apresentados como alternativas (FONSECA; CANO e CREN, 2015).

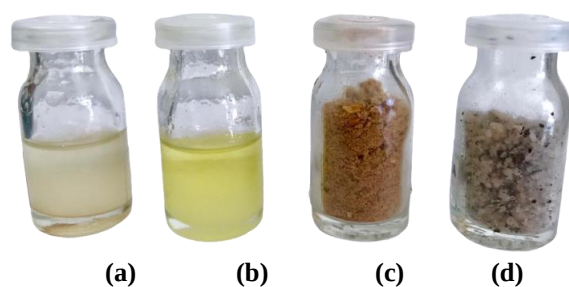


Figura 5 - (a) Óleo da amêndoa (b) Óleo da polpa (c) Torta da polpa (d) Torta da amêndoa.

Grande e Cren (2016) analisaram a composição centesimal, em base úmida, das tortas da polpa e da amêndoa da Macaúba (Tabela 7). Ambas as tortas apresentaram grande potencial para serem utilizadas como fontes de fibras e proteínas para diversos setores industriais ou como suplementos alimentares.

Tabela 7 - Composição centesimal das tortas da polpa e da amêndoa.

COMPOSIÇÃO (%)	POLPA	AMÊNDOA
Umidade	7,27±2,07	9,22±0,93
Cinzas	4,20±0,55	4,35±0,49
Lipídeos	4,54±1,74	6,98±4,10
Proteína Bruta	6,81±1,06	31,41±4,91
Carboidratos	77,18±1,95	48,04±1,35

Fonte: (GRANDE; CREN, 2016).

Rigueira et al(2017) avaliaram a composição químico-bromatológica e a digestibilidade *in vitro* das tortas oriundas do endocarpo, do epicarpo (casca) e do mesocarpo (polpa). As tortas do mesocarpo e do endocarpo apresentaram grande potencial substituto de ingredientes na formulação de dietas para ruminantes.

A torta da polpa possui características atraentes para o setor alimentício por apresentar alto teor de fibras, proteínas, minerais, lipídeos, carboidratos e elevadas concentrações de β -caroteno e α -tocoferol além de carotenóides (HIANE et al, 2005).

Outras aplicações como proposta por Azevedo et al (2014), constituiu em analisar a inclusão de diferentes níveis de torta da polpa de Macaúba na dieta de vacas holandesas em lactação, em substituição ao farelo de milho. Os resultados mostraram grande viabilidade econômica com a inserção da torta na dieta dos ruminantes. Já em regiões em Mato Grosso do Sul (por exemplo Antônio Maria Coelho, São Domingos) a torta da polpa é utilizada para a fabricação de pães, bolos, doces e sorvetes e a venda desses produtos

contribui como fonte de renda alternativa para as comunidades (MUNHOZ, 2013; LORENZI, 2006 apud ZANATTA et al, 2016).

A torta da polpa de Macaúba apontou resultados eficientes quando aplicada como adsorvente para remoção do corante Azul Brillhante Remazol largamente encontrado em efluentes líquidos de indústria têxtil (CALDEIRA et al, 2018). Ávila Gonçalves et al(2021) avaliaram a potencialidade do aproveitamento de resíduos agroindustriais obtidos do processo de produção de cerveja. Nesta pesquisa adicionou-se à moagem do malte, a torta de polpa de Macaúba, e utilizou-se este coproduto da produção cervejeira para a produção de uma farinha alimentícia. Produziram-se várias formulações de farinhas para a fabricação de biscoitos do tipo *cookie*. As farinhas indicaram grande potencial para o mercado alimentício por apresentar alto teor de fibras e alto valor nutritivo.

Com todo esse potencial, pode-se notar que a Macaúba promete transformar o cenário da economia mundial, uma vez que a produção de seus óleos se torne referência para a produção sustentável de biodiesel e outros combustíveis líquidos. Seu potencial não está voltado apenas para a agroenergia, pois os coprodutos da cadeia produtiva podem gerar produtos com alto valor agregado voltados a diversos segmentos industriais. A evidência de seu potencial a torna uma palmeira que pode ser considerada o “ouro verde” do Brasil.

3.9 PECTINA

A pectina tem ampla aplicação comercial, principalmente na indústria de alimentos, devido a sua propriedade geleificante que a caracteriza para ser utilizada como espessante, texturizante, emulsificante ou estabilizante . Por ser um produto natural de grande versatilidade, é utilizada em produtos lácteos, polpas de frutas, panificação, bebidas e sucos de frutas concentrados, geleias, sorvetes, etc. Na indústria farmacêutica a aplicação é na forma de comprimidos, hidrogéis, dentre outros e na área cosmética é utilizada como textura natural para pomadas, loções e tônicos (BLANCA et al, 2018; BALDINO et al, 2018).

A pectina é um complexo de polissacarídeos encontrados na parede celular e lamela média de vegetais superiores, responsável pela estrutura dos frutos (Figura 6; BALDINO et al, 2018).

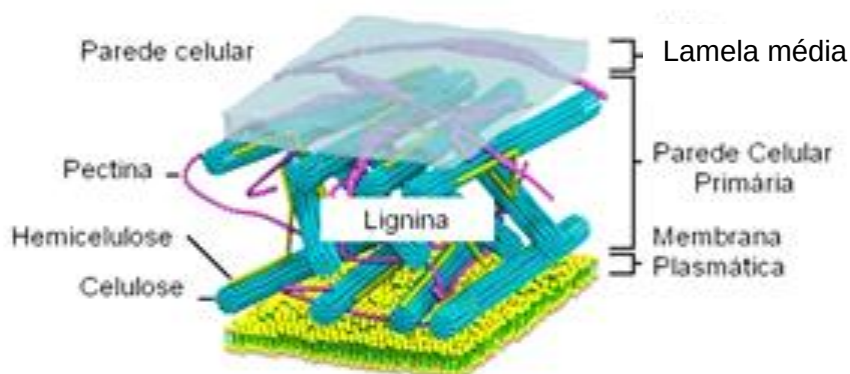


Figura 6– Estrutura da parede celular.

Fonte: https://www.sobiologia.com.br/conteudos/Morfofisiologia_vegetal/morfovegetal15.php

Sua estrutura macromolecular básica é caracterizada por cadeias de ácido galacturônico α -1,4, esterificadas com grupos metoxílicos, embora outros açúcares possam ser encontrados (Figura 7; BLANCA et al, 2018).

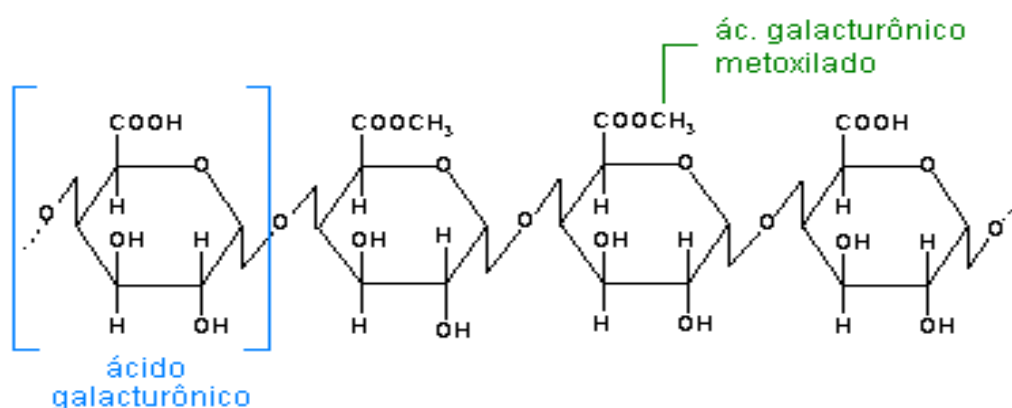


Figura 7 – Estrutura química da pectina.

Fonte: http://www.fcfar.unesp.br/alimentos/bioquimica/imagens/pectina_estrutural.gif

As pectinas fazem parte do grupo de substâncias pécticas que incluem ácido péctico, ácido pectínico e protopectina . A protopectina é a pectina presente nos tecidos dos frutos imaturos e é insolúvel em água. Abundante em frutos verdes que atingiram o

pleno estágio de maturação. Ela é facilmente hidrolisada por aquecimento em meio ácido para formar a pectina. Os ácidos pectínicos, composto de unidades de ácidos galacturônicos esterificados, aparecem quando a protopectina sofre hidrólise pela ação das enzimas poligalacturonases. Está presente nas plantas à medida que avança o grau de maturação. Os ácidos pécticos são solúveis em água, não apresentam metoxilas e são formados durante o processo de amadurecimento por meio de atividade enzimática sobre as protopectinas e não formam geis (CANTERI et al, 2012).

O grau de esterificação ou metoxilação da pectina é determinado pela relação entre o número de ácidos estereificados e o número total de grupos ácidos. Essa propriedade diz respeito às velocidades de geleificação influenciando diretamente nas propriedades de solubilidade e temperatura. Pectinas que apresentam grau de metoxilação, acima de 50%, são consideradas pectinas com alto teor de metoxilas (ATM) e inferior a 50% são de baixo teor de metoxilas (BTM) (NIKOLIC; MOJOVIC, 2007).

As principais matérias-primas vegetais utilizadas como fontes para extração de pectinas são o bagaço da maçã, cascas de limão, laranja, lima, polpa de beterraba e até mesmo infrutescências de girassol (CANTERI et al, 2012). A Tabela 8 apresenta o teor de pectina (em base úmida) encontrado em vários frutos.

Tabela 8- Teor pectina em frutos.

FRUTO	% PECTINA
Abacaxi (<i>Ananas comosus</i> L.)	0,04-0,13
Albedo de laranja (<i>C. cinesis</i>)	3,50-5,50
Bagaço de maçã	1,50-2,50
Banana (<i>Musa acuminata</i>)	0,70-1,20
Carambola (<i>Averrhoa carambola</i>)	0,66
Casca do maracujá	2,10-3,0
Cenoura (<i>Daucus carota</i>)	0,20-0,50
Goiaba (<i>Psidium guajava</i> L.)	0,77-0,99
Limão (<i>Citrus limon</i>)	2,50-4,0
Maçã (<i>Malus spp.</i>)	0,50-1,60
Mamão (<i>Carica papaya</i>)	0,66-1,0
Manga (<i>Mangifera indica</i> L.)	0,26-0,42
Maracujá (<i>Passiflora edullis</i> S.)	0,50
Morango (<i>Fragaria ananassa</i>)	0,60-0,70
Pêssego (<i>Prunus persica</i>)	0,10-0,90
Polpa de beterraba (<i>Beta vulgaris</i>)	1,0
Tamarindo (<i>Tamarindus indica</i> L.)	1,71

Fonte: adaptada (MUNHOZ; SANJINEZ-ARGANDONA; SOARES J., 2010).

Várias pesquisas são desenvolvidas em novas fontes de matérias-primas para a obtenção de pectina, tais como a casca de banana (EMAGA et al, 2008), do repolho

(WESTERENG et al; 2008), goiaba desidratada (MUNHOZ; SANJINEZ-ARGANDONA; SOARES, J., 2010) e tomate (BLANCA et al, 2018).

3.9.1 Pectina e o processo de produção da cerveja

Nas matérias-primas do processo cervejeiro, a pectina se faz presente em algumas delas. O teor de pectina em flores secas de lúpulo é de 2% (m/m) (DURELLO; SILVA; BOGUSZ JUNIOR, 2019). Langenaeken et al (2020) verificaram por microscopia eletrônica de varredura criogênica e microscopia confocal de varredura a laser a distribuição espacial da matriz de polissacarídeos no endosperma da cevada. As técnicas utilizadas pelos autores juntamente com análises bioquímicas detectaram 5% de pectina na parede celular do malte de cevada.

No processo de produção de cerveja outras matérias-primas, como os adjuntos, são fonte de amido e carboidratos que irão conferir características sensoriais diferenciadas. As frutas que podem ser utilizadas como adjuntos e adicionadas em várias etapas da produção cerveja são potenciais fontes de pectina. Podem ser incorporadas no processo na forma de extrato, calda, suco, polpa ou em pedaços. Dependendo das características sensoriais desejadas, deve-se escolher em qual etapa do processo deverá ser adicionada. Se adicionada na etapa de mosturação, a fruta passa pelo processo de cozimento que poderá destruir as propriedades sensoriais. Porém tem-se a vantagem de não ocorrer contaminação por eliminar eventuais bactérias e leveduras selvagens que fazem parte naturalmente das frutas. Se optar pela etapa de fervura, tem-se a desvantagem de tirar o frescor da fruta, mas diminui-se o risco de contaminação no processo. Indica-se adicionar as frutas mais ao final desta etapa para minimizar a liberação de pectina. Para a etapa de maturação, o risco de contaminação do mosto aumenta, por outro lado, diminui a ação das pectinas e valoriza as características sensoriais da fruta.

A presença de pectina na produção de cerveja com a adição de frutas poderá acarretar a formação de turbidez indesejada, pois sua extração é potencializada a temperaturas acima de 80°C. Uma estratégia para não trazer essa turbidez é usar a enzima pectinase que degrada a pectina em açúcares menores. Desta forma a pectina não irá influenciar no corpo da cerveja. Vale ressaltar que cada estilo de cerveja possui suas características e propriedades e em alguns casos a turbidez é desejada.

4. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. O. de; A arqueologia dos fermentados: a etílica história dos Tupi-Guarani. **Estudos Avançados**, 2015.

ANUÁRIO DA CERVEJA 2020. São Paulo: **CervBrasil**, ano 1. 36 p. 2014, Disponível em: http://www.cervbrasil.org.br/novo_site/http-www-cervbrasil-org-br-novo_site-wp-content-uploads-2021-04-anuariocerveja2-pdf/. Acesso em: 10/08/2021.

ARAÚJO, F.B.; SILVA, P.H.A.; MINIM, V.P.R. Perfil Sensorial e Composição Físico-Química de Cervejas Provenientes de Dois Segmentos do Mercado Brasileiro. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.23, n.2, p. 121-128, 2003.

ARAÚJO, G.; et al. Effect of different concentrations of bush passion fruit pulp and temperature in the production of beer. **African Journal of Biotechnology**. 16. 1150-1158. 10.5897. 2017.

ANDRADE, M. H. C.; SILVA, G.C.R. Extração dos óleos do fruto da macaúba no norte de minas gerais: rota de processamento e viabilidade econômica . **Revista de Economia Agrícola**, São Paulo, v. 61, n. 1, p. 23-34,jun. 2014.

ÁVILA GONÇALVES, S. de, et al. Physical–chemical evaluation of flours from brewery and macauba residues and their uses in the elaboration of cookies. **Journal of Food Processing and Preservation**, 45, e15700, 2021. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15700>.

AZEVEDO, R.A. et al. Desempenho de vacas em lactação alimentadas com dietas contendo torta de Macaúba. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 66, n. 1 , pp. 211-218. . 2014. <https://doi.org/10.1590/S0102-09352014000100029>.

BALDINO, N. et al. Rheological surface properties of commercial citrus pectins at different pH and concentration, **LWT**, v. 93, p. 124-130,ISSN 0023-6438, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.03.037>.

BARON, A.; THIBAUT, J.F. Les enzymes pectolytiques. In: Hydrolases et Dépolimérase, ed. A. Mouranche & C.Costes. Gauthier-Villars, Paris, p. 143- 164, 1985.

BOLINA, I.C.A.; et al. Caracterização centesimal e quantificação das fibras alimentares das tortas da polpa e amêndoa de macaúba. **Anais do simpósio latino-americano de ciências de alimentos**, 2015. Campinas, Galoá, 2015.

BLANCA E. et al. Pectin from Husk Tomato (*Physalis ixocarpa* Brot.): Rheological behavior at different extraction conditions, **Carbohydrate Polymers**, v. 179, p. 282-289, ISSN 0144-8617, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.09.097>.

BRASIL. Decreto n. 2.314, de 4 de setembro de 1997. Regulamenta a lei n 8.918 de 14 de julho de 1994, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília**, 5 set. 1997.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Agrário. Portaria nº 747 de 25 de jul. 2014. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília**, DF. Seção 1, p. 25, 28 jul, 2014a.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Agrário. Diretrizes e recomendações técnicas para adoção de boas práticas de manejo para o extrativismo do fruto da macaúba / bociuiva. MDA/ SAF: Brasília/DF. **Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel** – PNPB PNUD/SAF – BRA 11/009/1. 2014b.

BRASIL. Decreto nº 8.442, de 29 de abril de 2015. Tratam da incidência do Imposto sobre Produtos Industrializados - IPI, da Contribuição para o PIS/Pasep e da Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social - Cofins, no mercado interno e na importação, sobre produtos dos Capítulos 21 e 22 da Tabela de Incidência do Imposto sobre Produtos Industrializados - Tipi. 2015

BRASIL. Decreto-lei nº 9.902, de 8 de JULHO de 2019. Altera o Anexo ao Decreto nº 6.871, de 4 de junho de 2009, que regulamenta a Lei nº 8.918, de 14 de julho de 1994, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília**, 8 julho. 2019.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento; Câmara Setorial da Cadeia Produtiva de Oleaginosas e Biodiesel. **Agenda de inovação para a cadeia produtiva do biodiesel**. Brasília/Df: p.40, 2019.

BRUNELLI, L.T.; MANSANO, A.R.; VENTURINI FILHO, W.G. Caracterização físico-química de cervejas elaboradas com mel. **Brazilian Journal Of Food Technology**, v. 17, n. 1, p. 19-27, mar. 2014.

CABRAS, I; HIGGINS D. M. Beer, brewing, and business history, **Business History**, 58:5, 609-624, 2016. DOI:10.1080/00076791.2015.1122713.

CALDEIRA, A.S.; et al. Removal of textile dye by adsorption on the cake as solid waste from the press-extraction of the macaúba (*Acrocomia aculeata*) kernel oil. **Eclética Química Journal**, v. 43, n. 1, p. 48, 29 maio, 2018.

CARDOSO, A. N.; et al. Extrativismo da macaúba na região do Cariri Cearense: comercialização e oportunidades. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 25261-25279, 2020.

CANTERI, M. et al. (2012). Pectina: da matéria-prima ao produto final. **Polímeros**. 22. p. 149-157. DOI: 10.1590/S0104-14282012005000024.

CEREDA, M. P. Cervejas. In: AQUARONE, E.; ALMEIDA LIMA, U.; BORZANI, W. **Alimentos e bebidas produzidas por fermentação**. São Paulo: Edgar Blucher, . p. 3-78, 1985

CICONINI, G.; et al. Biometry and oil contents of *Acrocomia aculeata* fruits from the Cerrados and Pantanal biomes in Mato Grosso do Sul, **Brazil. Industrial Crops and Products (Print)** , v. 45, p. 208-214, 2013.

COLLARES, D. Brasil e Paraguai fazem parceria para extrair óleo de macaúba com alta qualidade. **Revista Attalea Agronegócios**, 2019.

CURI, R., Venturini Filho, W., NOJIMOTO, T. Produção de cerveja utilizando cevada como adjunto de malte: análises físico-química e sensorial. **Brazilian Journal of food Technology**, 2009. 12. 106-112. 10.4260/BJFT2009800900004.

DURELLO, R.; SILVA, L.; BOGUSZ JUNIOR, S. Química do lúpulo. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). **Química Nova**, São Paulo, v. 42, n. 8, p. 900-919, out. 2019.

EMAGA, T. H.; et al. Characterisation of pectins extracted from banana peels (*Musa AAA*) under different conditions using an experimental design. **Food Chemistry**, v. 108, n. 2, p. 463-471, 2008.

FERNANDES, P. Domesticação da Macaúba é a chave para viabilidade na produção de biodiesel. EPAMIG. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 32, n. 265, p. 4-5, nov./dez. 2017.

FILHO, H.M. **Manual Cervejeiro**. Bières Trappistes. 1.ed, 2019-Revisão 2020.

FONSECA, F. A.; CÃNO, M. H. A.; CREN, E. C. Extração de óleo residual da torta da polpa de macaúba utilizando como solvente o etanol. **Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química**, v. 1, n. 0, p. 15492-15499, fev. 2015.

GRANDE, S.C.; CREN, E. C. Demanda de proteínas vegetais: potencialidades e o diferencial dos farelos de Macaúba (revisão). **Journal of Chemical Engineering and Chemistry – JCEC** . v. 02 n. 03, p. 190-214, 2016. DOI: <https://doi.org/10.18540/2446941602032016190>

HAILEE E. et al. A review of the analytical methods used for beer ingredient and finished product analysis and quality control, **Analytica Chimica Acta**, v. 1085, p. 1-20, ISSN 0003-2670, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2019.07.061>.

HIANE, P. A. et al. Óleo da polpa e amêndoa de bocaiúva, *Acrocomia aculeata* (jacq.) lodd. Caracterização e composição em ácidos graxos. **Brazilian Journal of Food Technology** 8(3):256-259. 2005.

LANGENAEKEN, N.A.; et al. Arabinoxylan, β -glucan and pectin in barley and malt endosperm cell walls: a microstructure study using clsm and cryo :sem. **The Plant Journal**, v. 103, n. 4, p. 1477-1489, 12 jun. 2020.

LINKO, M. et al. Recent advances in the malting and brewing industry. **Journal of Biotechnology**.p. 85-98.1998. **Biotechnology, Volume** 65. Issues 2–3, Pages 85-98, ISSN 0168-1656, 1998. [https://doi.org/10.1016/S0168-1656\(98\)00135-7](https://doi.org/10.1016/S0168-1656(98)00135-7)

LORENZI, G. M. A. C.; et al. Prospecção da cadeia produtiva dos frutos da palmeira macaúba no estado de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 32, n. 265, p. 7-14, dez. 2011.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de Métodos de Análises de Bebidas e Vinagre**. 2008.

MDA, **MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO**. Técnicas para adoção de boas práticas de manejo para o extrativismo do fruto da macaúba. Brasília/DF. Nov, 2014.

MORADO, R. **Larousse da cerveja**. São Paulo: Alaúde Editorial, 2017.

