

UFRRJ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

DISSERTAÇÃO

**Avaliação de propriedades químicas e físicas da
goma de cajueiro processada por extrusão
termoplástica**

Kelita Carlos Silva Andrade

2012



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS E
TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

**AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES QUÍMICAS E FÍSICAS DA
GOMA DE CAJUEIRO PROCESSADA POR EXTRUSÃO
TERMOPLÁSTICA**

KELITA CARLOS SILVA ANDRADE

Sob a Orientação do Professor Doutor
Carlos Wanderlei Piler de Carvalho

E Co-orientação da Doutora
Cristina Yoshie Takeiti

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos**, no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Área de Concentração em Tecnologia de Alimentos

Seropédica, RJ
Maio de 2012

664

A553k

T

Andrade, Kelita Carlos Silva, 1987-
Avaliação de propriedades
químicas e físicas da goma de
cajueiro processada por extrusão
termoplástica / Kelita Carlos Silva
Andrade - 2012.

61 f. : il.

Orientador: Carlos Wanderlei
Piler de Carvalho.

Dissertação (mestrado) -
Universidade Federal Rural do Rio
de Janeiro, Curso de Pós-Graduação
em Ciências e Tecnologia de
Alimentos.

Bibliografia: f. 55-61.

1. Tecnologia de alimentos -
Processamento - Teses. 2. Caju -
Processamento - Teses. 3. Goma de
cajueiro - Extrusão - Teses. 4.
Goma arábica - Extrusão - Teses. I.
Carvalho, Carlos Wanderlei Piler
de, 1967-. II. Universidade Federal
Rural do Rio de Janeiro. Curso de
Pós-Graduação em Ciências e
Tecnologia de Alimentos. III.
Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS E
TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

KELITA CARLOS SILVA ANDRADE

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologia de Alimentos, área de Concentração em Tecnologia de Alimentos.

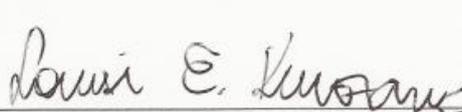
DISSERTAÇÃO APROVADA EM 04/05/2012



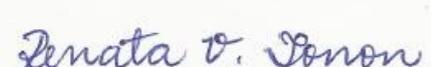
Carlos Wanderlei Piler de Carvalho (Ph.D.) Embrapa Agroindústria de Alimentos
(Orientador)



José Luiz Ramirez Ascheri (Ph.D.) Embrapa Agroindústria de Alimentos
(Membro)



Louise Emy Kurozawa (Dra.) Profa. UFRRJ
(Membro)



Renata Valeriano Tonon (Dra.) Embrapa Agroindústria de Alimentos
(Membro)

DEDICATÓRIA

Aos meus pais e avós pelo apoio e incentivo em todos os momentos. Em especial à minha mãe por todo amor incondicional, carinho, compreensão, dedicação e força de sempre, esta conquista também é dela.

AGRADECIMENTOS

Que seria de um trabalho se não tivesse agradecimentos? Por certo estaria faltando alguma coisa, pois ninguém faz um trabalho sozinho. Dessa forma, agradeço:

A Deus, luz da minha vida, minha inspiração, minha força e meu amigo de todas as horas, por permitir a realização de um dos meus objetivos de vida.

À minha querida e saudosa família, pelo carinho, atenção, incentivo, orientação de vida e compreensão, especialmente aos meus pais, Francinete e Rogério, e meus avós, Maria Carlos e José Luiz.

Aos meus orientadores, Dr. Carlos Piler e Dra. Cristina Takeiti, sem eles nada teria sido possível. Agradeço pela orientação profissional e por todos os recursos disponibilizados, além da amizade, dedicação e exemplo. Palavras são pouco para agradecer.

À Dra. Henriete Azeredo, que mesmo de longe acompanhou todo o processo e nos ofereceu apoio, disponibilizando materiais necessários.

À Vanessa Fiuza e Adriana Minguita, pelo apoio e realização de algumas análises, pela amizade e excelente convivência que tivemos durante esse período.

Devo um agradecimento especial aos amigos Jeferson Corrêa e Camila Mouta, vocês foram imprescindíveis na realização deste trabalho, **MUITO OBRIGADA!**

A todos os profissionais e amigos que conquistei da Embrapa Agroindústria de Alimentos que colaboram com análises, orientações ou simplesmente com palavras de incentivo e apoio: Fábio Barbosa, Bárbara Amorin, Iara Duprat, Marília Stephan Daniele Amaral, Caion Costa, Juan Ruano, Romulo Ferreira, Ronaldo, Thiago Matias, Juliana Oliveira e Simas (Laboratório de Minerais), Mariana Mattos (apoio fundamental para a extrusão), Dr. José Ascheri, Dra. Daniela Freitas, Dr. Ronoel Godoy, Dra. Sidneia de Freitas, Dra. Ana Lúcia Penteado e Dr. Eduardo Walter, entre tantos outros que talvez eu não tenha citado aqui, mas devo minha gratidão.

Aos meus amigos conquistados nesta etapa, meus MELHORES companheiros de estudo, dedicação, trabalho e descontração: Luciana Moura, Felipe Reis, Gabriela Amaral e Rodrigo Tavares.

A todos os professores e coordenadores do PPGCTA-UFRRJ que fizeram parte da minha caminhada, por todo aprendizado, e também à Lucimar, por todo apoio e presteza.

A todos os meus amigos cariocas, que compreenderam minhas ausências e torceram para que tudo ocorresse bem.

A todos os meus amigos cearenses que tive o prazer de conhecer e tenho o privilégio de conviver, os quais souberam abrandar a minha saudade de casa e da minha família, oferecendo apoio, amizade, carinho, companhia, incentivo para minha realização profissional e pela compreensão nos momentos em que precisei ausentar-me, são eles: Viviane de Souza, Ana Elisa Sidrim e família, Camila Stephan e família, João Coimbra Aragão e família, Adriano Lima e Juliana Lima, Jorge Farias e família, Jan Riella, entre tantos outros colegas que fazem parte da minha “família sobralense”.

A todos que diretamente ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho: Muito obrigada!

Deus nos fez perfeitos e não escolhe os capacitados, capacita os escolhidos. Fazer ou não fazer algo só depende da nossa vontade e perseverança.

Albert Einstein

RESUMO

ANDRADE, Kelita Carlos Silva. **Avaliação de propriedades químicas e físicas da goma de cajueiro processada por extrusão termoplástica.** 2012. 61p Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia de Alimentos). Instituto de Tecnologia, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2012.

Países tropicais, como o Brasil, são depositários de uma grande variedade de fontes de polissacarídeos vegetais conhecidos e outros ainda não explorados que possuem grande potencial em aplicações industriais, dentre os quais podemos citar a goma de cajueiro. Algumas pesquisas reportam a possibilidade do uso desta goma em vários setores em substituição à goma arábica devido à semelhança estrutural. Sendo assim, este estudo se propõe a aumentar o conhecimento técnico-científico sobre as propriedades tecnológicas da goma de cajueiro e compará-la à goma arábica para assegurar sua aplicação na indústria de alimentos, especificamente. Para tanto, neste estudo foram realizadas análises de caracterização da goma de cajueiro e arábica, antes e após o processo de extrusão. Foram realizados dois tratamentos: um perfil de baixa temperatura e cisalhamento e outro de alta temperatura e cisalhamento. Nos resultados de composição centesimal notou-se que a goma de cajueiro *in natura* apresentou menor teor de cinzas que a goma arábica comercial, indicando menor grau de impurezas. Além disso, as amostras de goma de cajueiro *in natura* e processadas destacaram-se pelo alto teor de fibra solúvel, cerca de 90%. Por outro lado, a goma de cajueiro apresentou menores teores de minerais que a goma arábica. No perfil de viscosidade foi observado que este parâmetro aumentou nas amostras de goma arábica processadas, enquanto, nas amostras processadas de goma de cajueiro houve redução. A análise de difração de raios confirmou a predominância de conformação amorfa das cadeias poliméricas de ambas amostras. Análises reológicas, por meio da curva de fluxo e viscosidade, permitiram a caracterização das amostras como fluidos pseudoplásticos, obedecendo ao modelo matemático de Ostwald de Waale. As amostras apresentaram redução na temperatura de transição vítrea após a extrusão. Por colorimetria foi observado que os parâmetros de cor entre a goma de cajueiro e a goma arábica foram diferentes ao nível de 5% de significância. A partir dos parâmetros avaliados e dos resultados obtidos, a goma de cajueiro poderia ser indicada como substituta da goma arábica. Entretanto, sugerem-se análises complementares.

Palavras-chave: Goma de cajueiro, goma arábica, extrusão.

ABSTRACT

ANDRADE, Kelita Carlos Silva. **Cashew gum (*Anacardium occidentale*): evaluation of physical and chemical modifications by extrusion**. 2012. 61p. Dissertation (Master Science in Food Science and Technology) Instituto de Tecnologia, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica , RJ, 2012.

Tropical countries such, as Brazil, are the custodians of a great variety of sources of plant polysaccharides known and others not yet explored that have great potential in industrial applications among which we mention the cashew gum. Due to structural similarity between cashew gum and gum Arabic, some studies report the possibility of replacement of them. Thus, this study aims to increase the technical and scientific knowledge on the technological properties of cashew gum and compare it with gum arabic in order to ensure its application in the food industry. Hence, in this study the cashew gum and arabic gum were characterized before and after the extrusion process. Two treatments were do, one profile with low temperature and shear rate and other with high temperature and shear. The results of chemical composition demonstred that the fresh cashew gum had lower ash content than the trade gum arabic, indicating lower impurities. In addition, fresh cashew gum and processed cashew gum were highlighted by the high levels of soluble fiber. However, cashew gum had lower minerals's level that the gum arabic. In the viscosity profile, was observed that it was increased in the gum arabic processed samples, whereas in the cashew gum processed samples decreased. Analysis of x-ray diffraction confirmed the predominance of the amorphous chain of the two samples. Rheometry through the flow and viscosity curves allowed the characterization of the samples as pseudoplastic fluids, according to the mathematical model of Ostwald Waale. The samples showed a reduction in glass transition temperature after extrusion. By colorimetry, was observed that the color parameters of cashew gum and gum arabic were different at the 5% significance level. From the parameters and results evaluated, cashew gum could be indicated as a replacement for gum arabic. However, additional analysis are suggested.

Key words: Cashew gum, gum Arabic, extrusion.

LISTA DE ABREVIações E SÍMBOLOS

A	área de contato (m^2)
AOAC	ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMIST
F	força (N)
h	altura (m)
K	índice de consistência ($Pa \cdot s^n$)
μ	viscosidade aparente (Pa.s)
M_w	massa molecular média
n	índice de comportamento do fluido
η	viscosidade (Pa.s)
τ	tensão de deformação (Pa)
UR	umidade relativa
γ	taxa de cisalhamento (s^{-1})

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Classificação das gomas industriais quanto à fonte	3
Tabela 2	Composição da goma de cajueiro (<i>Anacardium occidentale</i>) de diferentes regiões	8
Tabela 3	Composição da goma arábica de duas fontes diferentes (<i>Acacia senegal</i> e <i>Acacia seyal</i>)	10
Tabela 4	Modelos matemáticos para caracterização reológica	22
Tabela 5	Temperaturas das zonas de aquecimento da extrusora para os tratamentos 1 (T1) e 2 (T2) das amostras de goma arábica	29
Tabela 6	Temperaturas das zonas de aquecimento da extrusora para os tratamentos 1 (T1) e 2 (T2) das amostras de goma de cajueiro	30
Tabela 7	Histórico do processamento da goma arábica extrudada a 200rpm (GAE200), goma arábica extrudada a 400rpm (GAE400), da goma de cajueiro extrudada a 200rpm (GCE200) e da goma de cajueiro extrudada a 400rpm (GCE400)	38
Tabela 8	Composição centesimal em base seca da goma arábica Normal (GA), da goma arábica extrudada a 200rpm (GAE200), da goma arábica extrudada a 400rpm (GAE400), da goma de cajueiro não processada (GC), da goma de cajueiro purificada (GCP), da goma de cajueiro extrudada a 200rpm (GCE200) e Goma de cajueiro extrudada a 400rpm (GCE400)	39
Tabela 9	Perfil de minerais da goma arábica não extrudada (GA), goma arábica extrudada a 200rpm (GAE200), goma arábica	41

extrudada a 400rpm (GAE400), goma de cajueiro não extrudada (GC), goma de cajueiro extrudada a 200rpm (GCE200) e goma de cajueiro extrudada a 400rpm (GCE400)

Tabela 10	Valores do percentual cristalino e amorfo das amostras (GA), (GAE200), (GAE400), (GCP), (GC), (GCE200) e (GCE400) determinados no Software Difraction EVA	45
Tabela 11	Valores do índice de comportamento do fluido (n), índice de consistência (K) e Coeficiente de Regressão (R^2), calculados a partir do modelo reológico Lei da Potência (Ostwald de Waale) das amostras GA, GAE200, GAE400, GCP, GC, GCE200 e GCE400	49
Tabela 12	Valores da temperatura de transição vítrea (T_g) e temperatura de fusão cristalina (T_m) determinadas no Software TA Explore/Q200 do aparelho de DSC	50
Tabela 13	Valores dos parâmetros de cor das amostras de gomas arábica e goma de cajueiro	52

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Goma do cajueiro sendo exsudada	5
Figura 2	Unidades monossacarídicas da composição da goma do cajueiro do Nordeste	6
Figura 3	Representação da estrutura do polissacarídeo extraído do exsudado do cajueiro	7
Figura 4	Diagrama esquemático de uma extrusora	13
Figura 5	Representação gráfica do fluido sob uma tensão cisalhante	19
Figura 6	Representação gráfica da taxa de cisalhamento no fluido	19
Figura 7	(a) Curva de fluxo e (b) curva de viscosidade para fluidos Newtonianos	20
Figura 8	(a) Curva de fluxo e (b) curva de viscosidade para fluidos não-newtonianos	20
Figura 9	Curvas de fluxo ilustrativas do comportamento de diversos fluidos	21
Figura 10	Goma exsudada do cajueiro na forma bruta	25
Figura 11	Matriz circular com furos de 2mm de diâmetro acoplada a extrusora Cleextral Evolun HT25	28
Figura 12	(a) Alimentador automático gravimétrico Shenck PWSD1 e (b) bomba de pistão, responsável pela dosagem de água destilada na segunda zona de aquecimento da extrusora	28
Figura 13	Goma exsudada do cajueiro na forma purificada não extrudada	34
Figura 14	Extrusão da goma arábica nos tratamentos (a) 1 e (b) 2	35
Figura 15	Gráfico ampliado e destacada a área a qual a vazão de alimentação e de água mantiveram-se	35

constantes durante o processamento da amostra
GAE200 no tratamento 1

Figura 16	Gráfico ampliado e destacada a área a qual a vazão de alimentação e de água mantiveram-se durante o processamento da amostra GAE400 no tratamento 2	36
Figura 17	Extrusão da goma de cajueiro (a) GCE200 e (b) GCE400	36
Figura 18	Gráfico ampliado e destacada a área a qual a vazão de alimentação e de água mantiveram-se durante o processamento da amostra GCE200 no tratamento 1	37
Figura 19	Gráfico ampliado e destacada a área a qual a vazão de alimentação e de água mantiveram-se constantes obtido do processo de extrusão da goma de cajueiro no tratamento 2	37
Figura 20	Perfil de viscosidade das amostras de goma arábica não processada (GA), goma arábica extrudada a 200rpm (GAE200) e goma arábica extrudada a 400rpm (GAE400) determinado por RVA	42
Figura 21	Perfil de viscosidade das amostras de goma do cajueiro purificada (GCP), goma de cajueiro extrudada a 200rpm (GCE200), goma de cajueiro extrudada a 400rpm (GCE400) e goma de cajueiro não processada (GC) determinado por RVA	43
Figura 22	Espectros de difração de raio-x das amostras de goma arábica	44
Figura 23	Espectros de difração de raio-x da goma de	44

cajueiro não processada (GC), purificada (GCP), extrudada a 200rpm (CGE200) e extrudada a 400rpm (GCE400)