MOTOIKE, S. Y.; et al. A cultura da macaúba: implantação e manejo de cultivos racionais. **Ed. UFV**, Viçosa, 2013.

MUNHOZ, C. L.; SANJINEZ-ARGANDONA, E. J. ; SOARES JUNIOR, M. S. . Extração de pectina de goiaba desidratada. **Ciência e Tecnologia de Alimentos** (Impresso), v. 30, p. 119-125, 2010.

MUNHOZ, C. L. **Elaboração de barras de cereal com bocaiuva**. Tese de doutorado. Saúde e desenvolvimento da região Centro-oeste. Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2013.

NIKOLIC', M. V.; MOJOVIC, L. Hydrolysis of apple pectin by the coordinated activity of pectic enzymes. *Food Chemistry*, v. 101, p. 1-9, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.12.053>

NUNES, C.; et al. Cocoa pulp in beer production: Applicability and fermentative process performance. **PLOS ONE**. 2017. DOI: 10.1371/journal.pone.0175677

PALMER, J. J. **How to Brew**. 3.ed. Boulder, CO: Brewers Publications.

KUNZE, W. Technology Brewing and Malting, Int ed. VLB Berlin, Berlin.p.190-224. 2006.

PINTO, L. Í. F. ; ZAMBELLI, R. A. ; SANTOS JUNIOR, E. C. ; LIMA, D. P. e/ou PONTES, D. F. . Desenvolvimento de Cerveja Artesanal com Acerola (*Malpighia emarginata* DC) e Abacaxi (*Ananas comosus* L. Merrill). **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável** , v. 10, p. 67-71, 2015.

POELMANS, E., AND J. SWINNEN. “A Brief Economic History of Beer.” In *The Economics of Beer*, edited by J. Swinnen, 3–28. **Oxford: Oxford University Press**, 2009.

RIGUEIRA, J. P. S.; et al. Composição química e digestibilidade in vitro de tortas da macaúba. **Unimontes Científica**, v. 19, n. 2, p. 62-72, 2017.

SENAI. Departamento Regional do Estado do Rio de Janeiro. **Tecnologia cervejeira\SENAI**, agrária, Centro de Tecnologia SENAI Alimentos e bebidas- Rio de Janeiro, 2014.

SPITAEELS, F., et al. The microbial diversity of an industrially produced lambic beer shares members of a traditionally produced one and reveals a core microbiota for lambic beer fermentation, **Food Microbiology**, v. 49, p. 23-32, ISSN 0740-0020, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2015.01.008>.

TRENTIN, L. S., et al. Production of special wheat malts on a pilot scale, beer production and characterization. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 3, p. e3110312879, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i3.12879.

VARGAS-CARPINTERO, et al. *Acrocomia* spp.: neglected crop, ballyhooed multipurpose palm or fit for the bioeconomy? A review. **Agron. Sustain. Dev.** 41, 75 , 2021. <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00729-5>

VENTURINI FILHO, et al. **Biotecnologia Industrial na Produção de Alimentos**. São Paulo: Edgar Blucher, p. 91-144, 2001.

VENTURINI FILHO, W.G. ; et al. Caracterização físico-química e sensorial de fruit beer de jabuticaba desidratada. **Boletim centro de pesquisa e processamento de alimentos JCR**, v. 36, p. 1-9, 2019.

WESTERENG, B.; et al. Effects of extraction conditions on the chemical structure and biological activity of white cabbage pectin. **Carbohydrate Polymers**, v. 72, n. 1, p. 32-42, abr. 2008.

ZANATTA, S.; et al. O consumo sustentável a partir do fruto da macaúba. **Cadernos de Agroecologia**, v. 10, n. 3, maio, 2016.

CAPÍTULO 2 - PROCESSAMENTO DO COCO MACAÚBA E OBTENÇÃO DA TORTA DA POLPA

1. INTRODUÇÃO

As questões relacionadas a biodiversidade, sustentabilidade agrícola e ambiental são fatores de interesse público e econômico que visam gerar a implementação de novas culturas com foco no produto principal e no aproveitamento de todos os coprodutos, verificando as possibilidades desses se transformarem em produtos com valor agregado. Nesse contexto, a cultura da Macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq). Lodd. Mart.), vem se destacando como uma alternativa por apresentar em toda sua cadeia produtos e coprodutos com aplicações polivalentes em diversos setores industriais (VARGAS-CARPINTEIRO, 2021). Sua ampla distribuição geográfica, alta resistência e o grande potencial de produção de óleo obtido das partes polpa e semente do fruto a faz ser comparada com a palma africana (*Elaeis guineenses*), sendo referida como “dendê do cerrado”.

Atualmente, o termo bioeconomia introduz um novo olhar para se conduzir o setor industrial de produção de bens ao buscar a valorização do potencial da biodiversidade, tanto a brasileira como de todo o planeta. Nesse sentido, se propicia uma convergência para pesquisas inovadoras do uso de recursos naturais, que possam promover o bem-estar da sociedade. A ordem é buscar inovações tecnológicas que incentivam o aproveitamento total das matérias-primas dos processos industriais, comumente denominadas biomassa, resíduos ou coprodutos, principalmente englobando os setores de alimentos, químico, farmacêutico, saúde e energia. Nesse contexto, nos últimos anos, a palmeira Macaúba se tornou alvo de pesquisas em centros acadêmicos e governamentais e de empresas privadas, principalmente pela possibilidade de aproveitamento integral de seu fruto para a obtenção de múltiplos produtos com grande funcionalidade nutricional e energética.

O coproduto resultante do processo de extração do óleo da polpa do fruto da Macaúba é a denominada torta da polpa do coco Macaúba. Essa torta apresenta alto valor nutritivo por ter em sua composição proteínas, fibras, vitaminas e minerais (QUEIROZ e ANDRADE, 2016), podendo ser indicada para compor a formulação de produtos alimentícios.

No presente capítulo é apresentado o delineamento experimental para o processamento do coco Macaúba, visando a obtenção de torta da polpa para produção de cerveja especial. Esta pesquisa englobou aspectos da colheita do fruto, tratamento pós-colheita e da rota de processamento (descascamento, despolpagem e prensagem da polpa) voltados para os equipamentos disponíveis no laboratório de Processos e Produtos da Macaúba (LPPM).

2. OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

Estabelecer o beneficiamento do coco Macaúba para a obtenção da torta da polpa. Padronizar as operações de processamento da remoção da casca e polpa, e prensagem da polpa, com foco na obtenção de uma torta com características propícias para uso como matéria-prima adjunta na produção de cerveja especial.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estabelecer a padronização da rota de processamento do fruto visando a preservação da qualidade da polpa;
- Estabelecer a padronização do processamento de despolpagem voltado para o funcionamento adequado do equipamento despolpadeira;
- Estabelecer a padronização do processamento para obtenção da torta da polpa com quantidades mínimas de óleo residual do processo de extração mecânica;
- Caracterizar físico-quimicamente a torta da polpa;
- Selecionar, dentre as tortas obtidas, a torta da polpa com as melhores características para a produção de cerveja especial.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 MATÉRIAS-PRIMAS

A matéria-prima utilizada é o fruto da palmeira Macaúba. Os frutos foram colhidos de palmeiras localizadas no município de Jeceaba /MG (lat: 20°33'13.05''S e long: 43°59'5.56''O), em uma área total de 473 m².

3.2 METODOLOGIA

3.2.1 Características gerais

As etapas experimentais foram realizadas no Laboratório de Processos e Produtos da Macaúba - (LPPM) e no Laboratório de Análises Químicas (LAQDEQ), situados no Departamento de Engenharia Química no Campus da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), em Belo Horizonte, MG.

A colheita dos frutos foi realizada em duas safras, nos anos de 2019 e 2020. A metodologia para a obtenção dos frutos nas duas safras foi dividida em duas etapas:

A) Estabelecimento da colheita e rota de processamento visando a preservação do frescor do fruto no período pós-colheita (odor, coloração, acidez, ausência visual de fungos), de forma a propiciar o seu uso para a produção de cerveja especial;

B) Estabelecimento do processamento, para operação adequada dos equipamentos despulpadeira e prensa, visando a obtenção de torta da polpa do fruto com quantidades mínimas de ácidos graxos livres e de óleo residual resultante do processo de extração do óleo da polpa do coco Macaúba.

As avaliações das safras de 2019 e 2020, tais como os procedimentos de colheita, pós-colheita e rota de processamento dos frutos seguiram metodologias similares. Contudo, para cada safra foram estabelecidos diferentes tratamentos, visando avaliar a qualidade da polpa e da torta da polpa. Essa avaliação foi feita a partir dos valores das

análises de umidade, acidez titulável e teor de óleo, que nortearam a escolha da torta da polpa apropriada para a produção da cerveja especial de Macaúba.

3.2.2 Análises físico-químicas de polpa e torta da polpa

As metodologias das análises físico-químicas aplicadas para a avaliação da polpa e torta da polpa, seguiram os protocolos:

- Umidade: AOCS Ac-2-41;
- Acidez titulável: método 310/IV do Instituto Adolf Lutz (2008);
- Teor de óleo: AOCS Bc- 3-49.

Para a avaliação dos processos de secagem dos frutos, nos diferentes tratamentos, foram quantificadas as seguintes propriedades:

Perda de água (%) por meio da Equação (1):

$$\text{Perda de água (\%)} = \frac{M_{\text{inicial}} - M_{\text{ponto}}}{M_{\text{inicial}}} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

M_{inicial} = massa dos frutos (gramas) medida no instante $t = 0$;

M_{ponto} = massa dos frutos (gramas) medida no instante t .

A determinação da umidade é dada pela Equação (2):

$$U = \frac{M_{\text{ponto}} - M_{\text{final}}}{M_{\text{ponto}}} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

M_{ponto} = massa no instante t (gramas);

M_{final} = massa quando totalmente seca (gramas).

As análises e os protocolos utilizados para a caracterização da torta da polpa, selecionada para a produção das cervejas especiais, são especificados na Tabela 1.

Tabela 1 - Análises físico-químicas realizadas na torta de Macaúba.

Análise Físico-Química	Protocolo
Proteína Bruta - PB	Método de Dumas (AOAC, 1990)
Fibra Bruta - FB	Digestão ácido e base (AOAC, 1990)
Fibra Detergente Neutro - FDN	Van Soest (1991)
Fibra Detergente Ácido - FDA	Goering e Van Soest (1970)
Lignina	Goering e Van Soest (1970)
Amido	Método enzimático (AOAC, 1997)
Extrato Etéreo -EE	Soxhlet (AOAC, 1990)
Matéria Seca -MS	Secagem a 105°C (AOAC, 1990)
Matéria-Mineral – MM	Queima a 600°C (AOAC, 1990)
Carboidrato não fibroso (CFN)	Kearl, Utah State University, Lugan (Utah;1982).
Minerais (Ca, P, K e Mg)	Infravermelho proximal (NIR)
Açúcares totais, redutores e não redutores	Extração pelo método de Lane-Enyon (AOAC, 1990) e quantificação Miller (1959).
AVG (ácido butírico, propiônico e láctico)	Cromatografia Gasosa (Ferreira et al., 2016)
Pectina solúvel e total	Extração (McCready & McComb, 1952) e quantificação (Bitter & Muir, 1962).
Acidez titulável	IAL (2008) – Método 310/IV

3.2.3 Equipamentos e Processos

3.2.3.1 Colheita e armazenamento dos frutos

Estabeleceu-se como estágio ideal de maturação para a colheita de frutos a detecção visual de frutos que apresentavam a polpa com coloração amarela forte (para essa constatação destacava-se alguns frutos dos cachos). Adicionalmente, frutos foram colhidos do chão, e considerados frescos, quando recém-caídos, sem rachaduras ou danos aparentes. Avaliou-se o aspecto visual do fruto, selecionando os frutos que apresentavam pedúnculo de coloração esverdeada. Na Figura 1 é apresentado o aspecto dos cachos inteiros em estágio de maturação apropriado.



Figura 1- Cachos com frutos da Macaúba.

Após a colheita, os frutos foram levados imediatamente para o laboratório, diferenciando-se dois tipos: frutos soltos e frutos presos ao cacho. Os frutos soltos foram primeiramente processados, e imediatamente lavados e higienizados, por imersão em solução de hipoclorito de sódio 200 ppm, durante cinco minutos. Na sequência, foram colocados em cestos com aberturas para propiciar a ventilação. Os cestos foram dispostos em ambientes cobertos, onde se permitia a exposição dos frutos ao sol em alguns períodos e impedia que fossem molhados pela chuva ou orvalho. Os frutos presos aos cachos foram mantidos sobre a bancada do LPPM com o objetivo de propiciar uma maturação natural com um menor grau de deterioração. Esses frutos, quando retirados dos cachos, passaram por lavagem e assepsia, o que ocorreu somente no momento prévio ao seu processamento.

3.2.3.2 Secagem de frutos e polpa

As operações de secagem (60°C) para a remoção de água e voláteis dos frutos e da polpa foram realizadas em duas estufas: estufa de convecção forçada (Nova Ética, N480, Vargem Grande do Sul, SP, Brasil) e estufa da marca Sterilifer (Microprocessada 200).

Para todas as etapas de secagem nas estufas, foi realizado o rodízio das bandejas nas três posições das prateleiras (superior, média e inferior), de forma a propiciar a distribuição homogênea de calor para os frutos ou para as polpas. Visando realizar a repetibilidade do experimento, em cada tratamento experimental foram avaliadas três bandejas nas mesmas condições experimentais, salvo em situação em que a disponibilidade de frutos era menor: nesse caso a repetição foi feita com duas bandejas.

3.2.3.3 Remoção da casca e da polpa

A operação de descascamento e despulpamento do coco Macaúba foi realizada em um equipamento denominado despulpadeira, marca Saturno, especificamente projetado para a remoção sequencial das partes casca e polpa. A despulpadeira é constituída por um êmbolo móvel e uma lâmina giratória. Os frutos ao serem inseridos no equipamento são pressionados pelo êmbolo e impelidos pela velocidade da lâmina. A operação é realizada em batelada, ou seja, remove-se primeiramente a casca e, após, conforme tratamento estabelecido, retira-se a polpa do fruto. As castanhas (endocarpo + amêndoa) permanecem retidas e devem ser retiradas posteriormente pela ação da força centrífuga ao ligar o equipamento manualmente. Ao final da operação obtêm-se três partes do fruto: casca, polpa e castanha (endocarpo + amêndoa). A capacidade da despulpadeira disponível no LPPM é de 6 kg de frutos por batelada. O equipamento é mostrado na Figura 2.

Adicionalmente, durante o processo de despulpamento diferenciaram-se dois tipos de polpa:

- a) POLPA A: matéria-prima gerada na primeira fração do processo. Polpa sem a presença de lascas de endocarpo, de coloração entre laranja e amarelo. Para a produção da cerveja foi utilizada a torta gerada dessa polpa.
- b) POLPA B: polpa mais interna ao fruto cujo processo de remoção acarreta a retirada simultânea de lascas de endocarpo, conferindo a esta polpa uma tonalidade mais escurecida. Essa polpa foi utilizada no processo de prensagem para se ajustar as condições da prensa. As tortas geradas dessa polpa não foram utilizadas para a produção de cerveja.



Figura 2 - Despolpadeira para coco Macaúba.

Todas as polpas obtidas nos diferentes tratamentos deste trabalho, foram embaladas em sacos plásticos, devidamente identificadas, e armazenadas em freezer a - 18°C, até o uso na etapa posterior de extração dos óleos.

3.2.3.4 Prensagem mecânica

A prensagem das polpas e a extração subsequente de óleo foi realizada em prensa mecânica contínua do tipo *expeller* (Scott Tech modelo ERT 60). Nesse equipamento, a polpa do fruto é continuamente alimentada e submetida a alta pressão (4 a 35 Mpa), através do esmagamento pelo eixo, permitindo o rompimento da membrana celular e a consequente liberação dos lipídeos contidos nesta estrutura. A polpa comprimida pelo eixo da prensa e com um menor teor de óleo recebe a denominação de torta, sendo retirada pela descarga. Na Figura 3 verifica-se a prensa e suas partes principais.



Figura 3 - Prensa *expeller*.

3.3 PROCEDIMENTOS ESPECÍFICOS

3.3.1 Procedimentos na Safra 2019

3.3.1.1 Processamento: secagem, remoção da casca e despolpamento

O processo de remoção parcial de água e voláteis dos frutos foi realizado pela secagem em estufa na temperatura de 60°C, temperatura considerada adequada para a preservação das propriedades originais dos frutos frescos (Silva et al, 2017).

A distribuição dos frutos foi direcionada em lotes, separados em função da quantidade de frutos disponíveis e na capacidade de secagem das estufas dos laboratórios (LPPM e LAQDEQ). Dessa forma foram distribuídas três bandejas para cada lote com aproximadamente 4 quilos de frutos.

Como foco dos experimentos verificou-se a necessidade do estabelecimento de parâmetros operacionais do processamento, pautadas na identificação das condições adequadas para as etapas de remoção da casca e de remoção da polpa do fruto, para a utilização do equipamento despolpadeira. Assim, foram estabelecidas etapas de secagem dos frutos com casca, seguida da secagem dos frutos após a retirada da casca.

As colheitas dos frutos foram realizadas em dois períodos distintos: dia 23/03/2019 e dia 07/04/2019.

O processo de secagem parcial dos frutos para a obtenção das polpas foi realizado de acordo com as etapas a seguir:

- 1) Os frutos foram separados em bandejas para a realização da secagem natural em diferentes tempos de exposição ao ambiente;
- 2) Os frutos com casca foram submetidos à secagem parcial à temperatura de 60°C;
- 3) Realizou-se a etapa de descascamento;
- 4) Os frutos sem casca foram submetidos à secagem parcial à temperatura de 60°C;
- 5) Os frutos parcialmente secos foram submetidos à despulpagem, obtendo-se as polpas A e B. As polpas do mesmo lote foram misturadas, embaladas a vácuo e preservadas em freezer. Somente as polpas A foram utilizadas para o fim deste trabalho.

As condições experimentais aplicadas aos lotes e as respectivas bandejas de cada lote, são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2– Condições experimentais dos tratamentos aplicados à safra de 2019.

IDENTIFICAÇÃO DO LOTES DOS FRUTOS	DATA DA COLHEITA	DIAS EXPOSTOS AO AMBIENTE	TEMPO SECAGEM (HORAS)
LOTE 1			Com casca: 48 h
L1.1	23/03	5	+
L1.2			Sem casca: 24 h
L1.3			
LOTE 2			Com casca: 48 h
L2.1	23/03	7	+
L2.2			Sem casca: 24 h
L2.3			
LOTE 3			Com casca: 48 h
L3.1	23/03	8	+
L3.2			Sem casca: 24 h
LOTE 4			
L4.1 (FG)	07/04	8	Com casca: 60 h
L4.2 (FM)			
L4.3 (FP)			
LOTE 5		8	
L5.1	07/04		Sem casca: 60 h
L5.2			
L5.3			
LOTE 6		8	
L6.1	07/04		Sem casca: 16 h
L6.2			
L6.3			

Onde: FG - frutos grandes, FM - frutos médios, FP - frutos pequenos.

Para a secagem de cada lote buscou-se distribuir homogeneamente a massa dos frutos disponíveis em três bandejas, exceto para o Lote 3, cuja repetibilidade foi avaliada por experimento em duplicata. Para cada tratamento realizou-se o rodízio das bandejas. Em função de terem sido encontrados frutos considerados em estágio ideal de maturação e com tamanhos visivelmente diferenciados, para o experimento do Lote 4, buscou-se avaliar a influência do tamanho dos frutos. Identificou-se as bandejas do respectivo lote 4 em FG para frutos grandes, FM para frutos médios e FP para frutos pequenos.

3.3.1.2 Prensagem da polpa e obtenção das tortas

A identificação das polpas teve como referência a mesma denominação dos lotes, conforme especificados na Tabela 2. Contudo, em função de alguns frutos apresentarem características de estado de deterioração ao final do tratamento experimental, estes foram descartados e as polpas individuais de cada lote foram unificadas para a etapa de prensagem. As polpas obtidas de cada lote são especificadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Lotes e correspondentes polpas da safra 2019.

LOTE	POLPA
L1	P1
L2	P2
L3	P3
L4	P4
L5	P5
L6	P6

As polpas P1 a P6 foram submetidas à etapa de prensagem para obtenção das tortas da polpa. Após essa etapa realizou-se a caracterização físico-química de acidez titulável, umidade e teor de óleo para as tortas obtidas.

3.3.2 Procedimentos na Safra 2020

3.3.2.1 Processamento: remoção da casca, secagem e despolpamento

Em função dos resultados da safra 2019, delinearam-se novos procedimentos, tendo como base a secagem natural através da exposição dos frutos inteiros ao ambiente, retirada da casca e posterior secagem parcial das polpas em estufas à temperatura de 60°C.

As colheitas dos frutos foram realizadas em três períodos distintos: dia 02/02/2020, dia 15/02/2020 e dia 01/03/2020. Nessa safra também foram colhidos frutos soltos e frutos presos aos cachos, com os mesmos critérios da safra de 2019.

O processo de secagem parcial dos frutos para a obtenção das polpas foi realizado de acordo com as etapas a seguir:

- 6) Os frutos foram separados em bandejas para a realização da secagem natural em diferentes tempos de exposição ao ambiente;
- 7) Os frutos foram submetidos ao descascamento;
- 8) Os frutos descascados foram submetidos à secagem parcial à temperatura de 60°C;
- 9) Os frutos parcialmente secos foram submetidos à despulpagem, obtendo-se as polpas A e B.
- 10) As polpas A foram submetidos à secagem parcial à temperatura de 60°C;
- 11) As polpas do mesmo lote foram misturadas, embaladas a vácuo e preservadas em freezer. Somente as polpas A foram utilizadas para o fim deste trabalho.

Avaliaram-se as propriedades de umidade e acidez das polpas. A identificação dos lotes e das respectivas polpas é apresentada na Tabela 4.