Figura 24	Imagens microscópicas de 20x de aumento do Rheoscope acoplado ao reômetro rotacional Thermo Haake Mars, durante análise de viscosidade rápida da goma de cajueiro purificada nas temperaturas (a) 50,5°C, (b) 80°C, (c) 80°C e (d) 52,6°C	46
Figura 25	Simulação de viscosidade rápida da goma de cajueiro purificada no reômetro rotacional Thermo Haake Mars	47
Figura 26	Curva de fluxo das gomas arábica e de cajueiro	47
Figura 27	Curva de viscosidade das gomas arábica e de cajueiro	48
Figura 28	Aspecto visual das amostras de goma arábica e goma de cajueiro	53

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos	2
2 REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Gomas	3
2.1.1 Goma de cajueiro	5
2.1.2 Goma arábica	9
2.2 Extrusão	11
2.3 Transição vítrea	15
2.4 Reologia	18
3 MATERIAIS E MÉTODOS	25
3.1 Matéria-prima	25
3.1.1 Goma de cajueiro	25
3.1.2 Goma arábica	25
3.2 Purificação da goma de cajueiro	26
3.3 Preparação das gomas arábica e de cajueiro para extrusão	26
3.4 Extrusão	27
3.4.1 Goma arábica	29
3.4.2 Goma de cajueiro	29
3.5 Composição centesimal	30
3.6 Perfil de minerais	30
3.7 Análise de Viscosidade Rápida	31
3.8 Difração de Raio-x	31
3.9 Calorimetria Diferencial de Varredura	32
3.10 Reologia	32
3.11 Colorimetria	33
3.12 Análise Estatística – teste de Tukey	33
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4.1 Purificação da goma de cajueiro	34
4.2 Extrusão	34
4.3 Composição centesimal	39
4.4 Perfil de minerais	41
4.5 Viscosidade rápida	41
4.6 Difração de raio-x	43
4.7 Reologia	46
4.8 Calorimetria Diferencial de Varredura	50
4.9 Colorimetria	51
5 CONCLUSÃO	54
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

1 INTRODUÇÃO

Os países tropicais, como o Brasil, são depositários de uma grande variedade de fontes de polissacarídeos vegetais, alguns conhecidos e outros ainda não explorados que possuem grande potencial em aplicações industriais. A goma exsudada da árvore de caju pode ser citada como um desses polissacarídeos.

Algumas pesquisas reportam a possibilidade do uso da goma de cajueiro em vários setores, porém, sua aplicação em meio industrial ainda não foi estabelecida. A goma de cajueiro é um heteropolissacarídeo complexo exsudado de árvores de cajueiro (*Anacardium occidentale*) e por sua semelhança estrutural com a goma arábica, tem sido sugerida como substituta.

Embora sua utilização industrial representasse um significativo avanço, especialmente para a indústria alimentícia, devido à semelhança e possível substituição da goma arábica, ainda são necessários estudos detalhados sobre os fatores que afetam a produção da goma de cajueiro e a eventual influência de tais fatores sobre a composição química da goma e nas propriedades tecnológicas. Além disso, é imprescindível a padronização e validação de um processo em escala industrial de purificação ou isolamento desta goma.

A goma de cajueiro, além da semelhança estrutural (ramificações) e química (açúcares componentes) com a goma arábica, tem um importante diferencial: sua alta disponibilidade na região Nordeste do território brasileiro. Além do mais, a exploração da goma do cajueiro geraria lucros mesmo na entressafra do caju. Pensando nisto, pesquisadores da Embrapa, liderados pela unidade Embrapa Agroindústria Tropical, localizada em Fortaleza-CE, elaboraram um projeto de prospecção das aplicações industriais da goma de cajueiro, ao qual esta dissertação está vinculada, visando colaborar com a difusão do conhecimento tecnológico desta goma.

Além do elevado custo, a importação da goma arábica, ocasionalmente está sujeita a dificuldades de fornecimento, relacionadas a problemas climáticos, econômicos e políticos da região produtora. Eventualmente, a consolidação da substituição da goma arábica pela goma do cajueiro e sua padronização comercial elevaria a condição do Brasil a exportador desta goma no mercado internacional. Deste modo, o Brasil livrar-se-ia da dependência de importação de goma arábica, e contaria com um produto altamente competitivo em sua pauta de exportações.

1.1 Objetivos

Contribuir com o conhecimento técnico-científico sobre as propriedades tecnológicas da goma de cajueiro e compará-la a goma arábica para assegurar sua aplicação na indústria de alimentos como possível substituta.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Gomas

As gomas podem ser classificadas em naturais e modificadas. As naturais podem ser obtidas de exsudados de árvore, de sementes, de algas ou por fermentação microbológica. As modificadas são as derivadas de polissacarídeos insolúveis, como por exemplo, a celulose. Na Tabela 1 são apresentados exemplos de gomas industriais classificadas pela fonte.

Tabela 1. Classificação das gomas industriais quanto à fonte.

GOMAS NATURAIS	GOMAS MODIFICADAS
Exsudados de Plantas	Carboximetilcelulose
Goma arábica	Hidroximetilcelulose
Goma caraia	Hidroxietilcelulose
Goma tragacanto	Carboximetilamido
Goma do cajueiro	Acetato de amido
Extraídas de Algas	Hidroxietilamido
Ágar	Hidroxipropilamido
Alginato	Carboximetilguar
Carragenana	Alginato de propileno glicol
Extraídas de Sementes	
Goma guar	
Goma do marmeleiro	
Fermentação Biológica	
Dextrana	
Xantana	

Fonte: BE MILLER, 1987

As gomas são polímeros naturais, formados por unidades de monossacarídeos em arranjos lineares ou ramificados, pertencentes à classe dos carboidratos (BOTELHO, 1999; FENNEMA, 1996). São substâncias translúcidas, inodoras, insípidas, não tóxicas, hidrofílicas, amorfas, com propriedades coloidais, suspensões altamente viscosas (quando suspensas em solventes), com funções espessantes (ligação com moléculas de água), gelificantes (construção de rede, envolvendo zonas de ligação), emulsificantes, estabilizantes e aglutinantes (TOWLE & WHISTLER, 1973). Apresentam também, capacidade de controle de cristalização, inibição de sinerese, encapsulação e formação de filmes (FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2011).

As gomas exsudadas são polissacarídeos produzidos pelas células epiteliais de plantas quando o córtex é agredido por injúrias físicas ou ataque microbiano. A produção do exsudado gomoso é um mecanismo de defesa destas plantas que crescem em áreas semiáridas (FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2011).

Para uso em alimentos, as melhores classes da goma, selecionadas manualmente, são convertidas em pó através de secagem em “spray dryer” após terem sido dissolvidas em água quente e clarificadas, preferencialmente, por centrifugação (STEPHEN & CHURMS, 1995). Goma arábica (*Acacia sp*), goma ghati (*Anogeissus latifolia*), tragacante (*Astragalus sp*) e caraia (*Sterculia urens*) são as gomas comercialmente mais utilizadas (STEPHEN, 2006).

Com exceção do amido e seus derivados, a maioria dos polissacarídeos, apesar de sofrerem hidrólise ácida e enzimática, passam pelo trato gastro-intestinal com pouca ou nenhuma modificação, e são, essencialmente, não calóricos (RODRIGUES *et al.*, 1993; PILNIK & ROMBOUITS, 1985). A hidrólise ácida necessita de uma acidez maior do que a do suco gástrico e/ou de um tempo de permanência maior no estômago. A hidrólise enzimática, quando ocorre, é em pequena extensão, pois não existem enzimas no trato gastro-intestinal capazes de hidrolisar a maioria dos polissacarídeos (WHISTLER, 1973).

As propriedades funcionais das gomas são afetadas pelo tamanho e orientação molecular, ligações iônicas e de hidrogênio, tamanho de partícula, temperatura, concentração e outros fatores (FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2011). Essas propriedades, aliadas a outras, conferem inúmeras aplicações tecnológicas. As principais indústrias consumidoras de gomas hidrossolúveis são: a de detergentes, a têxtil, a de adesivos, a de papel, a de tintas, além da alimentícia, farmacêutica e de cosméticos.