Tabela 4 - Condições experimentais dos tratamentos aplicados à safra de 2020.

IDENTIFICAÇÃO DO LOTE DOS FRUTOS	DATA DA COLHEITA	DIAS EXPOSTOS AO AMBIENTE	TEMPO SECAGEM (HORAS)
LOTE 7			
L7.1			
L7.2	02/02	2	20
L7.3			
LOTE 8			
L8.1			
L8.2	02/02	4	25
L8.3			
LOTE 9			
L9.1			
L9.2	02/02	6	20
L9.3			
LOTE 10			
L10.1			
L10.2	02/02	8	20
L10.3			
LOTE 11			
L11.1			
L11.2	02/02?? 15/02	3	20
L11.3			

continua

Tabela 4 - Condições experimentais dos tratamentos aplicados à safra de 2020.

continuação

LOTE 12			
L12.1			
L12.2	15/02	6	20
L12.3			
LOTE 13			
L13.1			
L13.2	15/02	7	8
L13.3			
LOTE 14			
L14.1			
L14.2	01/03	3	24
L14.3			
LOTE 15			
L15.1			
L15.2	01/03	4	24
L15.3			
LOTE 16			
L16.1			
L16.2	01/03	4	12
L16.3			

3.3.2.2 Prensagem da polpa e obtenção das tortas

As polpas de cada lote foram naturalmente descongeladas e distribuídas em bandejas em temperatura para a realização da secagem parcial a 60⁰C, para a adequação da umidade para valores entre 10% e 20%. O acompanhamento da perda de água foi feito em tempos variados, somente com o objetivo de uma previsão da umidade final que se buscava.

A identificação das polpas teve como referência a nomeação dos lotes, especificados na Tabela 4 e especificadas na Tabela 5.

Tabela 5– Lotes e correspondentes polpas da safra 2020.

LOTE	POLPA
L7	P7
L7	P7
L8	P8
L9	P9
L10	P10
L11	P11
L12	P12
L13	P13
L14	P14
L15	P15
L16	P16

3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para a avaliação estatística dos tratamentos efetuou-se a comparação entre as médias utilizou-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade utilizando o *software STATISTICA 7.0*. Diferenças entre as médias no nível de 5% ($p < 0,05$) foram consideradas significativas.

4.RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PROCEDIMENTOS NA SAFRA 2019

4.1.1 Processamento: Secagem, remoção da casca e despulpamento

4.1.1.1 Avaliação dos lotes L1/L2/L3

Os resultados da perda de água nas bandejas nos lotes (L1, L2 e L3) submetidos à secagem com casca por 48 horas estão apresentado na Tabela 6. Os tratamentos dos lotes são descritos na Tabela 7.

Tabela 6 – Resultados da perda de água nos Lotes 1 a 3.

IDENTIFICAÇÃO DOS LOTES	MASSA INICIAL (kg)	MASSA FINAL (kg)	PERDA DE ÁGUA (%)
LOTE 1			
L1.1	4,00	3,36	16,12 ^a
L1.2	4,03	3,37	16,42 ^a
L1.3	4,05	3,49	15,09 ^a
LOTE 2			
L2.1	4,59	3,80	17,20 ^a
L2.2	4,96	4,21	15,15 ^a
L2.3	4,98	4,17	16,20 ^a
LOTE 3			
L3.1	3,46	2,82	18,53 ^a
L3.2	3,54	2,89	18,43 ^a

Médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna (para cada lote), apresentaram diferenças significativas ao nível de 5% de significância ($p \leq 0,05$).

Utilizando-se da comprovação estatística por meio do teste de Tukey ($p < 0,05$), conforme Tabela 7, os resultados comprovam a reprodutibilidade dos experimentos de

secagem para cada lote. Portanto, o procedimento adotado de rodízio das bandejas foi eficiente no processo de transferência de calor homogêneo aos frutos.

Ressalta-se que se os frutos do Lote 3 corresponderam aos frutos que chegaram ao laboratório presos ao cacho e permaneceram sobre a bancada até o processamento. O experimento em duplicata ocorreu pela menor quantidade de frutos disponíveis.

Ao realizar o processo de remoção da casca verificou-se, que alguns frutos estavam em estágio de deterioração avançado, constatado pela presença visual de bolores e coloração escurecida, além de apresentar odor característico. Efetuou-se uma classificação entre os frutos, denominando-os de bons e deteriorados. Considerou-se como frutos deteriorados os que apresentaram coloração escura forte. Os frutos bons foram aqueles que apresentaram coloração amarela intensa. O aspecto dos frutos, de acordo com essa classificação pode ser verificado na Figura 4.

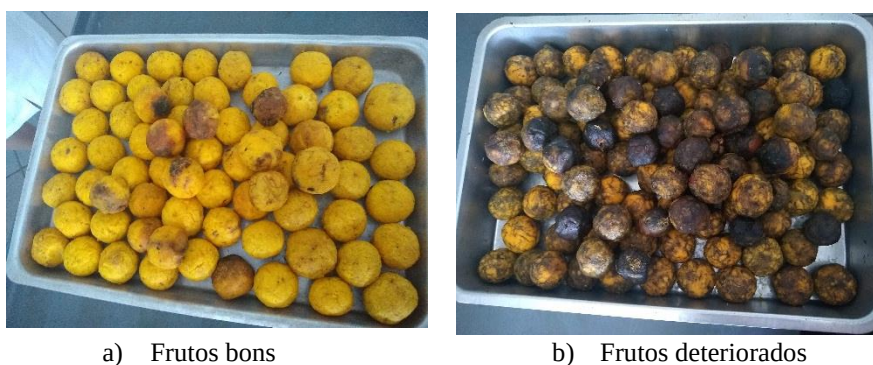


Figura 4- Classificação visual de frutos classificados como bons, e deteriorados.

Os percentuais de frutos bons aproveitáveis no Lote 1 foram de 50,45%; no Lote 2 de 43,76% e para o Lote 3 de 59,56%. Ressalta-se o enorme percentual de frutos não adequados para a obtenção de polpa de qualidade para uso alimentício, após 5 dias de armazenamento pós-colheita, para todos os experimentos. Esses resultados comprovam a facilidade de deterioração dos frutos de Macaúba.

Neste trabalho, os frutos deteriorados foram descartados. A sugestão é que esses frutos sejam utilizados para a extração de óleo da polpa de baixa qualidade, bem como para o aproveitamento do endocarpo e da amêndoa.

Pelo fato de ter sido constatado umidade nos frutos que dificultariam a retirada da polpa, os frutos considerados bons foram submetidos à secagem em estufa na

temperatura de 60°C por 24h, tomando-se aproximadamente uma mesma massa de fruto em cada bandeja. Na sequência, os frutos foram submetidos ao processo de despulpamento, com a diferenciação das Polpas A e B. Para a produção de torta alimentícia visando a produção de cerveja especial apenas a polpa isenta de endocarpo foi utilizada, ou seja, Polpa A.

Na Tabela 7 são apresentados os resultados finais das massas e umidades das polpas A.

Tabela 7 – Resultados da umidade e massa de polpa A dos Lotes 1 a 3.

IDENTIFICAÇÃO DOS LOTES	IDENTIFICAÇÃO DA POLPA	MASSA POLPA A (kg)	UMIDADE MÉDIA DA POLPA (%)
L1	P1	1,619	20,13
L2	P2	1,283	8,54
L3	P3	1,094	10,45

Verificou-se que a secagem prévia dos frutos com casca é um facilitador para o processo de remoção da mesma, porém o tempo de 48 horas de secagem de frutos com casca, não foram suficientes para diminuir a umidade dos frutos para valores inferiores a 20%, o que somente foi alcançado com essa segunda etapa de secagem dos frutos descascados. Destaca-se que a especificação técnica do fabricante da Prensa *expeller*, sugere uma umidade ideal na faixa de 10% a 20%. Em relação a umidade média encontrada para as polpas P1 e P2, verifica-se uma diminuição considerável da taxa de umidade entre os lotes pela diferença do tempo de exposição ao ambiente de 2 dias.

Em relação ao lote L3, mesmo com massa menor de frutos, obteve-se uma polpa com umidade média maior que a do lote L2. Essa maior umidade está corroborando com o fato de que frutos presos ao cacho estão em estágio de maturação menor que os frutos que espontaneamente se destacam dos cachos, portanto, em geral apresentam uma maior quantidade de água no tempo zero.

4.1.1.2 Avaliação dos Lotes L4/L5/L6

O tratamento experimental dos Lotes 4 e 5, apresentados na Tabela 2, teve como objetivo avaliar em um primeiro momento a secagem dos frutos por 60 horas, nas condições de frutos com casca e frutos sem casca, respectivamente. Diante dos resultados, decidiu-se por realizar o tratamento do Lote 6, secagem dos frutos sem casca por 16 horas. A Tabela 8 apresenta resultados da perda de água após o processo de secagem.

Tabela 8 – Resultados da perda de água e umidade dos Lotes 4 a 6.

IDENTIFICAÇÃO DOS LOTES	MASSA INICIAL (kg)	MASSA FINAL (kg)	PERDA DE ÁGUA (%)
LOTE 4			
L4.1 (FG)	3,879	3,261	15,93 ^b
L4.2 (FM)	3,737	3,160	15,44 ^b
L4.3 (FP)	2,885	2,325	19,41 ^a
LOTE 5			
L5.1	2,743	1,905	30,55 ^a
L5.2	3,149	2,168	31,15 ^a
L5.3	3,121	2,260	27,59 ^a
LOTE 6			
L6.1	2,113	1,689	20,06 ^a
L6.2	2,076	1,602	22,83 ^a
L6.3	2,097	1,634	22,08 ^a

FG = frutos grandes, FM = frutos médios, FP frutos pequenos.

Médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna (para cada lote), apresentaram diferenças significativas ao nível de 5% de significância ($p \leq 0,05$).

Através da avaliação estatística por meio do teste de Tukey ($p < 0,05$), conforme resultados da Tabela 9, comprova-se a reprodutibilidade dos valores de perda de água para os frutos dos Lotes 4.1 e 4.2; porém, verifica-se diferença para os frutos do Lote 4.3. Para os lotes L5 e L6 todos os resultados indicam pela reprodutibilidade do tratamento experimental de cada lote.

Em especial, para os experimentos do Lote 4, os frutos apresentavam tamanhos visualmente diferenciados. Decidiu-se, separar os frutos por diferenciação em relação ao tamanho desses frutos. Essa separação foi feita de forma visual com os frutos disponíveis. Contudo, de cada um dos lotes foram selecionados de forma aleatória 6 frutos, efetuando-se as medidas de massa e diâmetros longitudinais e transversais, quantificando-se as respectivas médias, conforme Tabela 9. O diâmetro médio (ϕ_m) foi calculado pela média da valores do diâmetro transversal e longitudinal de cada fruto.

Tabela 9: Valores das massas, diâmetros médios dos FP, FM e FG.

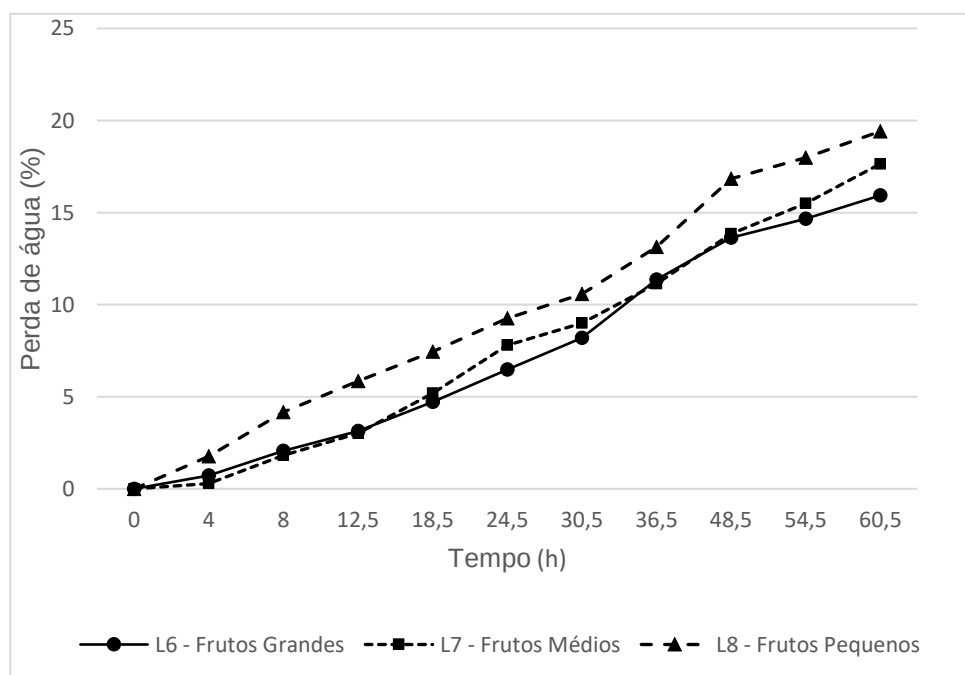
Propriedades	Lote	Fruto 1	Fruto 2	Fruto 3	Fruto 4	Fruto 5	Fruto 6	Valor Médio
ϕ_m (cm)	(FP)	44,40	44,18	43,84	43,5	43,08	42,99	43,66 ^a
ϕ_m (cm)	(FM)	48,41	47,80	46,78	46,58	46,04	45,98	46,93 ^b
ϕ_m (cm)	(FG)	50,97	50,71	48,85	48,03	47,82	46,85	48,87 ^c
Massa (gramas)	(FP)	43,24	41,92	40,23	40,18	39,59	39,00	40,69 ^a
Massa (gramas)	(FM)	55,89	54,72	54,17	53,13	53,12	51,36	53,73 ^b
Massa (gramas)	(FG)	67,66	66,66	63,80	62,94	58,83	58,35	63,04 ^c

FP - frutos pequenos, FG - frutos grandes, FM - frutos médios.

Médias seguidas de letras diferentes na mesma linha, apresentaram diferenças significativas ao nível de 5% de significância ($p \leq 0,05$).

Os resultados apresentados na Tabela 10 indicam que há diferença estatística (Teste Tukey com $p < 0,05$) nos valores médios dos diâmetros dos frutos pequenos, médios e grandes. Para a mesma análise estatística, em relação ao parâmetro massa média, foi constada a diferença significativa entre os FG, FM e FP.

A Figura 5 apresenta a perda de água dos frutos grandes, médios e pequenos. Os resultados confirmam a tendência de uma maior facilidade de secagem de frutos menores (em massa e diâmetro).

**Figura 5 -** Perda de água para os frutos grandes, médios e pequenos

Os resultados do despolpamento dos Lotes L4, L5 e L6, após a secagem dos frutos sem casca por 24 horas, são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Resultados da despolpagem: umidade e massa de polpa dos Lotes 4,5,e 6.

IDENTIFICAÇÃO DOS LOTES	IDENTIFICAÇÃO DA POLPA	MASSA POLPA A (kg)	UMIDADE MÉDIA POLPA (%)
L4	P4	1,97	26,50
L5	P5	1,34	4,96
L6	P6	1,95	11,67

Os resultados indicam que o tempo de 60 horas de secagem de frutos com casca, não foram suficientes para diminuir a umidade dos frutos para valores inferiores a 20%. Por outro lado 60 horas de secagem do fruto sem casca resultou em frutos com umidade média em torno de 5%, o que pode dificultar a etapa posterior de prensagem, cuja especificação do fabricante indica uma faixa ideal de umidade de 10% a 20%. Por fim, o tempo de secagem de 16 horas de fruto sem casca produziu uma polpa com umidade média de 11,67%.

4.1.2 Prensagem da polpa e obtenção das tortas

Para a prensagem das polpas A, dos lotes L1 a L6, foram preparadas misturas das polpas objetivando percentuais de umidade entre 10% e 20%. Dessa forma, geraram-se misturas das polpas obtidas desses lotes. A polpa denominada PM1 foi constituída pelas mistura das polpas P1, P2 e P3. A polpa PM2 foi constituída por parte da polpa P4 e P6, de forma a se obter uma polpa com umidade média em torno de 16%. A mistura PM3 foi constituída pela P5 e parte de P4. Essas misturas de polpas estão especificadas na Tabela 11.

Tabela 11 - Misturas de polpas dos lotes L1 a L6.

Misturas das polpas	Polpa final (kg)	Umidade média (%)
PM1		
PM1	3,996	13,75
PM2		
PM2	2,872	16,45
PM3		
PM3	2,387	11,26

Obtidas as novas polpas, realizou-se o processo de prensagem para a obtenção das respectivas tortas, as quais foram denominadas de T1, T2 e T3, cujos resultados das análises físico-químicas são apresentadas na Tabela 12.

Tabela 12 – Caracterização físico-química das tortas da safra 2019 .

Torta	Massa (kg)	Umidade (%)	Acidez titulável (%)	Teor de óleo (%)
T1	1,40	14,12	21,56	11,75
T2	1,00	17,53	18,44	14,39
T3	0,78	12,3	20,12	22,39

Os resultados indicam tortas com percentuais de óleo na faixa de 11 a 22%. Foi gerado o percentual de torta recuperada da ordem de 35% em relação a massa de polpa de cada mistura. A torta T1 obtida de uma polpa com umidade inicial em torno de 14% resultou no menor teor de óleo.

Apesar do funcionamento adequado, sob o ponto de vista operacional, dos equipamentos despulpadeira e prensa, verificou-se a necessidade de continuidade dos estudos para realizar melhorias na padronização do processo. Assim, as principais diretrizes traçadas para a nova safra foram: avaliar o tempo de exposição ao ambiente no pós-colheita; efetuar a remoção da casca e da polpa sem a efetuar secagem artificial; obter a umidade ideal da polpa para a eficiência no processo de extração de óleo e comparar os resultados com a safra de 2019.

4.2 PROCEDIMENTOS NA SAFRA 2020

4.2.1 Processamento: remoção da casca, secagem e despulpamento

Na safra de 2020 foram efetuadas três colheitas de frutos. A primeira realizada em 02/02/2020 (Lotes 7 a 10); a segunda em 15/02/2021 (Lotes 11 a 13) e a terceira em 01/03/2020 (Lotes 14 a 16). As respectivas massas iniciais e finais dos frutos sem casca e os resultados da perda de água para cada lote estão apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 - Resultados da secagem dos frutos sem casca da safra de 2020.

IDENTIFICAÇÃO DOS LOTES	TEMPO DE EXPOSIÇÃO AO AMBIENTE 9DIAS)/ TEMPO DE SECAGEM (HORAS)	MASSA INICIAL (kg)	MASSA FINAL (kg)	PERDA DE ÁGUA (%)
LOTE 7				
L7.1	02 dias	2,55	1,98	22,35 ^a
L7.2	20 horas	2,43	1,96	19,34 ^a
L7.3		2,59	2,05	20,84 ^a
LOTE 8				
L8.1	04 dias	2,56	1,95	23,82 ^a
L8.2	20 horas	2,38	1,78	25,21 ^a
L8.3		2,55	1,85	27,45 ^a
LOTE 9				
L9.1	06 dias	2,49	1,94	22,08 ^a
L9.2	20 horas	2,50	2,00	20,00 ^{ab}
L9.3		2,45	1,88	23,26 ^b
LOTE 10				
L10.1	08 dias	2,28	1,86	18,42 ^a
L10.2	20 horas	2,21	1,69	23,53 ^b
L10.3		2,22	1,72	22,52 ^b
LOTE 11				
L11.1	03 dias	3,21	2,55	20,56 ^a
L11.2	15 horas	3,20	2,56	20,00 ^a
L11.3		3,06	2,50	18,30 ^a
LOTE 12				
L12.1	04 dias	3,65	2,78	23,83 ^a
L12.2	15 horas	3,66	2,95	19,40 ^b
L12.3		3,72	2,86	23,11 ^b
LOTE 13	05 dias			
L13.1	18 horas	4,54	3,55	21,80 ^a
L13.2		4,53	3,56	21,41 ^a
L13.3		4,41	3,46	21,54 ^a
LOTE 14	05 dias			
L14.1	20 horas	5,09	4,06	20,23 ^a
L14.2		4,93	3,84	22,56 ^a
L14.3		5,18	4,05	21,28 ^a
LOTE 15	08 dias			
L15.1	20 horas	6,12	5,16	15,68 ^a
L15.2		6,08	5,09	16,28 ^a
L15.3		6,12	5,10	16,66 ^a
LOTE 16	09 dias			
L16.1	20 horas	5,35	4,47	16,44 ^a
L16.2		5,32	4,46	16,16 ^a
L16.3		5,52	4,62	16,30 ^a

Médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna (para cada lote), apresentaram diferenças significativas ao nível de 5% de significância ($p \leq 0,05$).

Pela análise estatística e teste de Tukey ($P < 0,05$), aplicado a cada um dos lotes, verifica-se a reprodutibilidade do experimento de secagem dos frutos sem casca, com foco na avaliação da propriedade de perda de água. Exceções pontuais foram encontradas para os lotes L9, L10 e L12, as quais podem ter sido causadas por diferenças de umidades iniciais dos frutos.

Após a secagem ocorreu o despulpamento dos frutos de cada lote. Os resultados globais das análises de massa, umidade e acidez titulável das polpas A são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14– Massas de polpas A e resultados de umidade e acidez titulável dos lotes L7 a L16.

POLPAS	TEMPO EXPOSIÇÃO/ TEMPO DE SECAGEM	MASSA POLPA A (KG)	UMIDADE POLPA (%)	ACIDEZ TITULÁVEL DA POLPA (%)
P7	2/20	1,1	26,72	2,41
P8	4/20	1,55	46,77	2,66
P9	6/20	0,69	36,74	3,00
P10	8/20	0,61	15,34	3,76
P11	3/15	2,05	11,96	3,65
P12	4/15	5,98	28,49	3,13
P13	5/18	2,75	19,21	3,55
P14	5/20	3,85	18,69	6,04
P15	8/20	4,13	25,95	4,87
P16	9/20	6,17	20,35	5,08

Analisando-se as polpas obtidas dos frutos colhidos em uma mesma data, pode-se destacar uma elevação gradual do índice acidez com o maior tempo de exposição ao ar livre no pós-colheita. Também, foi observado, neste trabalho, que os frutos colhidos na última data, apresentaram acidez mais elevada, comparativamente aos frutos colhidos na primeira data (para o mesmo tempo de exposição). O que pode estar associado ao estágio de maturação ainda no cacho. Assim, existe a possibilidade de que frutos contidos nos cachos colhidos anteriormente ainda não haviam atingido o ponto de maturação ideal, conduzindo a conclusão de que a elevação do teor de acidez ocorre naturalmente durante a maturação do coco Macaúba.

Com relação a umidade final da polpa após a secagem dos frutos sem casca, não foi possível estabelecer um padrão com base em nenhum dos parâmetros avaliados. A umidade dos frutos recém-colhidos está relacionado a vários parâmetros: estágio de maturação dos frutos colhidos e variadas características da palmeiras tais como idade,

questões pontuais da adubação local, bem como a realização da colheita em diferentes palmeiras.

Os resultados obtidos referentes às avaliações do comportamento do coco Macaúba, leva a inferir que o processo de secagem natural dos frutos por até 4 dias é recomendável quando a aplicação posterior da polpa do fruto necessitar de baixos teores de acidez titulável, na faixa de até 3%. Constatou-se que a remoção da casca após 4 dias de secagem natural dos frutos foi facilitada, enquanto, para a remoção da polpa é necessário outra etapa de secagem artificial a 60°C. Os resultados indicaram que esta secagem artificial do fruto sem casca, deve ser realizada por um período entre 15 e 20 horas.

4.2.2 Prensagem da polpa e obtenção das tortas

As polpas armazenadas no freezer, passaram por um segundo processo de secagem a 60°C, com o objetivo de adequar à umidade recomendada para o processo de prensagem. Adicionalmente os teores de óleo da polpa foram quantificados. Os resultados estão apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 - Análises físico-químicas nas polpas da safra de 2020.

POLPAS	MASSA DE POLPA (kg)	UMIDADE MÉDIA DA POLPA (%)	TEOR DE ÓLEO (%)
P7	0,835	7,74	45,67
P8	0,955	15,0	33,55
P9	0,495	14,5	65,87
P10	0,55	9,39	57,73
P11	2,21	18,9	57,73
P12	5,12	17,18	44,09
P13	2,67	18,52	45,69
P14	3,37	7,60	41,59
P15	3,38	11,79	48,16
P16	5,36	9,06	47,61

Os teores de óleo das polpas estão na faixa de 33,55% a 65,87% e são medidos em base seca. Os diferentes valores dos teores de óleo obtido nas polpas também corroboram com as diferenças de estágio de maturação e de palmeiras variadas escolhidas para a colheita dos vários lotes de fruto. Queiroz (2016) encontrou o teor de óleo da polpa imediatamente após a colheita de 47 a 51,66%.

Destaca-se que o objetivo com a secagem final da polpa foi a preparação para a prensagem na faixa entre 10 e 20% de umidade, a qual foi avaliada por um processo da perda de água. Porém, os resultados analíticos do teor de umidade final da polpa foram diferentes do esperado.

Relativo à operação de prensagem, pode-se relatar que o processo foi conduzido sem a ocorrência de embuchamento e desperdício de óleo pelo eixo, para as polpas com umidades na faixa de 10% a 15%. Na prensagem com umidade inferior a 10%, ocorreu o embuchamento na prensa e consequente dificuldades no processamento das polpas. Para as polpas mais úmidas ocorreu o arraste de óleo pelo eixo da prensa.

Após a prensagem das polpas, foram obtidas as tortas cujos resultados das análises físico-química são apresentadas na Tabela 16.

Tabela 16 – Caracterização das tortas da safra 2020.

TORTAS	MASSA (kg)	UMIDADE (%)	TEOR DE ÓLEO (%)
T7	0,44	12,93	8,48
T8	0,726	16,88	14,41
T9	0,446	13,45	8,66
T10	0,297	15,48	6,87
T 11	1,606	24,05	15,38
T12	3,362	24,00	26,17
T13	1,914	22,75	28,68
T14	1,461	14,58	9,36
T15	3,0	11,84	9,71
T16	2,863	15,32	11,03

Os resultados na Tabela 17 indicam que a prensagem de polpas com teor de umidade na faixa de 10% a 15%, resultou nos melhores desempenhos da extração de óleo obtendo teores menores ou próximos a 10%. Por outro lado, as menores eficiências na extração do óleo foram obtidas da prensagem das polpas mais úmidas.

4.3 SELEÇÃO DA TORTA PARA A PRODUÇÃO DA CERVEJA

Após a realização da caracterização físico-química das tortas das safras de 2019 e 2020, realizou-se a avaliação desses resultados para a selecionar a da torta da polpa adequada para a produção das cervejas especiais.

4.3.1 Seleção da Torta

A Tabela 17 apresenta a caracterização de todas as tortas obtidas dos processamentos realizados nas safras de 2019 e 2020.

Tabela 17 – Caracterização das tortas das safras 2019 e 2020.

TORTAS	MASSA (KG)	UMIDADE (%)	TEOR DE ÓLEO (%)
T1	1,399	14,12	11,75
T2	0,785	22,30	22,34
T3	1,071	17,53	14,39
T7	0,44	12,93	8,48
T8	0,726	16,88	14,41
T9	0,446	13,45	8,66
T10	0,297	15,48	6,87
T 11	1,606	24,05	15,38
T12	3,362	24,0	26,17
T13	1,914	22,75	28,68
T14	1,461	14,58	9,36
T15	3,0	11,84	9,71
T16	2,863	15,32	11,03

Os resultados demonstram que as tortas T2, T12 e T13 apresentaram elevado teor de óleo, enquanto as tortas T7, T9 e T10 apresentaram teores de óleo em torno de 6% a 8%. Índices considerados baixos comparativamente aos teores de óleo resultantes nas tortas obtidas. Porém, as massas dessas tortas não atenderam à quantidade necessária para as produções das cervejas especiais de Macaúba. Dessa forma, os parâmetros para a seleção da torta final, conduziram a avaliação da quantidade de massa disponível e menor taxa de teor de óleo. Assim, as tortas T15 e T16 foram selecionadas para serem misturadas, de modo a se obter quantidade suficiente para as produções das cervejas especiais de Macaúba.

4.3.2 Caracterização da Torta Final

Os resultados da caracterização da torta TF, através das análises bromatológicas realizadas pelo ESALQLAB, são especificados na Tabela 18. Os resultados das análises são expressos em base seca.

Tabela 18 – Resultados das análises bromatológicas na torta TF.

Análises (%) (m/m)	Resultados
Matéria seca (MS)	87,40
Umidade (U)	12,6
Proteína Bruta (PB)	4,10
Fibra Bruta (FB)	15,60
Fibra detergente ácido (FDA)	17,20
Fibra detergente neutro (FDN)	25,50
Amido (AM)	10,22
Extrato etéreo (EE)	11,70
Matéria mineral (MM)	4,30
Lignina (LG)	2,20
Carboidrato não fibroso (CFN)	54,50
Ca	0,68
P	0,55
K	1,55
Mg	0,29
Ácido acético (%)	3,99
Ácido butírico (%)	0,09
Ácido láctico (%)	1,22
Ácido propiônico (nmol/100 g torta)	0,29

Fonseca, Cãno e Cren (2015) avaliaram a extração do óleo da polpa para obtenção da torta utilizando etanol como solvente, e obtiveram um teor de umidade de 4,8%. Revello et al(2020), caracterizaram a torta da polpa utilizada como ingrediente para a ração animal, e obtiveram 14,59% de umidade. O teor de umidade na torta TF (12,6%) apresenta um valor dentro da faixa esperada para utilização da torta na produção das cervejas. Fatores tais como estágio de maturação dos frutos na colheita; diferenças no processamento (rota e equipamentos, tempo e temperatura de secagem, condições da prensagem) conduzem a teores diferenciados de umidade encontrados na literatura.

Costa Júnior, et al(2015) encontraram o teor de 4,11% de proteína bruta para a torta da polpa, a qual foi inclusa na dieta de suínos em terminação. A composição químico-bromatológica avaliada por Rigueira et al(2017), para a torta da polpa, encontrou o correspondente a 6,7%. Para a torta TF, o teor correspondeu a 4,1%. O valor encontrado encontra-se na faixa de fração proteica reportada na literatura.

Costa Júnior et al(2015), avaliaram a torta da polpa para suínos em terminação e obtiveram 36,73% de fibra bruta. A torta utilizada para ração animal e avaliada por Revello et al(2020), obteve o teor de 10,84%. A torta TF apresentou 15,6% de FB. O teor encontrado indica que a TF é rica em fibras insolúveis.

A fibra detergente ácido (FDA) e detergente neutro (FDN) encontrados por Rigueira et al(2017) foram, respectivamente, de 36,65 e 65,23%. A avaliação de Revello

et al(2020) para a torta da polpa aplicada à ração animal obteve teores de 14,89% de FDA e 60,51% de FDN. No presente trabalho os valores indicaram índices de FDA igual a 17,2% e FDN igual a 25,5%. Os diferentes teores encontrados neste trabalho, podem ter tido a influência da maturação da palmeira, e demais variações decorrentes desses cultivares.

Para a utilização da torta da polpa para a produção de bioetanol, o teor de amido obtido foi de 23,16%, avaliado por Santos (2011). No resultado deste trabalho, encontrou-se o teor de 10,22%. A presença de amido é desejável, por ser uma das principais fontes de carboidratos para o processo de produção de cerveja, o teor encontrado é considerado relevante.

Rezende et al(2010), avaliaram a qualidade de silagens de cana-de-açúcar e capim-elefante aditivadas com torta da polpa que apresentou 15,95% de extrato etéreo. Rigueira et al (2017) determinou 19,75% de extrato etéreo para a torta da polpa da Macáuba. Neste trabalho foi encontrado o valor de 11,7%. Para o presente estudo, o interesse é a obtenção de menor teor de lipídeos possível, de maneira a evitar reações bioquímicas indesejáveis e consequente morte das leveduras durante a fermentação, bem como a interferência na estabilidade da espuma da cerveja.

A matéria mineral, ou seja, o teor de cinzas, encontrado por Rezende et al(2010) obtiveram como resultado 4,91%, enquanto o teor reportado por Revello et al(2020) correspondeu a 4,57%. O valor de 4,3% de teor de cinzas encontrado para a torta TF, é semelhante à faixa dos resultados reportados na literatura.

Nascimento et al (2014), encontraram teor de lignina de 5,9% na torta da polpa. CETEC (1983) apresentou o teor de 7,9%. Para este trabalho determinou-se o teor de 2,2%. A diferença nos resultados pode estar no fato da polpa da Macaúba conter ou não a presença da casca, uma vez que processos estabelecidos de produção de óleo não efetuam a separação dessas duas partes. Outros fatores podem ser atribuídos a diferentes manejos, características do solo e variabilidade genética, que podem também influenciar na composição da torta, que pode ser a justificativa do teor encontrado na TF.

Santos Neta et al (2019) obteve o teor de carboidratos não fibrosos de 17,5% para a torta da polpa, enquanto Azevedo et al (2014) reportaram 41,93% de CNF. Para a torta TF, neste trabalho, obteve-se o teor de 54,5%. Uma vez que os CNF são constituídos por açúcares solúveis, amido e pectina, pode-se afirmar que a TF é rica nesses compostos.

Neste trabalho foram identificados a presença de Ca, P, K, Mg, nos teores de 0,68%, 0,55%, 1,5%, 0,29% e 0,22%. Costa Júnior et al (2015), visando a aplicação da torta da polpa para suínos em terminação encontrou os teores de 0,14% para Ca e 0,08% para P. Revello et al (2020) obtiveram o teor de 0,114% de Ca e 0,122% de Mg. Não foram encontrados na literatura teores de K em torta da polpa do fruto da Macaúba. Os resultados deste trabalho indicam que a torta TF é fonte rica desses minerais.

Os ácidos graxos voláteis (AGV): ácido butírico, propiônico e láctico, apresentam potencial probiótico, com efeitos positivos para a microbiota intestinal de animais. Andrade et al(2020) identificaram que diferentes microrganismos probióticos produziram estes ácidos na etapa fermentativa em polpas e tortas da amêndoa de Jerivá e Macaúba. Os teores de AGV foram quantificados em 12h de experimento, indicando que os microrganismos utilizaram as tortas como substrato. Os teores obtidos para a TF indicam que a torta da polpa apresenta relevante potencial probiótico.

Na Tabela 19 são apresentados os resultados das análises físico-químicas realizadas nos laboratórios (citados no item 3.2.2) da UFSJ.

Tabela 19 – Análises físico-químicas na torta final.

Análises	Resultados
Pectina solúvel (g de ácido galacturônico/100g de torta)	2,78
Pectina total (g de ácido galacturônico/100g de torta)	5,32
Açúcares redutores (g de glicose/100g torta)	1,71
Açúcares não redutores (g de glicose/100g torta)	5,33
Açúcares totais (g de glicose/100g torta)	7,32
Acidez titulável (%)	9,50

Quanto aos teores de pectina total e solúvel, não foram encontrados dados na literatura pesquisada que fornecessem teores em polpas e tortas da polpa do fruto da Macaúba. De acordo com Munhoz; Sanjinez-Argandona e Soares Júnior (2010) o teor de pectina total encontrado no albedo da laranja se encontra na faixa 3,5 a 5,5%; e no limão de 2,5 a 4,0%. Comparando com o teor de pectina total na torta TF de 5,32%, indica que essa torta é fonte rica em pectina.

Resultados dos teores de açúcares totais encontrados em polpas de frutos da Macaúba, das regiões de Presidente Epitácio-SP, de Dourados-MS, foram respectivamente de 11,58 a 14,53%, valores reportados por ARGANDOÑA (2017). Enquanto os teores de açúcares redutores encontrados pelo mesmo autor foram de 5,06% para Presidente Epitácio e 5,59% para a região de Dourados. Os resultados mostram que a polpa de Macaúba é fonte de açúcares fermentescíveis. Para os teores de AT, AR e ANR não foram encontrados resultados que caracterizassem a torta da polpa de Macaúba.

A acidez titulável reportada por Vilaça et al (2022) para a torta da polpa foi de 14,86%, enquanto neste trabalho obtive o teor de 9,5%. A diferença dos valores de acidez titulável entre as pesquisas, pode estar relacionado com o tempo de armazenamento da polpa e estágio de maturação do fruto pós-colheita.

5 CONCLUSÃO

A padronização da colheita, pós-colheita é fundamental para a adequação do beneficiamento do fruto atendendo às necessidades da infraestrutura disponível e para a obtenção de frutos que preservem suas propriedades funcionais e nutricionais naturais de frutos frescos.

Com a secagem natural por até 4 dias pode-se obter frutos, cujas polpas conterão índice de acidez menor do que 3%. Após esse período pode-se recomendar o uso da secagem artificial a 60°C, para facilitar a remoção da casca, seguida de mais uma etapa de secagem artificial para a remoção da polpa. O tempo de secagem artificial deve ser ajustado com os parâmetros: estágio de maturação do fruto, tempo de secagem natural e equipamento de secagem. Para uma remoção eficiente da polpa, os resultados deste trabalho indicaram um período de 12 a 24 horas de secagem artificial dos frutos sem a casca após o período de 4 dias de secagem natural prévia dos frutos com casca.

Para a etapa de prensagem mecânica na prensa *expeller*, os melhores resultados deste trabalho indicaram o teor de umidade da polpa na faixa de 12 a 15%. Vale ressaltar que essa avaliação/padronização deve ser ajustada em conformidade com as especificações do equipamento disponível para esse processamento.

As melhores condições obtidas neste trabalho resultaram em uma torta da polpa com teor de óleo entre 9 e 11%, umidade de 12,6% e acidez 9,5%. Essa torta mostrou-se fonte alternativa para a utilização como adjunto no processo cervejeiro, também por apresentar teores significativos de proteínas, açúcares e minerais.

Nesta pesquisa constatou-se a presença de pectina na torta, em teores superiores a 5%, indicando que a torta da Macaúba pode ser fonte alternativa de extração desta matéria-prima.

6 REFERÊNCIAS

- AOAC. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 14. ed. Arlington, VA, USA, 1990.
- ARGANDOÑA, E.J.S; et al. Roteiro de aulas práticas da disciplina de análise de alimentos. Dourados, MS, **Ed. UFGD**, p.105, 2017. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS, AOAC.; CUNNIFF, P. **Official methods of analysis**. 16. ed. cap.37.1997.
- AZEVEDO, R.A. et al. Desempenho de vacas em lactação alimentadas com dietas contendo torta de Macaúba. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 66, n. 1, p. 211-218, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-09352014000100029>.
- BITTER, T.; MUIR, H. M. A modified uronic acid carbazole reaction. **Analytical Biochemistry**, New York, v. 34, p. 330-334, 1962.
- CETEC - FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS. Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais: Estudo das oleaginosas nativas de Minas Gerais. **Relatório Final do Convênio STI– MIC/CETEC**, v. 1, 152 p., 1983
- CICONINI, G. et al. Biometry and oil contents of *Acrocomia aculeata* fruits from the Cerrado and Pantanal biomes in Mato Grosso do Sul, Brazil. **Industrial Crops and Products** (Print), v. 45, p. 208-214, 2013.
- COSTA JUNIOR, et al. Torta da polpa da macaúba para suínos em terminação. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**. v. 16. p. 325-336, 2015. DOI: 10.1590/S1519-99402015000200008.
- DESSIMONI-PINTO, N.; et al. Características físico-químicas da amêndoa de Macaúba e seu aproveitamento na elaboração de barras de cereais. **Alimentos e Nutrição**. 21, p. 77-84, 2010.
- FARIAS, T. M.; et al. Avaliação do desenvolvimento da acidez livre nos frutos da Macaúba. **Anais 4º Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel , 7º Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel**. Belo Horizonte, 2010.

FAVARO, S. P. et al. Armazenamento e processamento da macaúba: contribuições para manutenção da qualidade e aumento do rendimento de óleo da polpa. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Agroenergia**, ISSN 2177-0395, 2018.

FONSECA, F. A.; CÂNO, M. H. A.; CREN, E. C.; "Extração de óleo residual da torta da polpa de Macaúba utilizando como solvente o etanol", p. 15492-15499 . In: **Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química - COBEQ 2014 [= Blucher Chemical Engineering Proceedings, v.1, n.2]**. São Paulo: Blucher, 2015. DOI 10.5151/chemeng-cobeq2014-1128-20846-158546

GOERING, G.K., VAN SOEST, P.J. 1970. Forage fiber analysis (apparatus, reagents, procedures and some applications). **United States Department of Agriculture** (Agr. Handbook n. 379). 20p.

MCCREADY, R. M.; MCCOMB, E. A. Extraction and Determination of Total Pectic Materials in Fruits. **Analytical Chemistry**, American Chemical Society (ACS), v. 24, n. 12, p. 1986-1988, 18 dez. 1952.

MILLER, G.L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugars. **Analytical Chemistry**, v.31, p.426-428, 1959.

MUNHOZ, C. L.; SANJINEZ-ARGANDONA, E. J. ; SOARES JUNIOR, M. S. . Extração de pectina de goiaba desidratada. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, p. 119-125, 2010.

NASCIMENTO, C. S., et al, Análise da produção de protease e lipase por fungos filamentosos isolados do fruto da macaúba (*Acrocomia aculeata* (jacq) lood. ex mart), XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, v. 1, p. 336-343, ISSN 2359-1757, 2015.
<http://dx.doi.org/10.1016/chemeng-cobeq2014-0222-26465-171722>.

REVELLO, C.Z.P. Avaliação do valor nutricional de resíduos do processamento da macaúba (*Acrocomia aculeata*) e de seus produtos de bioconversão. **UFGD - DOURADOS**, MS, 2014.

REZENDE, A.V. et al. Qualidade de silagens de cana-de-açúcar e capim-elefante aditivadas com torta de polpa de coco Macaúba. **Revista Agrarian**, Dourados, v.3, n.9, p.224-232, 2010.

RIGUEIRA, J. P. S.; et al. Composição química e digestibilidade in vitro de tortas da macaúba. **Unimontes Científica**, v. 19, n. 2, p. 62-72, 2017.

SANTOS. H. T. L.; Otimização da Produção de Lipase e Celulase por Fermentação Submersa Utilizando a Torta da Polpa e Fungos Isolados do Fruto da Macaúba (*Acrocomia aculeata*). Diamantina-MG, UFVJM, 2011.

SANTOS NETA, E. DOS R. et al. Chemical composition and rumen degradability of byproducts available in the Amazon region. **Semina. Ciências agrárias : revista cultural e científica da Universidade Estadual de Londrina**, v. 40 , n.6(Supl3), p.3605- 3616. 2019. DOI: 10.5433/1679-0359.2019v40n6Supl3p360

VILAÇA, A. C., et al. Evaluation of the filtration process for craft beer with Macaúba cake adjunct. **The Journal of Engineering and Exact Sciences - JCEC**, v. 08 n. 01. ISSN: 2446-9416, 2020. doi: 10.18540/jcecvl8iss1pp13734-01-09e

CAPÍTULO 3 - PRODUÇÃO DAS CERVEJAS ESPECIAIS

1. INTRODUÇÃO

A cerveja especial esteve em franco ascensão nos últimos dez anos, e se destacou no Brasil, em 2020, com o crescimento dos registros de produtos para cervejas e de novas cervejarias. Os desafios impostos pela pandemia acarretaram uma crise em diversos setores do mercado cervejeiro, de maneira a incentivar as grandes cervejarias (Ambev, Heineken e o Grupo Petrópolis), bem como as microcervejarias a buscarem ações inovadoras para reverter as perdas financeiras. Comprometimento com novas parcerias, adaptação ao mercado online, racionalização de custos e desenvolvimento de cervejas com características diferenciadas foram exemplos para driblar a crise e garantir o equilíbrio da cadeia cervejeira.