2.1.1 Goma de cajueiro

A goma do cajueiro (GC) é um polissacarídeo exsudado da árvore do caju, que é considerada uma planta de porte alto (6-12 metros). É originária da América Tropical e suas explorações restringem-se a Índia, Brasil, Moçambique, Quênia e Tanzânia. Segundo o IBGE, em 2006, o cultivo de caju no Brasil ocupava uma área de 710.404 hectares e aproximadamente 98% desta área encontra-se no nordeste, abrangendo os estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte (PESSOA *et al*, 2006). E ainda de acordo com dados recentes da FAOSTAT (2010), o Brasil é o maior produtor do pseudo-fruto do cajueiro, tendo arrecadado mais de 1 bilhão de dólares com a produção de caju em 2010.

O principal produto do cajueiro é a castanha, mas existe potencial para a exploração da goma exsudada (DE PAULA, HEATLEY & BUDD, 1998). A goma pode ser exsudada naturalmente ou por incisões no tronco (Figura 1) e nos ramos da árvore (PAULA & RODRIGUES, 1995). Além disso, foi observado que a produção de frutos em árvores com mais de 25 anos aumenta após a extração da goma (SARUBBO, 2000).



Figura 1. Goma do cajueiro sendo exsudada (SARUBBO *et al.*, 2007).

Conforme estudo realizado por Lima *et al* (2001), pode haver aumento da produção da goma a partir da utilização de estimulantes químicos. Foi observado neste estudo que um tratamento com 45% de ácido sulfúrico + 15% de ethephon aumentou em 461% a produção do exsudado em dois meses e que as plantas de 25 anos apresentaram maior produtividade

que as de 12 anos. Os resultados obtidos indicaram que é possível a redução do custo e aumento da produção da goma cajueiro.

Segundo Bandeira (1991), a produção média de goma/árvore/ano é de 700g. Desta forma, tomando em consideração a área de 710.404 hectares de plantio e que o adensamento médio é de 100 plantas/hectare, a possibilidade de produção da goma de cajueiro bruta/ano seria de 50.000 toneladas. Em 2008 a quantidade importada de goma arábica industrializada (purificada e seca) foi de 6.700 toneladas, ao custo de 4,5 US\$/kg (DA CUNHA *et al.*, 2009).

Por possuir características semelhantes à goma arábica, a goma do cajueiro poderia substituí-la na indústria farmacêutica, de cosmético e alimentícia, onde poderia ser empregada como espessante para sucos, cervejas e sorvetes (ROSENTHAL, 1951), emulsificante para molhos e saladas e material encapsulante para microcápsulas (MOTHÉ, 2000).

Estudos demonstraram que a goma extraída de árvores do nordeste brasileiro foi caracterizada como um heteropolissacarídeo ramificado contendo β -D-galactose (72-73%), α -D-glucose (11-14%), arabinose (4-6,5%), ramnose (3,2-4%) e ácido glucurônico (4,7-6,3%) em porcentagem de massa (DE PAULA, HEATLEY & BUDD, 1998). Na Figura 2 estão dispostas as unidades monossacarídicas citadas anteriormente. A goma é composta, sobretudo, de uma cadeia principal de galactose ligada por C-1 e C-3, com ramificações de galactose ligada por C-1 e C-6. A glucose pode formar cadeias laterais e a arabinose, ramnose e ácido glucurônico apresentam-se como grupos terminais (Figura 3) (DE PAULA, HEATLEY & BUDD, 1998).

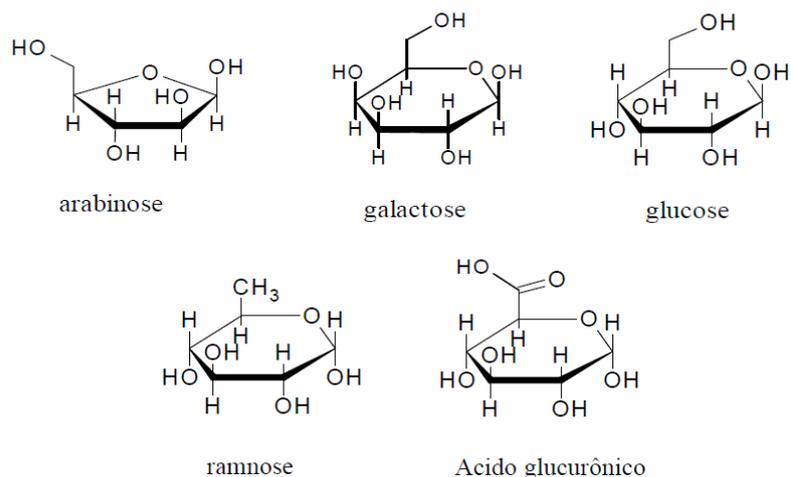


Figura 2. Unidades monossacarídicas da composição da goma do cajueiro do Nordeste (CUNHA *et al.*, 2007).

Tabela 2. Composição da goma de cajueiro (*Anacardium occidentale*) de diferentes regiões.

COMPOSIÇÃO (%)	ÍNDIA	NOVA GUINÉ	BRASIL
Galactose	61	63	73
Arabinose	14	15	05
Glicose	08	09	11
Ramnose	07	07	04
Manose	02	01	01
Xilose	02	-	-
Ácido Glucorônico	06	05	06

Fonte: RODRIGUES *et al.*,1993

A variação dos teores de monossacarídeos de acordo com a região geográfica pode estar relacionada com as diferentes condições de hidrólise durante a análise. Se assim for, os valores baixos de arabinose e ramnose devem-se à instabilidade das pentoses e 6-deoxihexoses. De Paula e Rodrigues (1995) observaram que 5 horas representam o tempo mínimo necessário para hidrolisar todo o material sem degradar a arabinose e ramnose.

O isolamento da goma de cajueiro é definido como a separação de polissacarídeos presente no material bruto. O objetivo do isolamento é obter um material quimicamente homogêneo e com maior rendimento possível. Na busca pela pureza máxima, muitas vezes são aplicados tratamentos drásticos que descaracterizam o material original, alterando a sua estrutura ou sua massa molecular média. Estas alterações ocorrem em presença de ácido, de enzimas e, menos frequentemente, de base. Vários são os métodos de isolamento e fracionamento de polissacarídeos. Envolvem etapas de separação cromatográfica, complexação com íons metálicos ou sais de amônio quaternário, precipitação com etanol ou acetona, liofilização, entre outras (RODRIGUES *et al.*, 1993).

2.1.2 Goma arábica

As gomas de origem vegetal, naturais e sem modificação, são reconhecidas na indústria de alimentos como aditivos de valor incalculável, com propriedades físicas bem definidas. Dentre essas gomas, a mais conhecida é a goma arábica ou goma acácia, que é o exsudado de árvores africanas acácia (predominantemente *Acacia senegal*), crescidas em diferentes áreas geográficas, sendo as principais: Sudão (responsável por 70% da exportação) e Nigéria, países do oeste africano (RANDALL *et al.*, 1989). Devido a sua abundância e grande variedade de aplicação industrial, muitos estudos têm sido desenvolvidos com foco no cultivo, marketing, química e estudo das propriedades físicas dessa substância.

A goma arábica é considerada como um hidrocolóide compacto, ramificado e polidisperso. Neste polissacarídeo estão sempre presentes ácidos carboxílicos, como ácido glucurônico e galacturônico. Estruturalmente, eles podem ser divididos em três grupos principais. O primeiro grupo é composto de uma cadeia principal de unidades de β -D-galactose ligada com cadeias laterais de β -D-galactose e ácido glucurônico. O segundo grupo possui uma cadeia principal de β -D-ácido glucurônico ligado à D-manose, com ramificações de arabinose e ácido glucurônico. O terceiro grupo consiste de uma cadeia de α -D-ácido galacturônico ligado à α -L-ramnose com ramificações de ácido glucurônico e β -D-galactose (DICKINSON, 2003; RANDALL *et al.*, 1988).