Uma maneira de inovar e expandir o portfólio de cervejas diferenciadas é a utilização de adjuntos no processo de produção. Essa prática é mundialmente adotada, porém a maioria dos países produtores de cerveja não impõem limites na quantidade de adjunto a ser adicionado ao processo. Ressalva para a Alemanha, escola cervejeira tradicionalista, que mantém a tradição de uso da Lei da Pureza Alemã, a *Reinheitsgebot* (POLLMANN, 2008).

A utilização de adjuntos tem diversas finalidades e uma das principais vantagens consiste na redução de custos cervejeiros, uma vez que são fontes de açúcares fermentescíveis. Além de promover características sensoriais diferenciadas, contribuem para a diminuição do teor proteico garantindo a estabilidade coloidal e a obtenção de um corpo mais leve. Entretanto, se utilizado de forma abusiva pode desencadear vários problemas tais como alta viscosidade, maior tempo de filtração e acarretar baixo teor de nitrogênio no mosto, prejudicando assim, o metabolismo da levedura (BRUNELLI, 2014; PINTO, 2015).

Nesse contexto, o Brasil apresenta grande riqueza gastronômica e cultural propiciada pela diversidade de frutas nativas, plantas e matérias-primas inovadoras que podem ser incorporadas ao processo cervejeiro. Várias pesquisas inovam ao utilizarem diversos adjuntos, tais como, utilização de maracujá do mato (*Passiflora cincinnata* Mast.) (ARAUJO et al, 2017); banana (CARVALHO ET AL, 2009), mel (BRUNELLI

MANSANO, VENTURINI, 2014), casca de laranja e pedúnculo de caju (PEREIRA et al, 2020), gengibre (TOZETTO, 2019), polpa de abacaxi (COSTA et al, 2019), polpa de cacau (NUNES et al, 2017), polpa de pitanga (LIMA, 2021), umbu-cajá e canela (VALENTIM; FONSECA; SILVA, 2021) entre vários outros ingredientes.

Segundo Pinto (2015), o Brasil se destaca em produzir cervejas que utilizam diversas frutas tropicais como adjuntos. O autor ressalta que a produção dessas cervejas favorecem o incremento da fruticultura no país e contribui para o desenvolvimento de novas cervejas de qualidade que atendam às exigências dos consumidores cervejeiros.

No cenário em que a cultura das cervejas especiais está em franco crescimento, este trabalho visa produzir uma cerveja especial que utiliza como matéria-prima a torta obtida após a extração do óleo da polpa do fruto da Macaúba. De maneira a promover inovação tecnológica e desenvolvimento sustentável do mercado cervejeiro, agregando valor à cadeia produtiva da Macaúba utilizando um fruto do cerrado brasileiro.

2. OBJETIVO

2.1 Objetivo Geral

Desenvolver a formulação e a produção de cerveja especial que utiliza como adjunto a torta desengordurada, resultante do processo de extração do óleo da polpa do fruto da Macaúba.

2.2 Objetivos Específicos

- Produzir cervejas especiais com diferentes proporções (20% e 40%) da torta da polpa da Macaúba, adicionada junto ao malte à etapa de mosturação;
- Produzir a cerveja especial controle sem adição de torta da polpa da Macaúba;
- Realizar a caracterização físico-química das cervejas produzidas;
- Realizar a análise estatística dos resultados;

- Avaliar a contribuição físico-química e organoléptica da torta da polpa como adjunto no processo de produção de cerveja especial.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 MATÉRIAS-PRIMAS

As matérias-primas (maltes, lúpulos e levedura) utilizadas para a produção das cervejas foram adquiridas na empresa TECDEF Soluções Biotecnológicas Ltda. A TECDEF é uma empresa incubada pela UFSJ e se localiza no campus Alto Paraopeba na cidade de Ouro Branco/MG. A torta da polpa da Macaúba utilizada como adjunto foi obtida conforme descrito no capítulo 2. Utilizou-se 4 galões de 20 litros de água mineral da marca TROPICAL MINAS, com características físico-químicas adequadas para a produção da cerveja, adquirida em uma distribuidora de água local (pH = 5,25; cálcio 1,405 mg/L, sódio 0,175 mg/L, cloreto 0,18 mg/L, sulfato 0,14 mg/L, magnésio 0,697 mg/L, potássio menor que 0,1 mg/L).

3.2 METODOLOGIA

3.2.1 Elaboração das cervejas especiais

A elaboração da receita base utilizou o estilo *Blonde Ale*, de acordo com o BJCP (2018) - *Beer Judge Certification Program*, apresenta características sensoriais como aroma levemente maltado com nota de caramelo de baixo a médio aroma de lúpulo. Características que conferem uma cerveja próxima da neutralidade, deixando uma sutil percepção de refrescância sem sabores expressivos. Dessa forma, as cervejas a serem produzidas com a torta da polpa, serão valorizadas em seus aromas e sabores característicos do fruto da Macaúba.

A receita foi elaborada com o auxílio do *software BeerSmith™ 2*, que estabelece a quantidade de insumos necessários, as variáveis tempo e temperatura de todas as etapas do processo e as características específicas da cerveja a ser produzida. Foram elaboradas três formulações utilizando a mesma receita base, cada uma para 20 litros de produção.

A diferenciação entre elas se baseia na adição de adjunto (torta da polpa) à etapa de mosturação.

A produção da cerveja controle, designada por C, foi realizada sem a adição da torta da polpa (receita base). A cerveja produzida com a adição de 20% de massa de torta da polpa em relação à massa de malte utilizada na cerveja C, denominou-se cerveja M20. Para a produção realizada com a adição de 40% de massa de torta da polpa em relação à massa de malte utilizada na cerveja C, denominou-se cerveja M40. As proporções de torta da polpa contemplam a legislação vigente, que permite a utilização de até 45% de adjunto em relação ao extrato primitivo. As receitas foram elaboradas em consonância, com o objetivo de adicionar a torta da polpa juntamente ao malte, na etapa de mosturação.

As especificações e quantidades das matérias-primas utilizadas para a produção das cervejas estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Matérias-primas utilizadas para a produções de cervejas especiais.

Matérias-primas	Massa (kg)		
	Cerveja C	Cerveja M20	Cerveja M40
Malte <i>Pilsen</i>	3,50	3,50	3,50
Malte <i>Pale Ale</i>	0,55	0,55	0,55
<i>Goldwaen light</i>	0,30	0,30	0,30
Torta de Macaúba	-	0,870	1,74
Lúpulo <i>Magnum</i>	0,014	0,014	0,014
Lúpulo <i>Cascade</i>	20,0	20,0	20,0
Levedura US-05	0,011	0,011	0,011

3.2.2. Processo de produção

As produções das cervejas foram realizadas na Cervejaria MONTAGNA, da TECDEF Soluções Biotecnológicas Ltda. Utilizou-se os equipamentos de um kit cervejeiro para a produção de 40 litros por batelada.

As cervejas C e M20 foram produzidas sequencialmente, com diferença de um dia de produção. Ao completar as etapas de fermentação e maturação dessas cervejas realizou-se a produção da cerveja M40.

O processamento das cervejas (C, M20 e M40) está sumarizado no fluxograma na Figura 1.

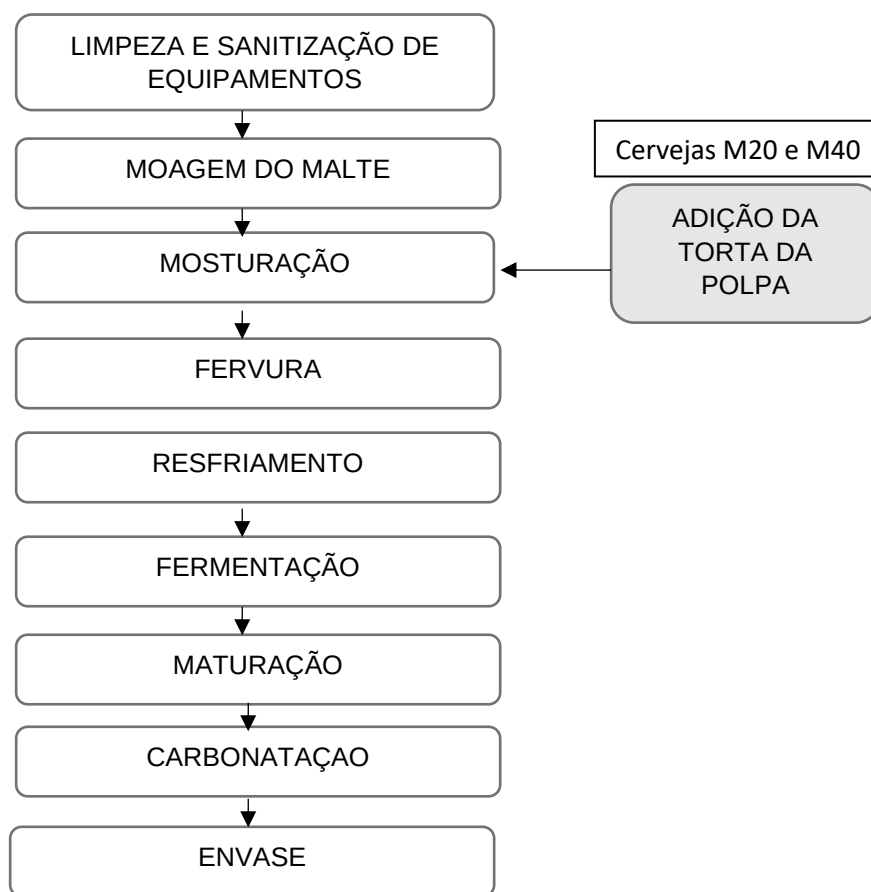


Figura 1 – Fluxograma de produção das cervejas especiais

A limpeza de todos os equipamentos e acessórios foi realizada utilizando-se sabão neutro e ácido peracético (PAC 200) e álcool 70°GL para a sanitização.

A moagem dos maltes, para todas as produções, foi realizada na TECDEF SOLUÇÕES BIOTECNOLÓGIACS LTDA, em um moedor de rolos. A moagem foi realizada de maneira que os grãos ficassem triturados uniformemente e com cascas inteiras para garantir a eficiência e rendimento das etapas de mosturação e filtração. As massas foram aferidas utilizando uma balança analítica de precisão da marca *MARTE* modelo AY220.

A diferenciação no processo de produção da cerveja C em relação às cervejas M20 e M40, consistiu em adicionar à etapa de mosturação uma rampa de temperatura, denominada repouso proteico. Essa rampa consiste na quebra de proteínas de alto peso molecular, em frações proteicas menores, visando estabilizar o corpo da cerveja em relação à espuma e turbidez. Essa etapa foi introduzida devido a torta da polpa, apresentar

relevante carga proteica. A Figura 2 apresenta as rampas de temperatura da etapa de mosturação da cerveja C.

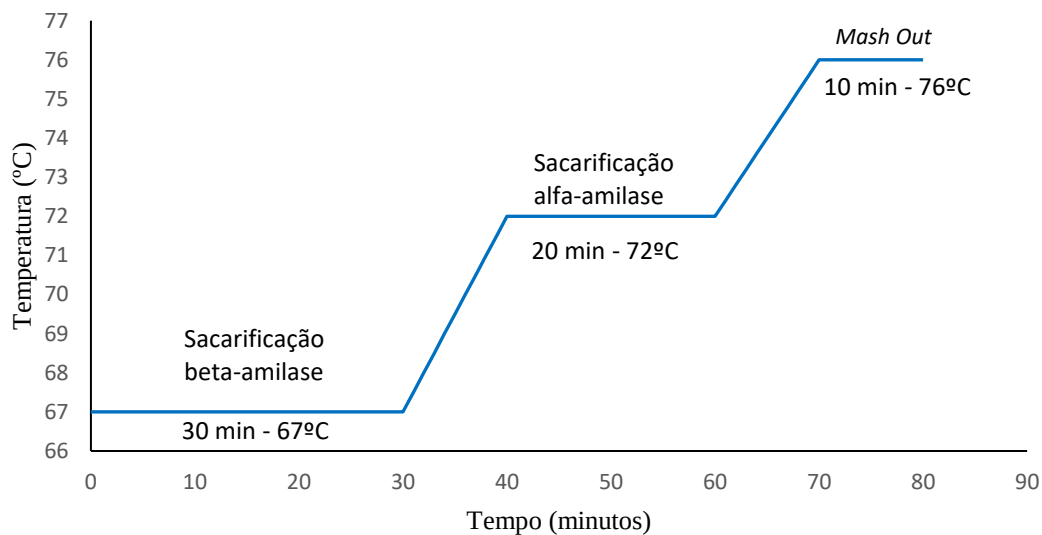


Figura 2 – Rampas de temperatura da etapa de mosturação da cerveja C.

A Figura 3 apresenta as rampas de temperatura da etapa de mosturação das cervejas M20 e M40.

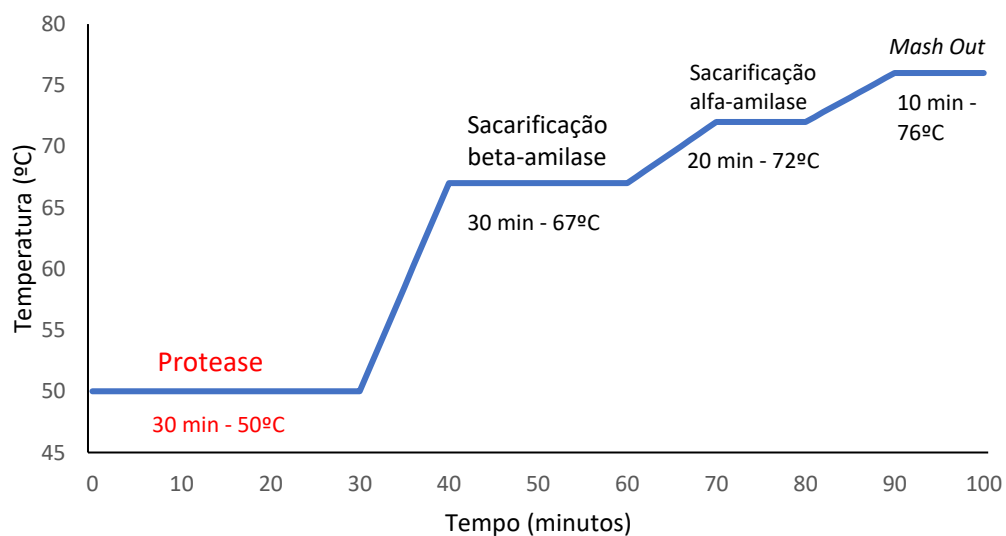


Figura 3 – Rampas de temperatura da etapa de mosturação das cervejas M20 e M40.

Para a etapa de mosturação da cerveja C, foram aquecidos 12 litros de água, à temperatura de 56,2°C, adicionada ao tanque de mostura. O malte moído foi adicionado ao tanque para a formação do mosto, elevando-se a temperatura a 1°C por minuto, até atingir 67°C. O mosto foi mantido à essa temperatura por 30 minutos, para que ocorresse a sacarificação, ou seja, a conversão do amido em açúcares redutores. A hidrólise do amido foi confirmada pelo teste do iodo. Elevou-se a temperatura para 72°C (mantendo-se a mesma taxa de elevação), permanecendo por 20 minutos. Após esse período, realizou-se *Mash Out* na temperatura de 76 °C, ficando o mosto em repouso por 10 minutos. A clarificação do mosto foi realizada com a adição de 21,5 L de água a 75,6 °C, e promoveu-se a recirculação com o auxílio de uma bomba centrífuga em inox.

Para as etapas de mosturação da produção da cerveja M20 e da cerveja M40, utilizou-se o mesmo volume de água (12 litros) aquecidos à temperatura de 56,2°C, e adicionadas ao tanque de mostura. Adicionou-se o malte moído juntamente com a torta da polpa ao tanque de fundo falso até atingir a temperatura de 50°C, onde permaneceu a essa temperatura por um período de 30 minutos. Essa etapa denomina-se repouso proteico. Ao término deste período, o mosto, agora formado pelo malte e a torta da polpa, foi submetido à elevação da temperatura a taxa de 1°C por minuto, até atingir 67°C. O mosto foi mantido à essa temperatura por 30 minutos, para que ocorresse a sacarificação, ou seja, a conversão do amido em açúcares redutores. A hidrólise do amido foi confirmada pelo teste do iodo. Elevou-se a temperatura para 72°C, utilizando-se a mesma taxa de elevação de a 1°C, durante 20 minutos. Após esse período, realizou-se *Mash Out* na temperatura de 76 °C, ficando o mosto em repouso por 10 minutos. A clarificação do mosto foi realizada com a adição de 21,5 L de água a 75,6 °C, e promoveu-se a recirculação com o auxílio de uma bomba centrífuga em inox.

Utilizou-se a mesma metodologia para a produção das cervejas. Todas as etapas de produção seguiram as mesmas rampas de temperaturas e tempo, de maneira a preservar a padronização do processo de produção das cervejas.

Após a etapa de clarificação dos mostos (C, M20 e M40), os mesmos foram transferidos para outro tanque e submetidos à fervura. No início da fervura, adicionou-se o lúpulo *Magnum* (lúpulo de amargor) e ao final de 60 minutos, adicionou-se o lúpulo *Cascade* (lúpulo de aroma). Ao final da fervura, interrompeu-se o aquecimento e realizou-se o *whirlpool* por um período de 10 minutos. Posteriormente efetuou-se a etapa de resfriamento com a utilização de dois *chillers* de imersão, um imerso no mosto e outro

em água e gelo, até que o mosto atingisse a temperatura de 20°C para recebimento do inóculo de leveduras. Paralelamente ao resfriamento, realizou-se o *starter*, que consiste na propagação das leveduras na temperatura de inoculação.

Os mostos, ao atingirem a temperatura de 20°C, foram transferidos para um balde fermentador, de modo a garantir a devida aeração e oxigenação adequadas para a propagação das leveduras. Os fermentadores foram devidamente vedados com uma válvula *airlock* e colocados em um refrigerador com temperatura controlada por um termostato da marca MT-512 E 2HP.

A etapa de fermentação foi realizada na temperatura de 18 °C, durante 8 dias. A fermentação secundária ocorreu na temperatura de 21°C, por um período de 3 dias. A etapa de maturação foi realizada durante 5 dias na temperatura de 0°C.

Ao término da etapa de maturação, realizou-se o *priming*, que consiste na adição de uma solução de açúcar simples ao mosto fermentado, com concentração de 5,9 gramas de açúcar por litro de cerveja.

As cervejas C, M20 e M40 foram envasadas em garrafas de vidro âmbar de 300 mL e 600 mL, previamente limpas e sanitizadas. Utilizou-se um arrolhador manual para fechamento das garrafas. Após o arrolhamento, as garrafas permaneceram na geladeira a uma temperatura de 20°C por mais 7 dias.

No processamento das cervejas C, M20 e M40 as densidades foram mensuradas durante as etapas de fermentação e maturação.

3.2.3 Caracterização físico-química das cervejas especiais

Para a maioria das análises realizadas, as amostras das cervejas C, M20 e M40 foram descarbonatadas para que não houvesse interferência nos resultados. Para a descarbonatação das amostras utilizou-se o protocolo do Instituto Adolf Lutz (2008) - Métodos Físicos e Químicos para análises de alimentos, metodologia 245/IV. As amostras foram transferidas para um béquer de 500 mL e colocadas em agitador magnético para a completa volatilização do dióxido de carbono. Permaneceram em agitação durante cinco horas e foram submetidas a um aquecimento a temperatura de 25°C.

As análises físico-químicas de teor alcoólico, cor, extrato aparente, extrato real, extrato original, carboidrato, teor calórico, amargor foram realizadas em laboratório de

biotecnologia credenciado, denominado Laboratório da Cerveja. Localiza-se na cidade de Belo Horizonte – MG e atua na emissão de laudos de análises físico-químicas voltadas para a padronização do controle de qualidade do processo cervejeiro. Para a realização das análises utilizou-se os protocolos da ASBC - *American Society of Brewing Chemists* (1958).

As análises de pH, acidez titulável, sólidos solúveis, cinzas, açúcares totais (AT), açúcares redutores (AR) e não redutores (ANR), pectina foram realizadas nos Laboratórios Biotecnológico (LABIOTEC) e no Laboratório de Estudos Biológicos e Químicos “Chang Yihwa”, do Departamento de Química, Biotecnologia e Engenharia de Bioprocessos na UFSJ - Campus Alto Paraopeba.

No Quadro 1 são apresentados os protocolos e as metodologias aplicadas para a realização das análises físico-químicas citadas.

Quadro 1- Metodologias e protocolos aplicados para a caracterização físico-química das cervejas.

Análise físico-química	Protocolo	Metodologia
Teor alcoólico	ASBC Beer-4	Determinação através de cromatografia gasosa, adaptado da metodologia oficial descrita pela ASBC (Beer-4C). Diferentemente dos outros métodos, como estimativa por variação entre OG e FG no mosto, mede exclusivamente o álcool etílico, sendo mais específico e mais preciso.
Cor	ASBC Beer-10	Determinação da cor utilizando um espectrofotômetro, equipamento que mede a intensidade de cor da cerveja em um determinado comprimento de onda.
Extrato Aparente	ASBC Beer-3	Determinação através de densitometria, sendo os extratos real e aparente medidos experimentalmente, sendo o extrato original estimado através de cálculos.
Extrato Real	ASBC Beer-5	
Extrato Primitivo	ASBC Beer-6	
Carboidratos	ASBC Beer-41	Determinação do teor total de carboidratos por análise espectrofotométrica pelo método fenol/sulfúrico.

continua

Quadro 1- Metodologias e protocolos aplicados para a caracterização físico-química das cervejas (continuação).