A goma arábica contém 12% a 15% de água e várias enzimas ocluídas (oxidases, peroxidases e pectinases) que podem causar problemas em algumas formulações. A goma arábica é composta de duas frações: a primeira composta de polissacarídeos, os quais apresentam pouco ou nenhum material nitrogenado e correspondem a 70% da composição da goma, e a segunda fração composta de moléculas de elevada massa molecular e proteínas integrantes da estrutura, que não são removidas com a purificação. A composição química da goma varia conforme a fonte, conforme Tabela 3 (FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2011).

Tabela 3. Composição da goma arábica de duas fontes diferentes (*Acacia senegal* e *Acacia seyal*).

COMPOSIÇÃO (%)	<i>A. senegal</i>	<i>A. seyal</i>
Galactose	44	38
Arabinose	27	43
Ramnose	13	04
Ácido Glucorônico	14,5	6,5
4-O-metil glucurônico	1,5	5,5
Nitrogênio	0,36	0,15
Massa molecular média (Mw)	380.000	850.000

Fonte: FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2011

Geralmente, a goma arábica é comercializada após realização do processo de secagem por “spray dryer” ou “roller dryer”. Os produtos oriundos destes processos têm uma grande vantagem sobre a goma bruta ou simplesmente moída, pois ficam potencialmente livres de contaminação microbiana e dissolvem muito mais rapidamente (FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2011).

Uma das interessantes aplicações da goma arábica é a preparação de aromas encapsulados em pó. Muitos produtos em pó, comercializados em pacotes, tais como bolos, sobremesas, misturas para sopas e pudins, contêm aromas encapsulados. Durante o processo de secagem por atomização, a goma arábica atua como agente microencapsulante, protegendo os compostos voláteis das temperaturas elevadas e retendo até mesmo os aromas mais delicados. Quando as microcapsulas são dissolvidas para o preparo final do produto, os aromas são liberados no sistema. A goma arábica é facilmente solúvel em água, sem aumentar consideravelmente a viscosidade e é amplamente utilizada como agente emulsificante e estabilizador (TISS *et al*, 2001).

Embora a goma arábica tenha alta massa molecular, apresenta um comportamento reológico newtoniano em meio aquoso (10% na formulação), sendo uma consequência da compactada e altamente ramificada estrutura da molécula. Outros hidrocolóides de massa molecular semelhante apresentam alta viscosidade e comportamento pseudoplástico ou

mesmo tixotrópico. Esta goma é muito estável em meios ácidos e em processos onde altas temperaturas são exigidas (FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2011).

Sobre os possíveis efeitos biológicos e de saúde do consumo da goma arábica, não há consenso científico definitivo, porém, algumas reivindicações para os efeitos biológicos têm sido levantadas. Nos Estados Unidos, a FDA (“Food and Drug Administration”) reconhece-a como um dos alimentos mais seguros (ANDERSON, 1986).

2.2 Extrusão

A extrusão é um processo térmico do tipo H.T.S.T. (“High Temperature In Short Time”) que, por combinação de calor, umidade e trabalho mecânico, modifica profundamente as matérias-primas proporcionando novas formas, estruturas e características funcionais e nutricionais. O processo promove a quebra dos grânulos de amido, a desnaturação e reorientação de proteínas, a inativação enzimática, a destruição de substâncias tóxicas, tais como os inibidores das proteases, e a diminuição da contagem microbiana, para formar um produto de características físicas e geométricas pré-determinadas (SEBIO, 1996). Além disso, proporciona a hidratação de amidos e proteínas, homogeneização, cisalhamento, fusão de gorduras, plastificação e expansão da estrutura alimentar (FELLOWS, 2002).

A extrusão é uma operação unitária que possui algumas vantagens, dentre elas:

- Versatilidade: Reformulando apenas alguns ingredientes e suas proporções, pode-se obter uma grande variedade de produtos. O processo é extremamente flexível e dificilmente poder-se-ia obter produtos por outros métodos semelhantes.

- Menores gastos: A extrusão é um processo produtivo e de baixo custo comparado a outros processos que utilizam calor.

Na extrusão, parâmetros como temperatura, umidade, rotação do parafuso, velocidade de alimentação, tamanho e formato da matriz, tempo e temperatura de secagem, entre outros fatores são aspectos importantes que devem ser monitorados cuidadosamente para se obter produtos de alta qualidade (ASCHERI, 2007).

A transformação do material durante o processo de extrusão ocorre em três etapas:

1. Plastificação: o material sólido em qualquer estado nativo (grânulo ou pó), torna-se líquido e homogêneo pela fusão;

2. Cozimento e a texturização do produto;
3. Modelagem: o material em estado fundido passa através da matriz (COLONNA *et al.*, 1987).

A extrusora contém um parafuso ou rosca sem fim que gira dentro de um cilindro estacionário. Sob condições de alta temperatura, pressão e de forças de cisalhamento, o material é forçado a passar através de uma matriz (BARUFFALDI & OLIVEIRA, 1998).

A extrusora contém diversos elementos básicos que podem ser observados na Figura 4, dentre eles estão (MANRICH, 2005):

- Funil de alimentação: Deve possuir formato adequado para alimentação de diferentes tipos de matérias primas: pellets, pó, fibras, grânulos, etc.
- Canhão e rosca: Devem possuir o comprimento necessário para produzir pressão, plastificação e transmissão de calor.
- Matriz: É colocada na extremidade da extrusora gerando um gradiente de pressão ao longo da rosca e dando forma à massa fundida devidamente plastificada e homogeneizada.
- Rosca: O perfil da rosca, ou seja, a colocação de seus elementos de transporte ou de mistura, deve estar adequada.
- Refrigeração: Deve ser feita nas primeiras zonas (zona de alimentação) para que não ocorra aderência do material na superfície da rosca, o que impediria o fluxo normal e modificaria a vazão da extrusora.
- Controle de temperatura no canhão e na matriz e rotação da rosca: é necessário a fim de que o material extrudado esteja nas condições desejadas.

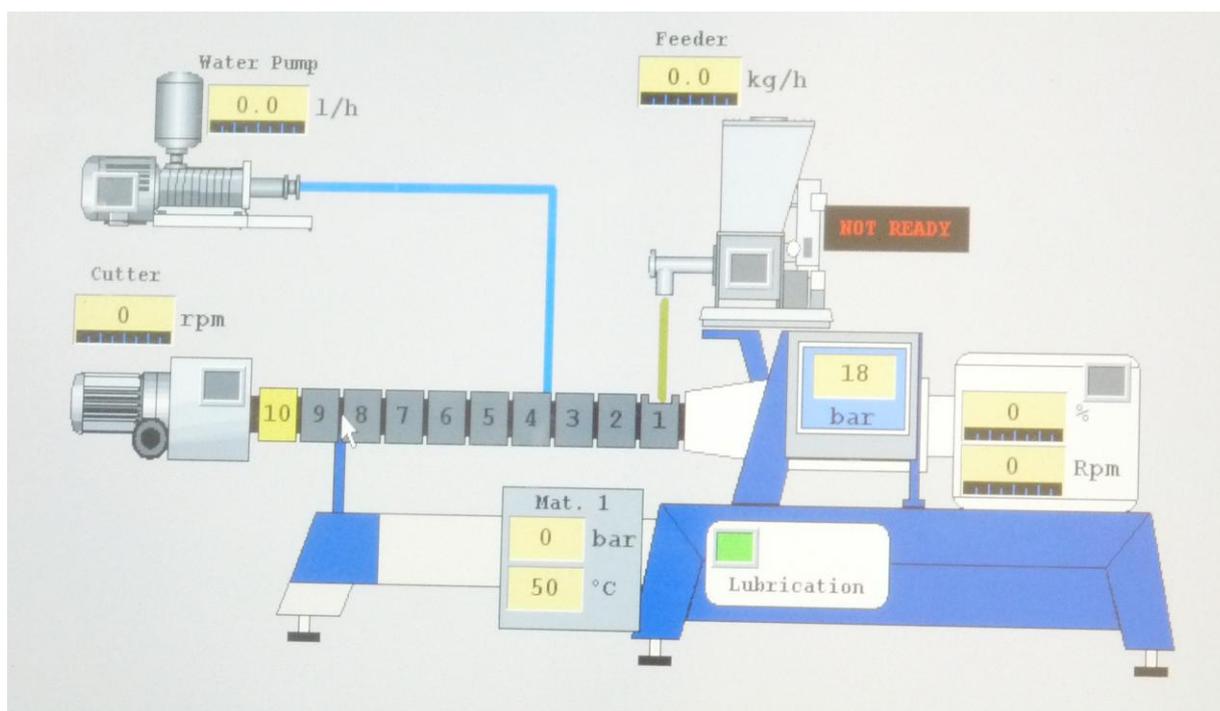


Figura 4. Diagrama esquemático de uma extrusora.

O parafuso apresenta-se como parte central e principal do equipamento, possuindo em sua divisão as zonas de alimentação, transição e alta pressão. O parafuso ou rosca ajuda a regular o grau de cozimento e qualidade final do produto. A rotação do parafuso pressiona o material contra as paredes do cilindro, promovendo um cisalhamento que proporciona uma mistura contínua do material e o conduz pelo cilindro até a matriz, gerando fricção mecânica e calor, que ajudam a fundi-lo (GUY, 1988).

O controle da temperatura em cada uma das zonas pode ser feito por meio de serpentinas de ar comprimido ou camisas de água fria. Muitos cilindros são equipados com sensores de pressão e temperatura para controle do processo (BORGES, 2002).

O mecanismo de corte pode ser acoplado no final da extrusora, sendo constituído por lâminas horizontais ou verticais que, de acordo com a velocidade de giro, determinam o comprimento do produto. Uma maior velocidade vai originar produtos mais curtos. O mecanismo deve prover corte do produto em comprimento uniforme e com superfícies perfeitas (GUY, 1988).

Segundo EL-Dash (1982), o processo de extrusão compreende as etapas de pré-extrusão, extrusão e pós-extrusão. A pré-extrusão inclui a preparação dos ingredientes e sua mistura em proporções adequadas. Após a mistura, o material é transportado para ser condicionado a um conteúdo apropriado de umidade. Na etapa de extrusão, a matéria-prima é introduzida no equipamento através do alimentador, sendo impulsionada pelo(s) parafuso(s)

em direção à matriz. À medida que o produto atravessa as diferentes zonas de extrusão (alimentação, transição e alta pressão), ocorre um aumento gradativo do atrito mecânico, provocado por modificações da geometria do parafuso e abertura da matriz. Em consequência, aumentam também a pressão e a temperatura, ocorrendo o cozimento do produto. A pós-extrusão inclui a secagem dos extrudados para redução da umidade (FELLOWS, 2006).

De acordo com Yacu (1990), as variáveis do processo de extrusão que controlam diretamente os atributos de qualidade são chamadas de variáveis independentes. Estas incluem a composição dos ingredientes alimentares, sua umidade, o tamanho de suas partículas, a velocidade de alimentação do parafuso, a configuração do parafuso e da matriz, a temperatura, a pressão e o tempo de residência. Por outro lado, as variáveis dependentes, ou respostas, mudam como consequência das variáveis independentes e servem para avaliar as propriedades físicas, químicas e funcionais dos extrudados. Entre estas se incluem: densidade, volume específico, atributos sensoriais como aparência, grau de cozimento, avaliado através da susceptibilidade enzimática, viscosidade, índices de absorção e de solubilidade em água, difração de raio-x e calorimetria (YACU, 1990).

O critério mais importante para extrusar uma grande variedade de matérias-primas é a seleção apropriada da configuração da extrusora. Alguns itens são importantes para avaliar o tipo de configuração. São eles: o pré-condicionamento, configuração dos parafusos, velocidade dos parafusos, temperatura do cilindro, adição de água, configuração da matriz e secagem (ASCHERI, 2007).

Segundo Ascheri (2007), cada máquina possui suas próprias características, porém o cilindro e o parafuso requerem específica configuração para um determinado produto. Uma inadequada configuração diminui as possibilidades de controle de alguns parâmetros como velocidade do parafuso e temperatura do barril.

O excesso de calor junto a outros fatores degrada a matéria-prima a compostos de menor massa molecular, incluindo oligossacarídeos e açúcares simples. Neste caso, cada zona do barril deve ser monitorada de tal forma que, ao atingir a temperatura requerida, as zonas deverão ser resfriadas para controlar o calor excessivo gerado pelo efeito da fricção, mantendo a homogeneidade do processo e consequentemente do produto final (ASCHERI, 2007).

Na extrusão de produtos expandidos, a configuração ou desenho da matriz influenciam significativamente na qualidade do produto final (ASCHERI, 2007). A vazão na saída da matriz é influenciada pela velocidade de rotação do parafuso e pela vazão de alimentação. Por

outro lado, a taxa de cisalhamento e a pressão na saída da matriz aumentam quando o número de furos é maior e o diâmetro de abertura é menor.

Dois fatores que mais influenciam a natureza dos produtos extrudados são as propriedades reológicas da matéria-prima e as condições de operação da extrusora (FELLOWS, 2006). As propriedades reológicas da matéria-prima têm importante influência nas propriedades mecânicas e coloração do produto (FELLOWS, 2006). A composição da matéria-prima, seu teor de umidade e tamanho de suas partículas influenciam a viscosidade do produto na extrusora. A viscosidade é um fator crucial, que determina as condições de operação da extrusora, e, portanto, a qualidade do produto final. Diferenças no conteúdo de açúcares e no pH também produzem variação de cor devido a Reação de Maillard (FELLOWS, 2006).

O cisalhamento é influenciado pelo desenho do cilindro, o comprimento, a velocidade e a geometria do parafuso (FELLOWS, 2006). A função, a eficiência e a capacidade de uma extrusora dependem, em larga extensão, do desenho e do revestimento do parafuso, os quais governam o mecanismo de fluxo.

Sereno *et al.* (2007), investigaram o impacto do processo de extrusão sobre o comportamento da goma xantana. Observou-se que o processo de extrusão em condições brandas de temperatura (85-70°C) e com dupla-rosca resultou em um material com melhor dispersão e solubilidade.

2.3 Transição vítrea

As interpretações da relação propriedade-estrutura de ingrediente, produtos e processos alimentícios começaram a ser melhores explicadas a partir da aproximação das pesquisas em Ciências de polímeros com a Ciência de alimentos (LEVINE e SLADE, 1992).

O estado vítreo é uma forma da matéria que mantém a estrutura, a energia e o volume de um líquido, mas cujas mudanças na energia e no volume com a temperatura são similares, em magnitude, às de um sólido cristalino (KAUZMANN, 1948). O material vítreo é um líquido super resfriado de alta viscosidade (acima de 10^{10} - 10^{14} Pa.s) que existe em um estado metaestável, sendo capaz de suportar seu próprio peso em oposição à deformação devido à força da gravidade (LEVINE e SLADE, 1992).

A mais importante mudança, característica do estado amorfo que envolve a transição de um sólido vítreo para um estado borrachudo ou gomoso, ou ao contrário de um estado borrachudo para um vítreo, ocorre na chamada temperatura de transição vítrea (T_g), esta temperatura não é um ponto nitidamente localizado, mas define a região na qual a transformação ocorre (ROSS, 1995a).

A T_g é diferente para cada material e é principalmente afetada por três principais fatores: o material plastificante, a massa molecular e a composição da mistura. Desta forma, a transição vítrea resulta em um índice de comportamento físico e físico-químico, o qual deve ser muito bem investigado devido às conseqüências no processamento e na vida útil dos produtos alimentícios (ROSS e KAREL, 1991c).

A transição de sólido para fluido e a sua volta é conhecida como transição de fases e é importante para vários tipos de operações, como evaporação, desidratação, destilação entre outros. A transição de fases ocorre a temperatura constante através da absorção ou perda de calor latente, e pode ser representado por um diagrama de fases. Opostamente, na transição vítrea não há absorção ou perda de calor latente, apenas a transição de um estado vítreo amorfo para um estado borrachudo ou gomoso, conforme descrito anteriormente (AKCELRUD, 2007).