Amargor	ASBC Beer-23	Determinação do amargor da amostra na escala IBU (<i>International Bitterness Unit</i>) através de um processo de extração líquido-líquido, que separa os iso-alfa ácidos da cerveja e faz a quantificação dos mesmos utilizando um Espectrofotômetro.
Teor calórico	ASBC Beer-33	Determinação do teor calórico a partir das análises de extrato e teor alcoólico.
pH	IN Nº 24, de 08/09/2005.MAPA.SDA. Cad.04.Fermentados Alcoólicos: Método 04. Ed.1.Rev. 0.	Determinação de pH pelo método potenciométrico a 25°C.
Acidez Total ou Titulável	IN Nº 24, de 08/09/2005.MAPA.SDA. Cad.04.Fermentados Alcoólicos: Método 05. Ed.1.Rev. 0.	Determinação pelo método titulométrico, em que ocorre a neutralização dos ácidos com solução padronizada de álcali.
Sólidos solúveis	315/IV Manual de Análise do Instituto Adolf Lutz – 4ª edição	A determinação da quantificação de sólidos solúveis é dada pelo índice de refração. obtido através do refratômetro, medida na unidade °Brix.
Análise organoléptica	IN Nº 24, de 08/09/2005. MAPA. SDA. Cad.04.Fermentados Alcoólicos: Método 11.Ed.1.Rev. 0.	Determinação das características organolépticas, tais como (aspecto, cor, odor e sabor), quanto à qualidade do processamento e das matérias-primas utilizadas para sua elaboração.
Açúcares totais , Açúcares redutores e não redutores	Miller (1959)	A determinação dos açúcares redutores e açúcares redutores totais pelo método do ácido 3,5 – dinitrossalicílico (DNS), por espectrofotometria de acordo com o método proposto por Miller (1959)
Pectina	Quantificação (Bitter & Muir, 1962)	As cervejas foram liofilizadas para posterior extração alcoólica dos açúcares e o pellet centrifugado para a quantificação da pectina.

4. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Todas as análises foram realizadas em triplicatas. Para comparação entre as médias utilizou-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade utilizando o *software STATISTICA 7.0*. Diferenças entre as médias no nível de 5% ($p < 0,05$) foram consideradas significativas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 são apresentados os resultados das análises físico-químicas das cervejas C, M20 e M40 realizadas pelo Laboratório da Cerveja.

Tabela 2 – Resultados das análises físico-químicas realizados pelo Laboratório da Cerveja.

Análise físico-química	C	M20	M40
Extrato Aparente (°P)	2,81 ^a	3,83 ^b	4,83 ^c
Extrato Real (°P)	4,45 ^a	5,49 ^b	6,86 ^c
Extrato Primitivo (°P)	11,48 ^a	12,57 ^b	15,57 ^c
Teor alcoólico (% v/v)	4,6 ^a	4,7 ^b	5,9 ^c
Cor (EBC)	8 ^a	26 ^b	28 ^b
Carboidratos (g/100 mL)	1,6 ^a	2,1 ^b	2,2 ^b
Teor calórico (kcal/100 mL)	43 ^a	48 ^b	60 ^c
Amargor (IBU)	49,5 ^a	55,1 ^b	59 ^c

Médias seguidas de letras diferentes na mesma linha, apresentam diferenças significativas ao nível de 5% de significância ($p \leq 0,05$).

Os resultados para as cervejas C, M20 e M40 se diferiram estatisticamente quanto aos teores de extrato primitivo, real e aparente. A classificação das cervejas quanto ao extrato primitivo, de acordo com a legislação, classifica a cerveja C como cerveja comum, a M20 como cerveja extra e a M40 como cerveja forte. Na avaliação da cerveja utilizando o umbu-cajá e canela, para diferentes períodos de armazenamento, produzida por Valentim, Fonseca e Silva (2021), o extrato primitivo variou entre 2,55 e 2,73%, o extrato aparente entre 1,33 e 2,08% e o extrato real entre 3,04 e 3,91%. Os autores mostraram que as variações dos extratos foram significativas em função do tempo de armazenamento. Pinto *et al*(2015), elaboraram a cerveja artesanal adicionada de acerola e abacaxi em diferentes proporções desses adjuntos. O extrato primitivo variou de 7,86 a 10,42%. Enquanto obtiveram os intervalos de 2,02 a 4,05% para o extrato aparente e de 3,02 a 3,99% para o extrato real. Os resultados das cervejas C, M20 e M40 são elevados quando comparados aos resultados dos autores supracitados. De maneira geral, pode-se

dizer que a torta da polpa contribuiu para o aumento da concentração dos extratos primitivo, real e aparente. Os valores crescentes do extrato primitivo dessas cervejas, indicam que a torta da polpa é fonte rica em açúcares e ácidos orgânicos. O extrato aparente é um indicador dos açúcares não fermentescíveis e dextrinas e obteve comportamento semelhante aos outros extratos. O extrato real que representa os açúcares, dextrinas e proteínas restantes influencia no corpo e espuma da cerveja. Para esse extrato, resultados de 4,45%, 5,49% e de 6,86% para C, M20 e M40 respectivamente, indicam cervejas encorpadas, com destaque para a M40.

Para o teor alcoólico, os tratamentos diferiram estatisticamente ($p < 0,05$). Lima *et al*(2021) desenvolveram uma cerveja especial com adição de pitanga e avaliaram as características físico-químicas, após as etapas de clarificação e filtração. Os resultados variaram na faixa de 4,2 a 4,8%. Brunelli, Mansano e Venturini (2014), produziram cervejas com diferentes concentrações de mel, para diferentes combinações de extrato original. O teor alcoólico encontrado nas formulações variou de 4,43 a 5,62%. Na avaliação da atividade oxidante em cervejas especiais com pedúnculo de caju e casca de laranja, Pereira *et al*(2019), obtiveram a faixa de 3,73 a 4,23% de teor alcoólico. Verifica-se para as cervejas C, M20 e M40, à medida que se elevou a concentração de adjunto, proporcionou-se o aumento do teor alcoólico devido ao de perfil de açúcares fermentescíveis provenientes da torta da polpa. Os resultados corroboram que quanto maior a concentração de extrato primitivo, maior o teor alcoólico.

A diferença estatística pelo teste de Tukey, confirma a coloração da cerveja C considerada como clara e a coloração das cervejas M20 e M40, consideradas escuras (tonalidade castanho escuro), conforme Figura 4. Brunelli, Mansano e Venturini (2014) obtiveram aumento na coloração das cervejas, de 5,64 a 9,75 EBC, à medida que aumentaram a proporção de mel como adjunto, concomitante à elevação da concentração de extrato primitivo. Costa *et al*(2019), na cerveja com adição de polpa de abacaxi adicionada à etapa de maturação, obtiveram coloração de 10 EBC. A cerveja adicionada de gengibre desenvolvida por Tozetto *et al* (2019), foi classificada como cerveja clara e apresentou 7,13 EBC. A coloração mais escura obtida para as cervejas M20 e M40, se deve às contribuições de substâncias não solúveis provenientes da torta da polpa, que proporcionou uma turbidez mais aparente. Além disso, o processo de clarificação não foi eficiente, devido à formação de uma camada esponjosa composta pela torta e o malte.

Essa característica promoveu a necessidade de mexer na cama de grãos, que possivelmente gerou o acarretamento de finos para as etapas seguintes do processo.



Figura 4 – Cervejas (a) C (b) M20 (c) M40.

Os resultados do IBU para as cervejas C, M20 e M40 diferiram estatisticamente, comprovação de que o acréscimo da torta da polpa, conferiu elevação ao amargor. Brunelli, Mansano e Venturini (2014) verificaram que a adição de mel como adjunto em cervejas (com diferentes concentrações) influenciou no amargor das cervejas. Os valores ficaram no intervalo de 9,79 a 11,71 IBU. Tozetto et al (2019) produziram cerveja com gengibre, a qual alcançou o índice de 21,55 IBU. Verificou-se um aumento de IBU para as cervejas M20 e M40. Sugere-se que a torta da polpa possa ter influenciado na isomerização dos alfa-ácidos contribuindo para uma melhor extração de compostos responsáveis pelo amargor.

As cervejas M20 e M40 apresentaram diferença estatística em relação a cerveja C quando avaliadas ao parâmetro carboidratos. Pereira *et al*(2019) obtiveram valores no intervalo de 2,87 a 2,96 g/100 mL. O valor do teor calórico correspondente às formulações, variaram de 33,28 a 38,88 (kcal/100 mL). Brunelli e Venturini Filho (2013), através da análise energética de cerveja elabora com mel, obtiveram o teor de carboidratos entre 0,79 e 1,40 g/100 g e de 35,61 a 36,05 kcal/100 mL para o teor calórico. Os resultados do teor de carboidratos, para as cervejas dessa pesquisa, são semelhantes aos reportados na literatura. Enquanto os teores calóricos foram mais elevados. Estes

resultados são em função da presença da torta da polpa, que é uma fonte de carboidratos fermentescíveis (açúcares residuais) que contribuíram para o aumento do teor calórico. Verifica-se que para as cervejas com maior teor de extrato primitivo e teor alcoólico, tem-se maiores teores calóricos e de carboidratos como o esperado.

Na Tabela 3 são apresentadas os resultados das análises físico-químicas nas cervejas C, M20 e M40 .

Tabela 3 – Resultados das análises físico-químicas nas cervejas especiais.

Análise físico-química	C	M20	M40
pH	4,25 ^a	4,63 ^b	4,74 ^b
Acidez Titulável (mEq/L)	22 ^a	27,6 ^b	33,6 ^c
Cinzas (g/L)	0,55 ^a	1,86 ^b	2,51 ^c
Sólidos solúveis (°Brix)	6,0 ^a	7,2 ^b	9,2 ^c
Açúcares totais (AT) (g glicose/100mL)	2,65 ^a	3,34 ^b	3,94 ^c
Açúcares redutores (AR) (g glicose/100mL) %	1,18 ^a	1,45 ^b	1,61 ^c
Açúcares não-redutores (ANR) (g glicose/100mL) %	1,39 ^a	1,80 ^b	2,21 ^c
Pectina (g ac galacturônico/100g)	0,47 ^a	0,68 ^b	1,02 ^c

Médias seguidas de letras diferentes na mesma linha, apresentam diferenças significativas ao nível de 5% de significância ($p \leq 0,05$).

As cervejas M20 e M40 diferiram estatisticamente em relação a cerveja C quanto aos valores de pH. Lima *et al*(2021) encontraram o pH variando de 4,0 a 4,1, para a cerveja produzida com polpa de pitanga. Brunelli, Mansano e Venturini Filho (2014) encontraram teores de 4,54 a 4,66 para as cervejas elaboradas com diferentes proporções de mel. Os resultados para as cervejas C, M20 e M40 podem ser consideradas ligeiramente ácidas e consideradas satisfatórias para o não crescimento de microrganismos. Verifica-se que aumento do adjunto proporcionou o aumento do pH. Essa característica está atrelada ao perfil da torta da polpa que contribuiu com a formação de ácidos orgânicos na etapa de fermentação. No entanto, o pH obtido pelas cervejas produzidas encontram-se com o pH aceitável na faixa de 4,3 a 4,7 (KUNZE, 2006).

A acidez titulável diferiu estatisticamente ($p < 0,5$) para as cervejas. Pinto *et al*(2015), obtiveram a faixa de 21,28 a 37,93 a mEq/L. Valentim, Fonseca e Silva (2021) obtiveram resultados para acidez na faixa de 3,92 a 6,37 mEq/L, ao longo de 60 dias de armazenamento de cervejas produzidas. Goiana *et al*(2016), avaliaram físico-quimicamente cervejas do estilo *Pale Ale*, e os resultados mostraram que para as amostras

avaliadas, o teor de acidez titulável ficou entre 19,07 a 46,02 mEq/L. Souza, Fogaça (2018), avaliaram amostras de cervejas artesanais e industriais, quanto ao perfil físico-químico e a adequação dos rótulos quanto à graduação alcoólica e encontraram a faixa de 27 a 38,6 mEq/L. As diferenças entre os resultados citados e a presente pesquisa, advêm da utilização e característica de cada matéria-prima utilizada e da composição do adjunto. A torta da polpa, para as cervejas , C, M20, e M40, contribuiu com acidez em 9,51%, que influenciou o aumento desse teor nos resultados. No capítulo 2 (Tabela 19), a caracterização da torta TF, apresentou em sua composição vários ácidos orgânicos, os quais conferem uma característica de acidez a torta. Essa acidez pode estar relacionada a vários fatores, tais como o estágio de maturação do fruto, tempo de armazenamento e de processamento da polpa. Constatou-se que os valores de acidez aumentaram com a maior concentração da torta da polpa.

As cervejas diferiram estatisticamente pelo teste de Tukey quanto ao parâmetro cinzas. Verifica-se o aumento crescente dos teores de cinzas entre as cervejas C, M20 e M40. Esse resultado consiste na composição da torta de Macaúba (Tabela 19 - capítulo 2), que apresenta 4,3% de teor de cinzas. Além de apresentar proporções consideráveis de minerais Ca, P, K, Mg e S. Essa caracterização da torta da polpa, contribui para o aumento de matéria inorgânica à medida que se adiciona esse adjunto nas cervejas avaliadas. Pinto et al (2015), avaliaram a cerveja com a adição de acerola e abacaxi em diferentes proporções, encontraram o teor de cinzas entre 0,2 e 0,4 g/L. Para os pesquisadores Pereira et al (2020), os resultados ficaram no intervalo de 1,4 a 2,1 g/L (pedúnculo de caju e casca de laranja). Os resultados da presente pesquisa assemelham-se aos resultados encontrados pelos pesquisadores citados.

Para a avaliação do parâmetro sólidos solúveis, as cervejas diferiram estatisticamente. Pereira *et al*(2020), encontraram as leituras de 5,0 a 5,1°Brix nas cervejas elaboradas com pedúnculo de caju e casca de laranja. Valentim, Fonseca e Silva (2021), verificaram que durante o armazenamento de cervejas utilizando umbu-cajá tiveram valores médios entre 5,18 e 5,4°Brix. Para a cerveja elaborada com batata doce roxa com diferentes concentrações, Panda et al (2015), encontraram o teor de sólidos solúveis na faixa de 3,0 a 3,57°Brix. Os resultados dessa pesquisa ficaram acima destes resultados. Fato este, que se deve à adição da torta da polpa, que influenciou o aumento do teor de sólidos solúveis nas cervejas M20 e M40. A maioria dos sólidos solúveis são açúcares fermentescíveis, que devem ter aumentado pela presença da torta da polpa. Os resultados podem indicar que não houve uma atenuação eficiente no processo.

Em relação aos resultados de AR, ANR e AT, as três cervejas tiveram diferença estatística. Pereira *et al*(2020) obtiveram o intervalo de 0,84 a 0,98% para AT, de 0,1 a 0,27% para AR e de 0,67 a 0,77% para ANR. Para a cerveja artesanal maturada com umbu-cajá durante 60 dias de armazenamento, Valentim, Fonseca e Silva (2021) encontraram os respectivos intervalos de 1,03 a 1,34 % para AT e de 0,45 a 0,49% para AR. Constataram a diminuição dos teores de açúcares em função do tempo de armazenamento. Os valores obtidos nessa pesquisa, indicam que a adição da torta contribuiu para com o aumento da concentração de açúcares nas cervejas, e gerou resultados superiores aos encontrados na literatura. Os altos teores de ANR apontam uma alta proporção de açúcares não fermentescíveis provenientes deste adjunto. Corrobora-se esta afirmação pela análise de açúcares realizados na torta da polpa no capítulo 2. Essa característica pode promover cervejas mais encorpadas.

Quanto aos teores de pectina solúvel, houve diferença estatística entre as cervejas C, M20 e M40. O aumento progressivo deste teor nas cervejas está atrelado à adição da torta da polpa, que em sua caracterização físico-química comprovou o teor de 2,78% de pectina solúvel. Na pesquisa bibliográfica realizada, não foram encontrados dados na literatura que fornecessem teores de pectina solúvel em cervejas. O teor de pectina encontrado na cerveja C, pode estar relacionado com a presença de até 2% de pectina encontrados na composição de lúpulos (MACWILLIAM, 1953). Langenaeken *et al*(2020) investigaram através de análises bioquímicas (microscopia eletrônica de varredura e microscopia confocal) a presença de 61% beta-glucano, 34% de arabinosilanos e 5% pectina na parede celular da cevada. O modelo da parede celular proposto pelos autores, indicou um possível papel da pectina no processo de maltagem e na fabricação de cerveja. Dessas pesquisas, pode-se sugerir que o malte e o lúpulo contribuem para a presença de pectina na cerveja.

As análises organolépticas realizadas nas cervejas C, M20 e M40 foram realizadas de acordo com as normativas do MAPA (2005) descrita no Quadro 1. As análises foram realizada por um avaliador não treinado, visto que os parâmetros avaliados não exigem profissional especializado. Os resultados apresentaram diferenças quanto à coloração e turbidez e ao aspecto sensorial de aroma e sabor. A presença da torta da polpa conferiu características diferenciadas fazendo notar a presença deste adjunto. Os resultados são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Avaliação organoléptica das cervejas C, M20 e M40.

Análise	Amostra	Normal	Anormal	Observação
Aspecto- ausência de elementos estranhos	C	X		Espuma normal
	M20	X		Espuma normal
	M40	X		Espuma normal
Coloração – característica com a origem dos componentes da matéria-prima	C	X		Mais cristalina
	M20	X		Mais opaca
	M40	X		Mais opaca e turva
Limpidez – ausência de corpos estranhos, depositados e/ou turvações	C	X		
	M20	X		Presença de finos
	M40	X		Presença de finos
Vazamentos – o recipiente não deve apresentar vazamento	C	X		
	M20	X		
	M40	X		
Estufamento – (gases) estado da embalagem	C	X		
	M20	X		
	M40	X		
Outros aspectos relevantes à embalagem e da aparência	C	X		
	M20	X		
	M40			
Imediatamente – o odor, a aparência e a presença de gases (anormais)	C	X		
	M20	X		Odor suave característico do fruto da Macaúba
	M40	X		Odor suave característico do fruto da Macaúba
Por degustação – sensação na boca e possível alteração	C	X		Sobressai o malte.
	M20	X		Amargor suave e adocicada.
	M40	X		Amargor suave e mais adocicada.

6. CONCLUSÃO

As cervejas com a adição da torta da polpa diferenciaram-se estatisticamente da cerveja controle na maioria dos parâmetros físico-químicos. A inserção da torta da polpa como adjunto no processo cervejeiro contribuiu para o aumento do extrato primitivo, aparente e real proporcionando o aumento de concentração de açúcares (redutores e não redutores) que influenciaram no teor alcoólico e teor calórico das cervejas. Os teores de cinzas, acidez titulável, sólidos solúveis, cor, pectina e amargor apresentaram relativo aumento quanto à alteração da concentração da torta da polpa.

Esses resultados indicam que a torta da polpa contribuiu para a fermentação alcóolica mostrando ser um adjunto fermentescível e fonte alternativa viável para a produção de cerveja especial. O uso da torta da polpa de Macaúba como adjunto na produção cervejeira, apresentou características peculiares à cerveja artesanal.

Com a inserção dessa nova matéria-prima, agrega-se valor a um coproduto da cadeia produtiva da Macaúba e inova-se o mercado cervejeiro com novas características sensoriais e fonte alternativa de adjunto do malte na produção de cerveja.

7. REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY OF BREWING CHEMISTS BEER. ASBC. **Methods of analysis of the American Society of Brewing Chemists**. Madison, 1958. Cap. 2, p. 17-66. doi: 10.1094/ASBCMOA-Beer x.
- ARAÚJO, G.; FISCINA, V.; AILTON, D. B.; VANILDO C, G. Effect of different concentrations of bush passion fruit pulp and temperature in the production of beer. **African Journal of Biotechnology**. 16. 1150-1158. 10.5897. 2017.
- BITTER, T.; MUIR, H.M.A. Modified uronic acid carbazole reaction. **Analytical Biochemistry**, New York, v.34, n.4, p.330-334, 1962.
- BRUNELLI, L. T.; VENTURINI FILHO, W. G. Análise energética de cerveja elaborada com mel. **Energia na agricultura**, [S. l.], v. 28, n. 2, p. 122–128, 2013. DOI: 10.17224/EnergAgric. v28. n2. p122-128. 2013.
- BRUNELLI, L.T.; MANSANO, A.R.; VENTURINI FILHO, W.G. Caracterização físico-química de cervejas elaboradas com mel. **Brazilian Journal Of Food Technology**, v. 17, n. 1, p. 19-27, mar. 2014.
- CARVALHO, G. ; SILVA, D. ;BENTO, C. ; VICENTE, A. ; TEIXEIRA, J. ;FELIPE, M. ; SILVA, J. Banana as Adjunct in Beer Production: Applicability and Performance of Fermentative Parameters. **Applied biochemistry and biotechnology**. 155. 53-62. 10.1007/s12010-008-8458-y. 2009.
- COSTA, P. M.; ALMEIDA, I. L.; BIANCHINI, A.; BIANCHINI, M. DAS; VASSOLER E SILVA, R. E.; ROSSIGNOLI, P. Blond Ale Craft Beer Production with Addition of Pineapple Pulp. **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 38, n. 2, p. 1-5, 2019.
- DALLA SANTA et al. Elaboração de cerveja com adição de alcachofra/ Brewing with addition of artichoke. **Braz. J. of Develop.**, Curitiba, v. 6, n. 9, p.72918-72928. ISSN 2525-8761. 2020. DOI:10.34117/bjdvn9-660
- GOIANA, M. L. et al. Análises Físico-Químicas de Cervejas Artesanais Pale Ale Comercializadas em Fortaleza, Ceará. XXV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos. Alimentação: a árvore que sustenta a vida. **Anais...** Gramado-RS, 2016.
- KUNZE, W. La cerveza terminada. In: KUNZE, W. **Tecnología para cervecedores y malteros**. Berlín: VLB Berlin, cap. 7, p. 826-885, 2006.
- LANGENAEKEN, N. A. Arabinoxylan, β -glucan and pectin in barley and malt endosperm cell walls: a microstructure study using CLSM and Cryo-SEM. **The Plant Journal**. 103, p. 1477-1489, 2020. DOI: 10.1111/tpj.14816.
- LIMA, B. Caracterização físico-química de cerveja summer ale adicionada de polpa de pitanga (eugenia uniflora) / physico-chemical characterization of summer ale beer added

with pitanga pulp (eugenia uniflora). **Brazilian Journal of Development**. 2021. DOI:7.25337-25343. 10.34117/bjdv7n3-303.