Termodinamicamente, a T_g é definida como uma transição de segunda ordem (contrária com a fusão de um cristal, que é de primeira ordem), ou seja, as duas fases envolvidas diferem nas segundas derivadas da energia livre, G , em relação à temperatura e pressão, mas não nas suas energias livres por si mesmas ou nas suas derivadas primeiras. Portanto, a transição vítrea é caracterizada pelas discontinuidades no coeficiente de expansão térmica e na capacidade calorífica (KAUZMANN, 1948; LEVINE e SLADE, 1992).

A principal conseqüência da transição vítrea é um aumento exponencial na mobilidade molecular e no volume livre acima da temperatura de transição vítrea (T_g), assim como, mudanças nas propriedades mecânicas e elétricas (ROSS e KAREL, 1991b; ROSS, 1993).

O volume livre, que corresponde ao volume não ocupado pelo material, representa o espaço disponível para o movimento livre das moléculas (FLINK, 1983).

A T_g pode ser determinada por Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC), na qual é utilizado um pequeno calorímetro dinâmico, que é usualmente processado com um programa de temperatura-tempo linear. A determinação da T_g ocorre pela diferença na absorção de energia pela amostra e por um material de referência em função do controle programado da temperatura. Resumidamente, o DSC mede a mudança de entalpia em relação à variação da temperatura (MA, *et al.*, 1990).

Segundo Levine e Slade (1992), em alguns polímeros alimentícios, a Tg aumenta com o aumento da massa molecular do composto. Ross e Karel (1991a) e Levine e Slade (1992) relatam que a temperatura do ponto de pegajosidade (Ts) de pós alimentícios diminui com o decréscimo da massa molecular e, conseqüentemente, do valor de Tg. Considerando que açúcares amorfos são geralmente higroscópicos, eles reduzem a Tg e também a Ts, aumentando a pegajosidade.

Como as gomas contêm uma grande quantidade de monossacarídeos, elas exibem uma baixa Tg e, portanto, uma baixa Ts. A pegajosidade de tais produtos pode ser reduzida, e sua estabilidade no armazenamento aumentada pela adição de componentes com alto valor de Tg, como, por exemplo, o uso de maltodextrinas, conforme o estudo realizado por Takeiti (2007).

A higroscopicidade e os diferentes teores de umidade relativa constituem-se como as principais prioridades para determinação de vida útil e a estabilidade de alimentos ricos em açúcares (DONUELLY, 1973; BOONYAL, *et al.* 2004).

Segundo Peleg (1983) e Ross (1995b), a pegajosidade em pós amorfos é conseqüência do efeito da plastificação da superfície das partículas pela água ou pela alteração de temperatura, que permite um suficiente decréscimo da viscosidade superficial, propiciando a adesão e coesão. Sob as influências do conteúdo de água e/ou alteração da temperatura, um material vítreo se transforma em gomoso quando a viscosidade superficial é reduzida abaixo de 10^8 Pa.s. Ainda de acordo com Ross e Karel (1991b), o início da Ts é cerca de 20°C acima da Tg.

As propriedades físico-químicas dos materiais amorfos são fortemente influenciadas pela transição vítrea e pelo efeito da plastificação da água. O uso da relação entre transição vítrea, teor de água e propriedades tem aumentado a compreensão das propriedades mecânicas dos alimentos, a estabilidade de alimentos congelados, a estabilidade de alimentos de baixa umidade e alimentos em pó e o efeito da transição vítrea sobre reações de difusão controlada, bem como a encapsulação e liberação de componentes encapsulados (ROSS, 1998).

2.4 Reologia

A reologia é a ciência que estuda a deformação e o fluxo dos materiais sob influência de tensões (BARNES *et al.*, 1989). Dentro deste contexto, os materiais podem ser definidos como sólidos ou líquidos. Segundo Schramm (2006), sólidos ideais se deformam elasticamente, ou seja, a energia necessária para a deformação é completamente recuperada quando a tensão é removida. Conforme o mesmo autor, fluidos ideais deformam-se irreversivelmente e fluem sob ação de uma tensão. A energia requerida neste processo é dissipada em forma de calor e não é recuperada quando a tensão é retirada. Desta maneira, na reologia de sólidos, a propriedade de maior interesse é a elasticidade ao passo que em líquidos, a viscosidade é a propriedade mais importante (TONELI *et al.*, 2005).

Entre os dois comportamentos extremos, sólidos e líquidos, existem os materiais que se comportam ora como líquidos ora como sólidos, dependendo da tensão, da frequência ou da temperatura a que são expostos. Estes materiais são denominados de viscoelásticos (BARNES *et al.*, 1989).

Considerando o modelo em que um líquido é composto por várias camadas (Figura 5), quando ele é colocado entre duas placas paralelas e placa superior é deslocada para a direita, a camada do líquido em contato direto com esta placa irá se movimentar enquanto que a camada em contato com a placa inferior permanecerá em repouso. Porém, em função das interações moleculares existentes, as camadas adjacentes a placa superior também começam a se movimentar na mesma direção com velocidades diferentes, resultando em um gradiente de velocidade, que é conhecido como velocidade de cisalhamento ou taxa de cisalhamento (“shear rate”), cuja anotação é γ (BARNES *et al.*, 1989; SCHRAMM, 2006).

Isaac Newton expressou a lei básica da viscosidade descrevendo o comportamento de fluxo de um líquido ideal através da equação:

$$\tau = \eta \gamma \quad (1)$$

Onde:

τ (tensão de cisalhamento): é a força aplicada tangencialmente sobre a área do líquido, necessária para manter o escoamento do fluido (Figura 5);

γ (taxa de cisalhamento): é o gradiente de velocidade nas camadas líquidas da amostra (Figura 6);

η (viscosidade): é a resistência ao fluxo que os fluidos apresentam (MACHADO, 2002; BARNES *et al.*, 1989).

Desta maneira, a viscosidade pode ser matematicamente expressa como sendo a razão da tensão pela taxa de cisalhamento:

$$\eta = \tau / \dot{\gamma} \quad (2)$$

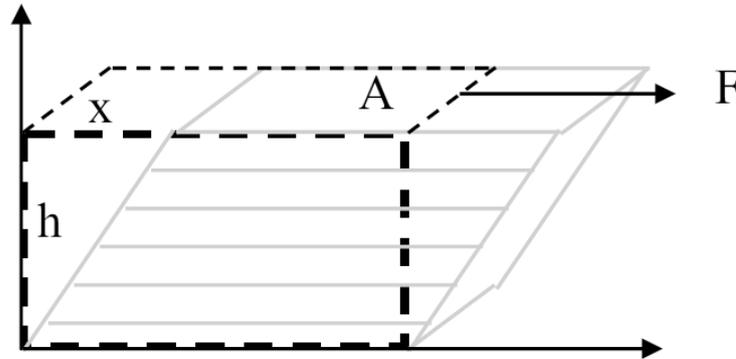


Figura 5. Representação gráfica do fluido sob uma tensão cisalhante. Onde: h = distância entre as placas; x = placa superior; A = área de contato da placa com o líquido; F = força aplicada tangencialmente à placa superior.

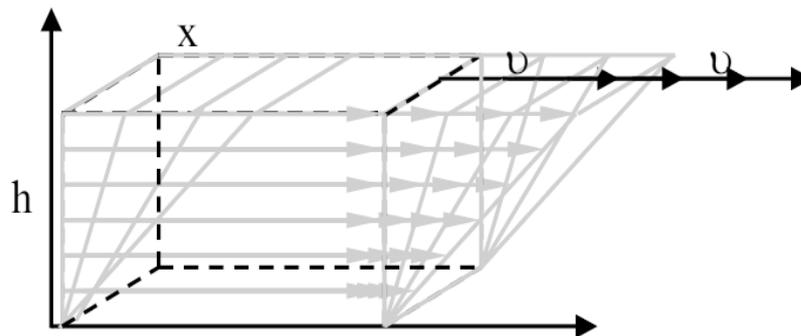


Figura 6. Representação gráfica da taxa de cisalhamento no fluido. Onde: h = distância entre as placas; x = placa superior; v gradiente de velocidade das camadas do fluido.