MACWILLIAM, I. C. Chemistry of hop constituents: v. hop pectin. **Journal of the Institute of Brewing**, 11 vol. 59; Iss. 6, 1953. DOI:10.1002/j.2050-0416.1953.tb06212.x

MILLER, G.L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugars. **Analytical Chemistry**, v.31, p.426-428, 1959.

NUNES, C. ; CARVALHO, G. ; SILVA, M. ; DA SILVA, G. ; MACHADO, B. ; UETANABARO, A. Cocoa pulp in beer production: Applicability and fermentative process performance. **PLOS ONE**. 2017. DOI: 10.1371/journal.pone.0175677

PANDA, S.K., PANDA, S.H., SWAIN, M.R., RAY, R.C., KAYITESI, E. Sweet Potato Beer. **Journal of Food Processing and Preservation**, 39: 3040-3049. 2015. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12569>

PEREIRA, I. M. C. et al. Physicochemical characterization, antioxidant activity, and sensory analysis of beers brewed with cashew peduncle (*Anacardium occidentale*) and orange peel (*Citrus sinensis*). **Food Science and Technology**, v. 40, pp. 749-755. ISSN 1678-457X. 20 Mar 2020. <https://doi.org/10.1590/fst.17319>.

PINTO, L. I. F.; ZAMBELLI, R. A.; SANTOS JUNIOR, E. C.; PONTES, D. F. Desenvolvimento de Cerveja Artesanal com Acerola (*Malpighia emarginata* DC) e Abacaxi (*Ananas comosus* L. Merrill). **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, n. 4, p. 67 - 71, 2015.

POLLMANN, DR. A. Die Illusion vom Reinheitsgebot; Komplementäre und Integrative Medizin, v. 49, Issue 4, p. 6, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.kim.2008.02.011>

SOUSA, V. M.; FOGAÇA, L. C. S. Perfil Físico-Químico de Cervejas Artesanais e Industriais e Adequação dos Rótulos Quanto à sua Graduação Alcoólica. **Id on Line Rev.Mult. Psic.**, vol.13, n.43, p. 440-447. ISSN: 1981-1179, 2019.

TECHAKRIENGKRAIL, I. et al. Relationships of sensory bitterness in lager beers to iso-alfa-acid contents. **Journal of the Institut of Brewing**, v. 110, n.1, p. 51-56, 2004.

TOZETTO, LUCIANO MORO et al. Production and physicochemical characterization of craft beer with ginger (*Zingiber officinale*). **Food Science and Technology**, v. 39, n.4, p. 962-970, ISSN 1678-457X, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/fst.16518>.

VALENTIM, S. dos S.; FONSECA, A. A. O.; SILVA, S. M. P. C. da. Elaboração e avaliação da estabilidade de cerveja artesanal utilizando o umbu-cajá (*Spondias bahiensis*) e canela na maturação. **Diversitas Journal**, [S. l.], v. 6, n. 1, p. 114–136, 2021. DOI: 10.17648/diversitas-journal-v6i1-1443

4. TORTA DA POLPA COMO FONTE ALTERNATIVA DE PECTINA

1. INTRODUÇÃO

As primeiras descobertas sobre a pectina, ocorreram em 1750, onde foi citada em um artigo inglês sobre a preparação de geleias de maçã. Sua característica geleificante, foi caracterizada em 1824, por Braconnot. A partir dessas descobertas, inúmeras pesquisas se concentraram para especificar a composição, métodos de extração e características estruturais e funcionais da pectina (CANTERI, et al, 2012; CUI et al, 2021).

A pectina apresenta ampla versatilidade de aplicação em indústrias alimentícias, atuando como geleificante, espessante, emulsificante e estabilizante. É utilizada na preparação de doces, geleias, sorvetes, sucos, produtos lácteos, iogurte e produtos de panificação. Dentre outras aplicações a pectina é usada em produtos farmacológicos, cosmetológicos e revestimentos biodegradáveis (YAMADA, 1996; PAGLIARO et al., 2015).

A produção industrial da pectina se consolidou no início do século XX, na Europa e nos Estados Unidos. No Brasil a produção comercial iniciou em 1954, em Limeira – SP, com a pioneira americana CP Kelco Brasil. A novidade em 2021, fica por conta da multinacional Cargill, que inaugurou uma nova unidade com foco em produção de pectina, na cidade de Bebedouro - SP, planejada para suprir o comércio local e exportação para a Europa e Ásia. Estima-se uma produção de 6.000 toneladas por ano. Segundo Laerte Moraes, diretor geral de Amidos e Adoçantes da empresa na América do Sul, o custo mercadológico do quilograma de pectina custa 15 a 20 dólares, e portanto permite a ampliação do portfólio de produtos de alto valor agregado para o mercado nacional (FONSECA, 2021).

Tradicionalmente, a pectina produzida comercialmente é obtida da extração no mesocarpo de frutos cítricos, subprodutos da indústria de processamento de sucos e bagaço de maçã (MORALES-CONTRERAS, 2018). Diversas pesquisas reportadas na literatura apresentaram novas fontes de matérias-primas alternativas para extração da pectina, tais como: girassol (EZZATI, et al, 2020), beterraba (RAKA, TAKADA, HOSSAIN, 2021), tomate (MORALES-CONTRERAS, 2017), mamão (PEDRAZA-GUEVARA et al, 2021), araçá (AMARAL et al, 2021), goiaba (MUNHOZ, SANJINEZ-ARGANDONA, SOARES JUNIOR, 2008). A extração em escala industrial é realizada

por hidrólise catalisada por ácido (PEDRAZA-GUEVARA et al, 2021). Deve-se ressaltar que a escolha da matéria-prima é de suma importância para obtenção de pectinas com alto valor agregado. Todavia, deve-se levar em consideração o grau de esterificação, a massa molar, processo e o rendimento de extração, de maneira a caracterizar a especificidade da pectina e direcionar sua aplicação industrial e tecnológica (IGLESIAS; LOZANO, 2004; CUI, et al, 2021).

O grau de esterificação (GE) é um importante critério na classificação da pectina em relação ao seu mecanismo de geleificação. Pectinas que apresentam alto grau de esterificação (HM – *High Methoxyl*) apresentam grupos carboxílicos esterificados acima de 50%, e baixo grau de esterificação (LM – *Low Methoxyl*) quando 50% ou menos estão esterificados. As pectinas que apresentam alto grau de esterificação são bastantes utilizadas como agentes geleificantes, por apresentar rápida capacidade de formação de gel e se destacam pelo alto valor agregado (CANTERI et al, 2012).

Outra característica importante, que reflete nas propriedades de viscosidade e solubilidade, corresponde a massa molar da pectina. Massas molares entre 35.000 e 120.000 Da são reportados na literatura para pectinas comerciais. A massa molar média é calculada baseada nos dados de viscosidade e viscosidade intrínseca. O grau de pureza da pectina, determinada por espectrofotometria, é realizada pela determinação do teor de ácido galacturônico (CANTERI et al, 2012). As curvas de Análise Termogravimétrica (TGA) e as curvas obtidas pela Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) são avaliadas para analisar o comportamento térmico da matéria-prima.

Nesta pesquisa, voltada para o desenvolvimento de cerveja especial, que utiliza a torta da polpa do coco Macaúba (como adjunto), verificou-se em uma das produções cervejeiras (primeira produção teste), realizada por Nascimento (2016), que a cerveja apresentou características de alta turbidez e viscosidade. Porém, obteve o resultado de 83% de aceitação global, com destaque aos itens cor, aroma e sabor em sua análise sensorial. Assim, levantou-se a hipótese da presença de pectina oriunda do adjunto. Realizou-se, portanto, pesquisa em busca de dados na literatura sobre a presença de pectina na composição da torta da polpa. Não foram encontrados dados que pudessem corroborar com tal afirmação.

Contudo, diante do exposto, o objetivo do presente trabalho foi produzir e caracterizar a pectina na torta da polpa do coco Macaúba.

2. OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

Produzir e caracterizar a pectina da torta da polpa do coco Macaúba, por meio de extração ácida , utilizando o ácido clorídrico, o ácido acético e ácido cítrico.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar o rendimento de extração de pectina, por via ácida (ácido clorídrico, ácido acético e ácido cítrico);
- Caracterizar as pectinas extraídas quanto ao grau de esterificação por espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FT-IR);
- Avaliar as propriedades térmicas das pectinas por meio das análises termogravimétrica (TGA) e de calorimetria diferencial exploratória (DSC).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 MATÉRIAS-PRIMAS

A torta da polpa do coco Macaúba, denominada de torta final (Capítulo 2) e utilizada como adjunto na produção das cervejas especiais (Capítulo 3), foi a matéria-prima de avaliação como fonte de extração de pectina.

3.2 METODOLOGIA

3.2.1 Extração da pectina

Para a obtenção da pectina da torta da polpa, utilizou-se a extração por meio ácido com ácido clorídrico, ácido acético e ácido cítrico.

O processo de extração da pectina foi realizado de acordo com a metodologia proposta por CALLIARI et al, (2016), e ZANELLA e TARANTO (2015), com adaptações.

As análises de extração por via ácida, foram realizadas no Laboratório Biotecnológico (LABIOTEC) da Universidade Federal de São João Del Rei – UFSJ. As análises de extração foram realizadas em triplicata.

As condições do processo de extração ácida das amostras de pectina são especificadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Condições de ensaio de extração por via ácida.

Condições de ensaio	Ácido clorídrico	Ácido acético	Ácido cítrico
Concentração do ácido (mol/L)	0,02	2	2
Temperatura de extração (°C)	80	80	80
pH	2	2	2
Tempo de extração (minutos)	60	60	60
Centrifugação (×g)	4800	4800	4800
O sobrenadante contendo as amostras de pectina foram precipitadas com etanol 95% (v/v)			
Centrifugação (×g)	4800	4800	4800
O pellet constituiu as amostras de pectina que foram liofilizadas e armazenadas para as análises futuras			

A torta da polpa macerada e as soluções extratoras foram aquecidas sob agitação magnética nas condições descritas na Tabela 1. Em seguida realizou-se a precipitação da pectina do sobrenadante, com adição de etanol 95% na razão de 2:1 (álcool:extrato). A pectina obtida foi congelada em ultrafreezer a - 80°C e em seguida liofilizada durante 24 horas e armazenada sob refrigeração.

As amostras de pectinas extraídas, foram denominadas de PC1 (ácido clorídrico), PC2 (ácido acético) e PC3 (ácido cítrico).

3.2.1.1 Rendimento da extração

O rendimento (%) da extração é calculado pela Equação (1).

$$Rend = \frac{m_{pec}}{m_{amostra}} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

$Rend$ - Rendimento da pectina extraída (%);

m_{pec} - Massa de pectina extraída (g);

$m_{amostra}$ - Massa da amostra (g).

3.2.2 Caracterização da pectina

3.2.2.1 Grau de esterificação

As amostras de pectinas extraídas, PC1, PC2 e PC3 foram avaliadas quanto ao grau de esterificação por Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR). As análises foram realizadas no Núcleo de Análises Químicas de Amostras Ambientais e Agroindustriais (NAQAA), do Departamento de Química – UFV. Os espectros no infravermelho foram adquiridos em espectrofotômetro FTIR Varian 660 equipado com GladiATR. Os valores foram expressos em números de onda (cm^{-1}) e registrados no intervalo de 4000-400 cm^{-1} .

O grau de esterificação é determinado a partir da razão das áreas dos picos correspondentes aos grupos carboxílicos esterificados e não esterificados (MONSOOR, KALAPATHY, e PROCTOR, 2001).

$$\text{GE (\%)} = \frac{A_{1740}}{A_{1740} + A_{1640}} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

A_{1740} - Área dos picos dos grupos carboxílicos esterificados ($\sim 1740 \text{ cm}^{-1}$);

A_{1640} - Área dos picos dos grupos carboxílicos não esterificados ($\sim 1640 \text{ cm}^{-1}$).

Por meio da utilização do *software Origin Pro 8.0*, determinou-se os valores das áreas dos picos, para cálculo do GE pela Equação (2).

3.2.2.2 Análise Termogravimétrica (TGA) e Calorimetria Diferencial Exploratória (DSC)

O perfil de comportamento térmico das pectinas extraídas por via ácida, foi analisado através das análises TGA e DSC. As análises foram realizadas no Laboratório Multiusuário de Caracterização de Amostras na UFSJ. Utilizou-se o analisador

termogravimétrico (DTG - 60H, Shimadzu). Para a análise TGA, cerca de 1,56 mg de amostra foram adicionadas em uma panelinha de alumínio e aquecidos no intervalo de temperatura de 25 a 800 °C em atmosfera inerte de N₂, com fluxo de 50 mL/min e taxa de aquecimento de 10 °C min⁻¹. Para a obtenção das curvas DSC, as mesmas condições operacionais foram utilizadas. Para essa análise o equipamento foi calibrado utilizando padrão de índio metálico ($T_{\text{fusão}} = 156,6 \text{ °C}$) com pureza de 99,99%.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Extração e rendimento da pectina

Os resultados do rendimento da extração ácida, calculados pela Equação (1), são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Rendimentos da extração de pectina por meio de soluções extratoras ácidas.

Solução extratora	Amostra	Rendimento (%)
Ácido clorídrico (0,02 mol/L) pH=2,0	PC1	10,06
Ácido acético (2 mol/L) pH=2,0	PC2	18,04
Ácido cítrico (2 mol/L) pH=2,0	PC3	11,61

Munhoz, Sanjinez-Argandoña e Soares Júnior (2008) extraíram pectina da polpa e da polpa com casca da goiaba (*Psidium guajava* L.) em meio com ácido cítrico, obtendo rendimentos variando entre 7,73 e 13,66% para a polpa e 5,91 a 12,85% para a polpa com casca. Assoi et al(2014), avaliaram o rendimento de pectina (extraída em solução ácida com ácido clorídrico concentrado) em frutos da palmeira *Palmyra palm* (*Borassus aethiopum* Mart), e encontraram o intervalo de 3,6 a 12,3%.

Os valores apresentados neste trabalho apresentaram rendimentos semelhantes aos reportados pelos autores, com destaque para a extração com o ácido acético, que obteve o rendimento de 18%. A diferença dos resultados pode ter influência da diferença da matéria-prima e das condições de extração. Os resultados e condições de extração utilizadas indicam que a torta da polpa é fonte viável de extração de pectina.

4.2 Grau de esterificação (GE)

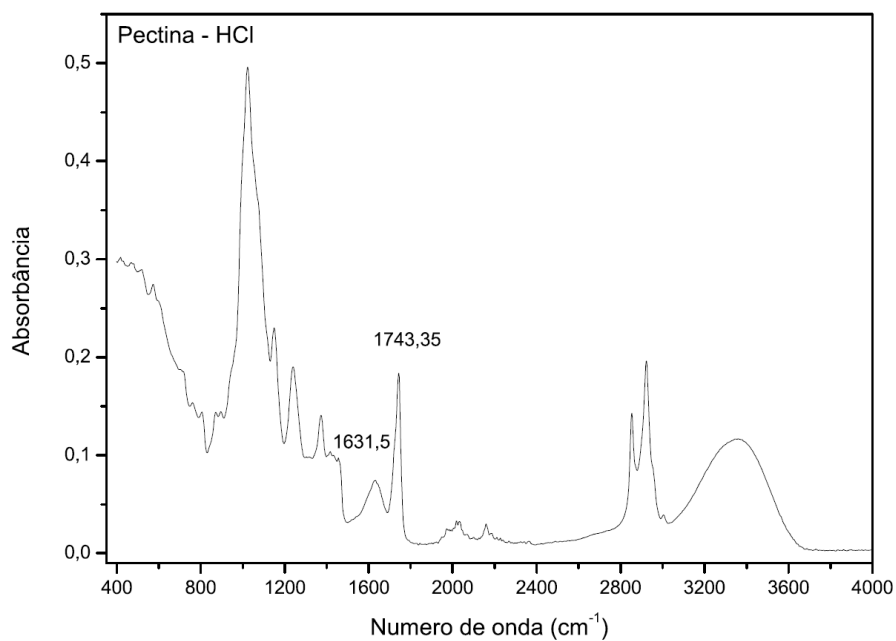
Os resultados quanto ao grau de esterificação (GE) das pectinas PC1, PC2 e PC3, são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados do grau de esterificação das amostras de pectina obtidos pela técnica de espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR).

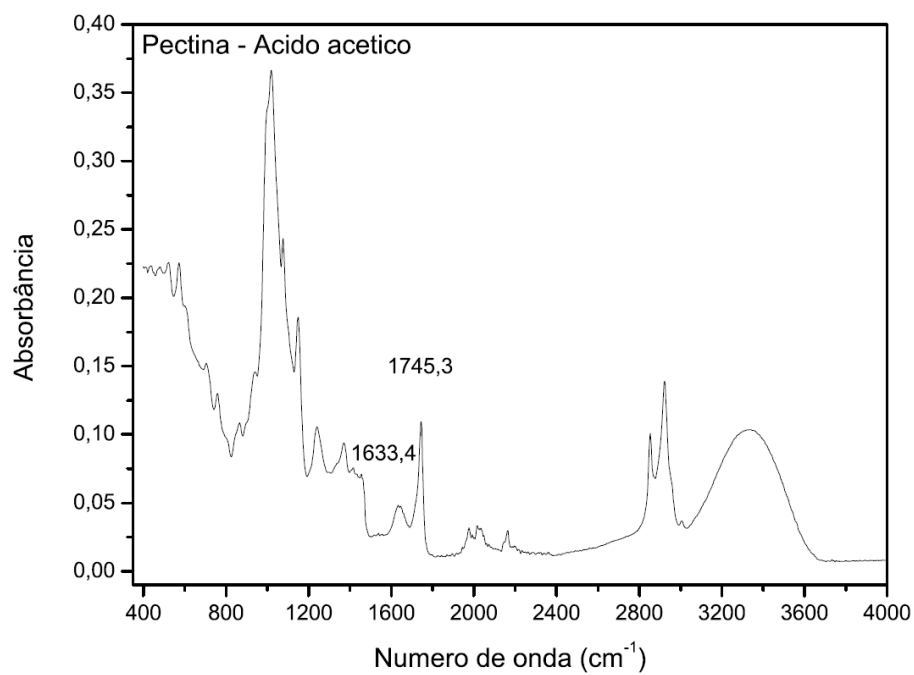
Amostra	Grau de esterificação (%)
PC1	67,22
PC2	75,29
PC3	79,40

Ezzati et al (2020) caracterizaram a pectina extraída de subprodutos de girassol, usando o método UAE (*Ultrasound-assisted extraction*) e obtiveram o teor de 34,06%, que caracteriza essa pectina como baixo teor de metoxilação. Sato et al(2011) obtiveram a média de 72,29 % do GE para o bagaço de onze cultivares de maçã. Zanella e Taranto (2015), avaliaram o efeito de condições do processo de secagem da casca (albedo e flavedo) da laranja-pera, e obtiveram o valor médio, do GE, de 70% para o albedo e 65,55% para o flavedo. Para o presente trabalho os teores de GE: 67,22 % para PC1, 75,29% para PC2, 79,40% para PC3, estão acima de 50% caracterizando-as como as pectinas alto teor de metoxilação. Os teores de GE obtidos, estão acima dos valores dos pesquisadores citados, que utilizaram matérias-primas cítricas (laranja e maçã) fontes usuais e comerciais de obtenção de pectina. Assim, independente do meio ácido utilizado, a torta da polpa se assemelha às características de geleificação das pectinas utilizadas comercialmente. Podendo ser usada como agente geleificante, espessante ou estabilizante em produtos alimentícios.

Na Figura 1 são identificados, para as pectinas obtidas da torta da polpa, as bandas da região 1748 cm^{-1} referentes aos grupos carboxílicos esterificados e bandas na região de 1630 cm^{-1} que representam os grupos carboxílicos não esterificados, principais bandas utilizadas para a determinação do GE. Os espectros de FTIR para as pectinas obtidas são apresentadas na Figura 1 como: a (PC1), b (PC2) e c (PC3).



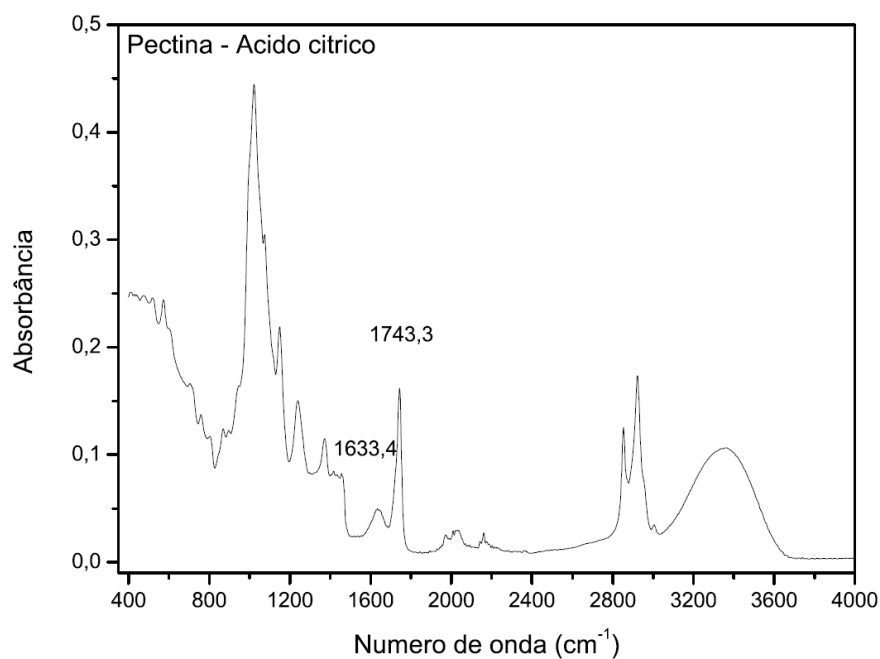
a) Espectro de FTIR para PC1.



b) Espectro de FTIR para PC2.

Figura 1 – Espectros de FTIR para as pectinas extraídas da torta da polpa.

(continua)

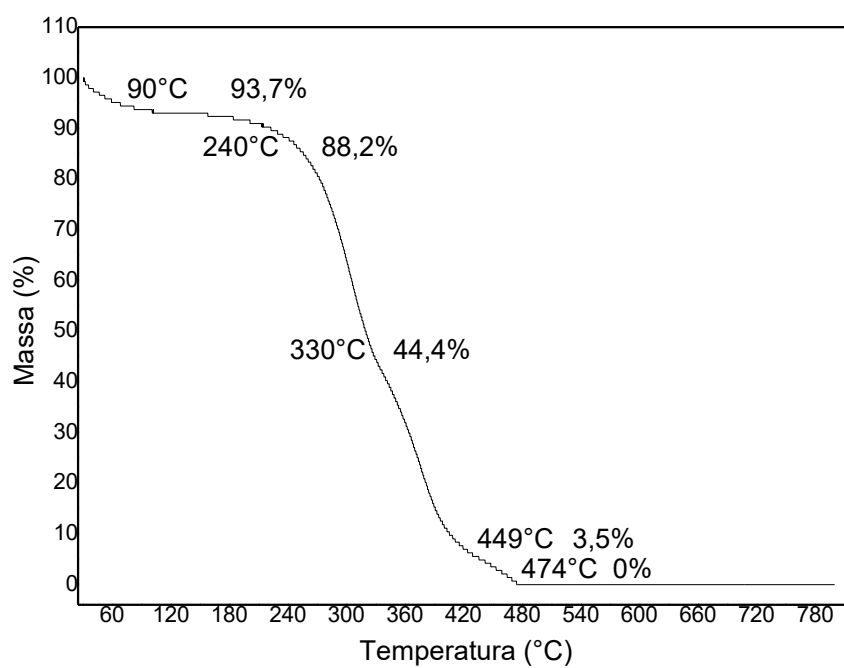


c) Espectro de FTIR para PC3.

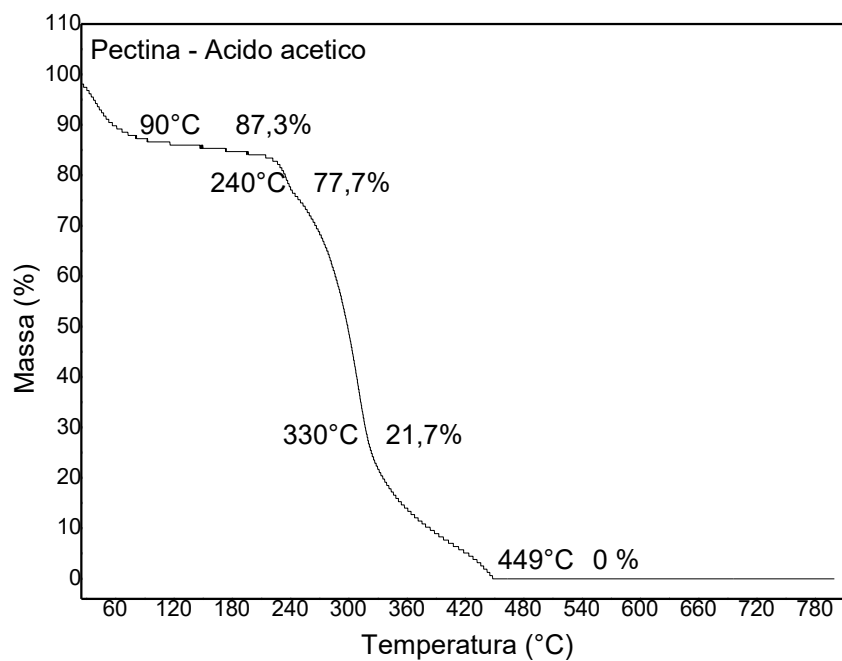
Figura 1 – Espectros de FTIR para as pectinas extraídas da torta da polpa de macaúba por meio de ácido clorídrico (a), ácido acético (b) e ácido cítrico (c)

4.3 Análise Termogravimétrica e Calorimetria Diferencial Exploratória

Para investigar o comportamento térmico das amostras das pectinas PC1, PC2 e PC3 realizou-se análise termogravimétrica (TGA) e calorimetria exploratória diferencial (DSC). A Figura 2, apresenta os termogramas das pectinas extraídas da torta da polpa: a) PC1, b) PC2 e c) PC3, respectivamente.

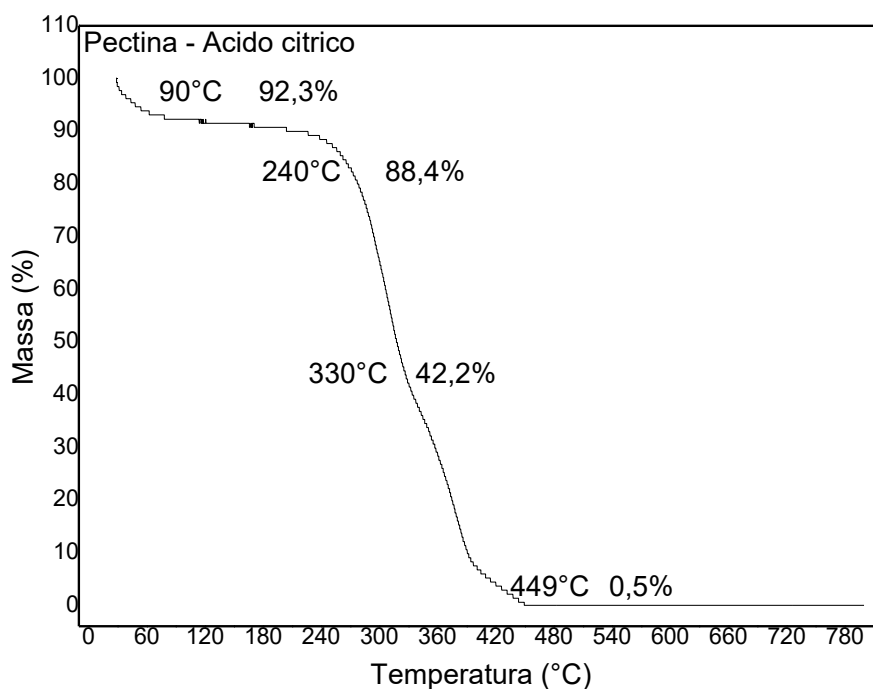


a) Termograma para PC1.



b) Termograma para PC2.

Continua.



c) Termograma para PC3.

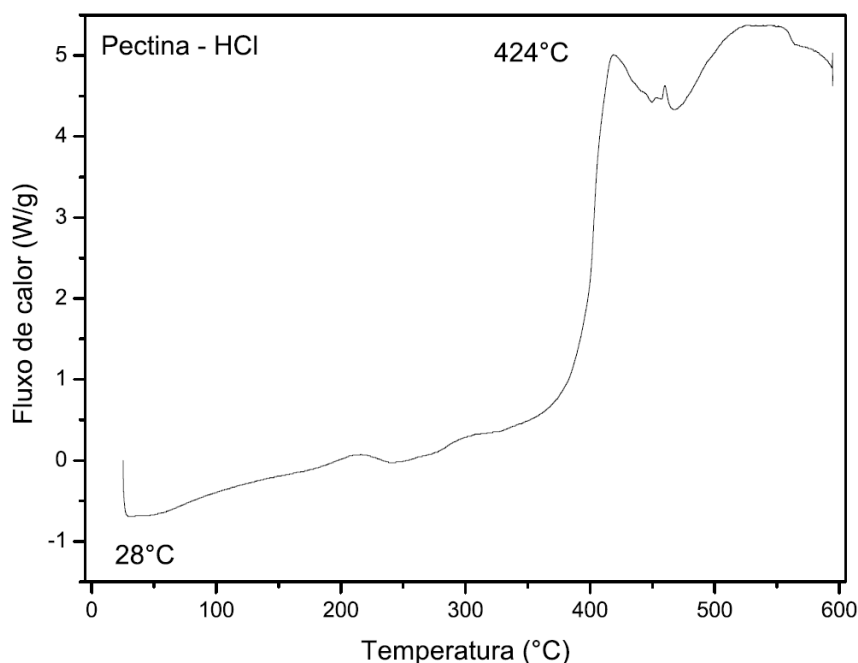
Figura 2 – Termogramas para as pectinas extraídas da torta da polpa de macaúba por meio de ácido clorídrico (a), ácido acético (b) e ácido cítrico (c).

Os valores indicados nas curvas a, b e c, são referentes aos intervalos de temperatura que indicam regiões de comportamento térmico diferenciado. Destaca-se nos termogramas três regiões que se diferenciam quanto a esse comportamento. Denomina-se Região 1, onde ocorre pequena perda de massa, identificada para o intervalo de temperatura entre 20 e 90°C. Essa região está relacionada com a degradação de moléculas de água e de outros compostos voláteis. A perda de massa foi em torno de 7% para PC1 e PC2, e 12,7 % para PC3. A Região 2, se refere a ocorrência de perda de massa de maneira mais brusca, identificada neste trabalho para o intervalo entre 240 e 330°C. A perda de massa foi em torno de 43,8% para PC1, 56% para PC2 e 46,2 % para PC3. A região 3, se refere a completa degradação das pectinas. Para PC2 e PC3, essa região ocorre na faixa de 449°C, indicando a completa decomposição pirolítica dessa biomassa. Para a pectina PC1, identifica-se faixas de temperaturas diferentes para as regiões citadas, porém apresenta um comportamento semelhante às pectinas PC2 e PC3. Os resultados indicam que as amostras apresentam um alto grau de pureza, quanto ao teor de matéria mineral,

tendo em vista que houve pirólise total das massas das amostras de pectina ao final da degradação térmica.

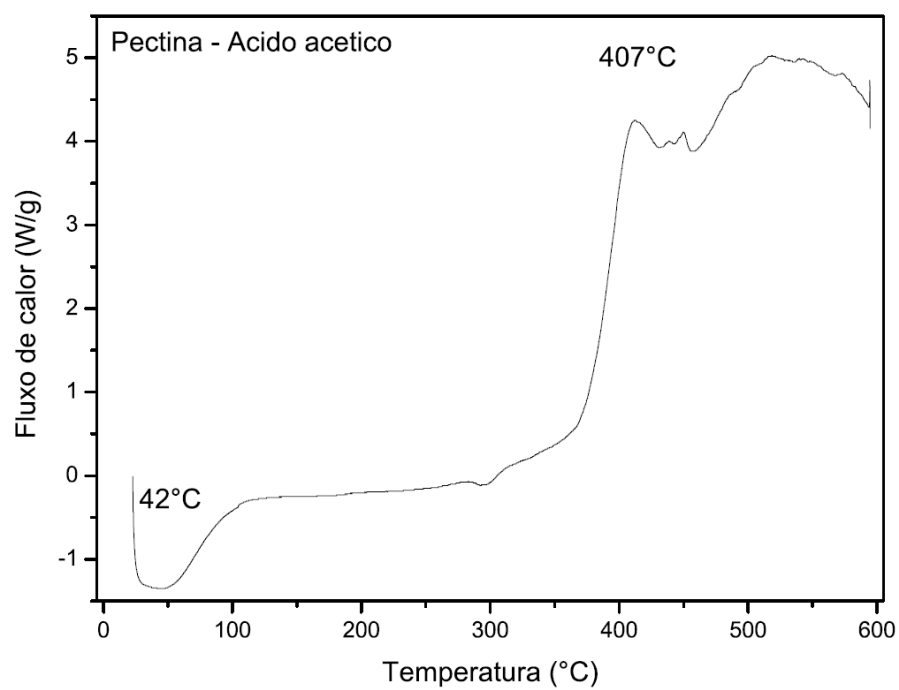
Ezzati et al (2020), para a avaliação termogravimétrica de amostras de pectinas oriundas de subprodutos do girassol, obtiveram a Região 1 entre 50 e 200°C com perda de massa em torno de 15%. A Região 2, obteve perda de massa em torno de 50% entre 200 e 400°C. A Região 3, apresentou 23% de perda de massa da amostra na faixa de 400 a 600°. Esse comportamento indica certo grau de impureza do material. Essa condição pode estar atrelada à metodologia de extração aplicada ou a composição química da amostra analisada. Wang et al(2016) avaliaram as propriedades da pectina da casca da toranja (*Citrus paradisi Macf. cv. Changshanhuoyou*) extraída por via térmica e por ultrassom. Os termogramas mostraram a Região 1 ocorrida no intervalo de 50°C a 190°C. A Região 2 identificada para a faixa de 190 a 400°C, com perda de massa em torno de 50%. A Região 3 apresentou lenta perda de massa entre 400°C e 600°C.

Para a caracterização das amostras das pectinas extraídas da torta da polpa, quanto à análise DSC, as curvas obtidas são apresentadas na Figura 3: a) PC1, b) PC2 e c) PC3, respectivamente.

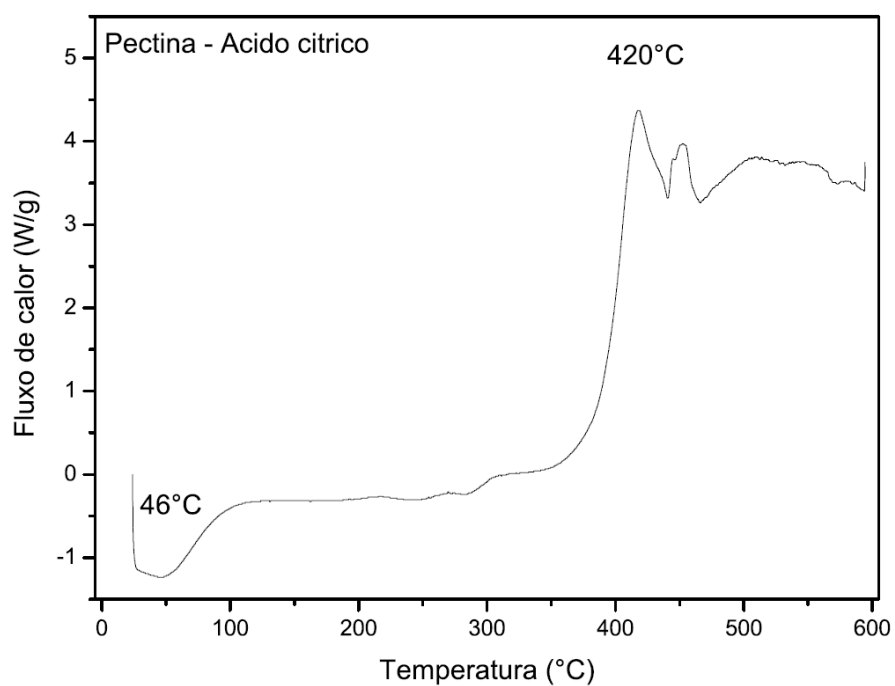


a) Curva DSC para PC1.

Continua



b) Curva DSC para PC2.



c) Curva DSC para PC3.

Figura 3 – Curvas DSC para as pectinas extraídas da torta da polpa.

Os picos endotérmicos para as amostras PC1, PC2 e PC3 ocorreram, respectivamente à temperaturas de 28°C, 42°C e 46°C. Esse pico indica uma transição de fase da estrutura cristalina para uma fase amorfa.

Os picos exotérmicos para as amostras PC1, PC2 e PC3 ocorreram, respectivamente à temperaturas de 424°C, 407°C e 420°C. A transição exotérmica das amostras correspondem à temperatura de degradação da pectina.

Para Wang et al(2016) avaliaram as propriedades das pectinas extraídas da casca da toranja, obtiveram o pico endotérmico a 150°C para a pectina obtida por extração térmica e pico à temperatura de 173° C para a pectina extraída por ultrassom. Ezzati et al (2020), para amostras de subprodutos de girassol obtiveram o pico endotérmico a 102,9°C e 264,4°C para o pico exotérmico. Para esses autores, as temperaturas referentes ao pico endotérmico indicam a influência da evaporação de água, indicando a capacidade do material de reter água.

Para os resultados deste trabalho, verifica-se que a região endotérmica para PC1, PC2 e PC3 indicaram que as amostras estavam completamente isentas de água. As temperaturas de degradação foram maiores e pode estar relacionada com as características estruturais e química da torta da polpa do coco de Macaúba.

5. CONCLUSÃO

As extrações por meio ácido foram efetivas e apresentaram alto rendimento. O ácido acético apresentou maior rendimento com elevado grau de esterificação, 75,29%. O ácido acético oferece grande vantagem por apresentar baixa toxicidade e baixo custo.

Para todas as extrações, o grau de esterificação foi elevado, apresentando teores acima de 50% que caracterizam todas as pectinas com alto grau de esterificação. Essa característica demonstra que as pectinas podem ser empregadas como agentes geleificantes na indústria de alimentos.

Comparado aos resultados reportados na literatura, as análises TGA e DSC das pectinas PC1, PC2 e PC3 apresentaram alta estabilidade térmica, e alta de pureza quanto aos teores de matéria mineral residual, sendo uma fonte alternativa de pectina para uso nas indústrias de alimentos, farmacêutica e de cosméticos.

A torta da polpa do coco Macaúba demonstra grande potencial como fonte alternativa de extração de pectina. Vale ressaltar a importância de valorizar o uso de coprodutos de cadeias produtivas, neste caso o da Macaúba, que possam oferecer pectinas com propriedades funcionais através de metodologias economicamente sustentáveis.

6. REFERÊNCIAS

- AMARAL et al. Extraction, characterization and gelling ability of pectins from Araçá (*Psidium cattleianum* Sabine) fruits, **Food Hydrocolloids**, v. 121,106845,ISSN 0268-005X,2021. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106845>.
- ASSOI, S., et al, G. N., Dodo, H., & Wicker, L. Functionality and yield of pectin extracted from Palmyra palm (*Borassus aethiopum* Mart) fruit. **Food Science and Technology**, 58, 214–221, 2014.
- CALLIARI, C. M.; et al. Métodos alternativos de extração de pectina de subproduto agroindustrial. In: XXV CBCTA - Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2016, Gramado-RS. **Anais do XXV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Porto Alegre-RS: SBCTA, 2016. v. 1. p. 1-1.
- CANTERI, M. et al. Pectina: da matéria-prima ao produto final. **Polímeros**. 22. 149-157. 2012. DOI: 10.1590/S0104-14282012005000024.
- CUI, J., et al. Pectins from fruits: Relationships between extraction methods, structural characteristics, and functional properties. **Trends in Food Science & Technology**. 110 (29), 2021. DOI: 10.1016/j.tifs.2021.01.077.
- EZZATI, S. et al. Pectin from sunflower by-product: Optimization of ultrasound-assisted extraction, characterization, and functional analysis, **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 165, Part A, p. 776-786,ISSN 0141-8130,2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.09.205>.
- FONSECA, F. Cargill inaugura sua fábrica mais tecnológica e coloca País em destaque no mapa global de pectina. **CARGILL**, 2021. Disponível em: https://www.cargill.com.br/pt_BR/2021/nova-fabrica-pectina-brasil . Acesso em: 15, janeiro de 2022.
- IGLESIAS, M. T.; LOZANO, J. E. Extraction and characterization of sunflower pectin. **Journal o Food Engineering**, n. 62, p. 215-223, 2004.
- MONSOOR, M. A., KALAPATHY, U., e PROCTOR, A. Improved method for determination of pectin degree of esterification by diffuse reflectance Fourier transform infrared spectroscopy. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, 49, 2756–2760, 2001.
- MORALES-CONTRERAS, B. Pectin from Husk Tomato (*Physalis ixocarpa* Brot.): Rheological behavior at different extraction conditions. **Carbohydrate Polymers**. 179.2018. DOI: 10.1016/j.carbpol.2017.09.097.
- MUNHOZ, C. L.; SANJINEZ-ARGANDONA, E. J. ; SOARES JUNIOR, M. S. . Extração de pectina de goiaba desidratada. **Ciência e Tecnologia de Alimentos** (Impresso), v. 30, p. 119-125, 2010.

PAGLIARO, M. et al. Pectin production and global market. **Agro Food Ind. Hi-Tech**, v. 27, n. 5, p. 17–20, 2016.

PEDRAZA-GUEVARA, S., et al. Valorization of unripe papaya for pectin recovery by conventional extraction and compressed fluids. **Journal of Supercritical fluids**, v. 171, p. 105133, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2020.105133>

RAKA, A., TAKADA B, K., SAADAT HOSSAIN A. Effect of heat treatment on conformational and structural properties of sugar beet pectin Afsana M. **Carbohydrate Polymer Technologies and Applications** 2 (2021)

SATO, M. F. et al. Chemical and instrumental characterization of pectin from dried pomace of eleven apple cultivars. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, n. 3 , pp. 383-389. 2011.Doi:<<https://doi.org/10.4025/actasciagron.v33i3.7125>

WANG, W. et al. Characterization of pectin from grapefruit peel: A comparison of ultrasound-assisted and conventional heating extractions, **Food Hydrocolloids**, v. 61, p. 730-739,ISSN 0268-005X, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.06.019>.

YAMADA H. Contribution of pectins on health care, **In J Visser, AGJ Voragen** “Pectins and pectinases”, Amsterdam, 1^a edición, 1996.

ZANELLA, K.; TARANTO, O. P.. Influence of the drying operating conditions on the chemical characteristics of the citric acid extracted pectins from -perá sweet orange (Citrus sinensis L. Osbeck) albedo and flavedo. **Journal of Food Engineering**, v. 166, p. 111-118, 2015.DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.05.033>.