Quando os fluidos seguem a lei de Newton da viscosimetria, a viscosidade não depende da taxa de cisalhamento, ou seja, se mantém constante (Figura 7b) e o fluido é denominado de newtoniano. O que ocorre, porém, com a maioria dos fluidos é que a viscosidade varia dependendo da taxa de cisalhamento e, desta maneira, eles são denominados de não-newtonianos (Figura 8).

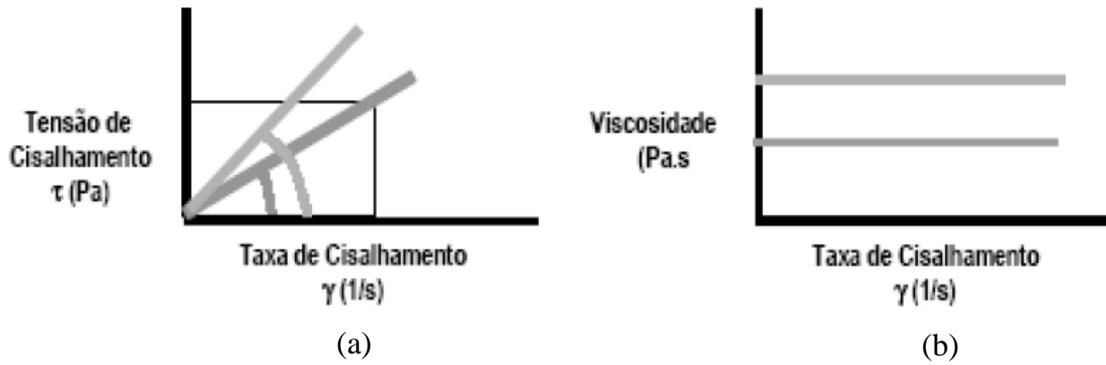


Figura 7. (a) Curva de fluxo e (b) curva de viscosidade para fluidos newtonianos (MACHADO, 2002).

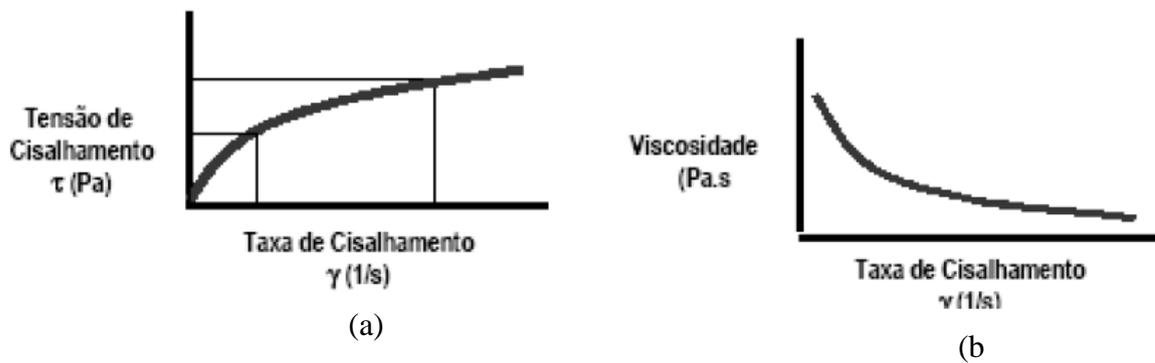


Figura 8. (a) Curva de fluxo e (b) curva de viscosidade para fluidos não-newtonianos (pseudoplástico) (MACHADO, 2002).

Os comportamentos reológicos mais usuais dos fluidos não-newtonianos são: ideal, dilatante, pseudoplástico, plástico, Bingham e Casson. Na figura 9 são ilustradas as curvas de fluxo destes tipos de fluidos (MACHADO, 2002; SCHRAMM, 2006):

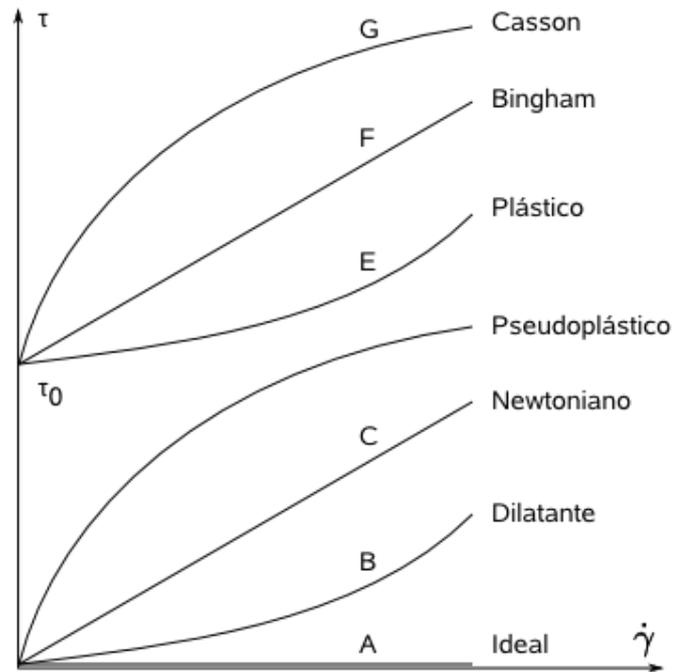


Figura 9. Curvas de fluxo ilustrativas do comportamento de diversos fluidos (MACHADO, 2002).

Onde:

A- Ideal: Não há viscosidade e, portanto, a tensão de cisalhamento é nula em qualquer ponto. É o tipo considerado em modelos teóricos simples de escoamentos (MACHADO, 2002).

B- Dilatante: Apresenta aumento de viscosidade quando a taxa de cisalhamento aumenta (SCHRAMM, 2006).

C- Newtoniano: Comportamento proporcional entre tensão e taxa de cisalhamento.

D- Pseudoplástico: Apresenta uma diminuição na viscosidade quando a taxa de cisalhamento aumenta. Isso ocorre porque, no repouso, as partículas e/ou as cadeias poliméricas que compõem o líquido encontram-se desorientadas, entrelaçadas ou enoveladas, mantendo uma ordem interna irregular que gera uma alta viscosidade. Com o aumento das taxas de cisalhamento, as partículas se orientam em direção ao fluxo e as moléculas poliméricas se desenovelam ou se desagregam e se alinham em direção ao fluxo, isso permite uma maior facilidade de escoamento, apresentando, assim, uma diminuição da viscosidade (SCHRAMM, 2006). Este tipo de comportamento é observado na maioria das soluções concentradas de polissacarídeos.

E- Plástico: Neste tipo de fluido, é necessária a aplicação de uma tensão inicial mínima, que provoque uma ruptura na sua estrutura, para que o material comece a fluir e perder a viscosidade de maneira dependente da taxa de cisalhamento. Ou seja, o sistema apresenta

ligações intermoleculares que formam uma rede e o caracterizam como sólido até que a força externa aplicada seja superior àquela que mantêm esta rede, quando se observa um ponto de ruptura do gel (SCHRAMM, 2006).

F- Bingham: Pode ser considerado um fluido newtoniano com uma tensão inicial maior que zero (τ_0 – “Yield Point”). É o comportamento aproximado de produtos alimentícios com alto teor de gordura (chocolate, manteiga, margarina) (LAPASIN & PRICL, 1995).

G- Casson: Mostra características plásticas, com redução da viscosidade no aumento da taxa de cisalhamento. Aplicável a fluidos como sangue e iogurtes (LAPASIN & PRICL, 1995).

Os fluidos têm seu comportamento de fluxo definido por parâmetros reológicos que são determinados por um modelo matemático particular. Os modelos mais habituais são: Newton, Bingham, Ostwald de Waale ou Lei da Potência e o de Herschel-Bulkley (MACHADO, 2002). Na Tabela 4 estão dispostas as equações dos modelos matemáticos.

Tabela 4. Modelos matemáticos para caracterização reológica.

MODELO	EQUAÇÃO	
Newtoniano	$\tau = \mu \dot{\gamma}$	(3)
Pseudoplástico (Ostwald de Waale ou Lei da Potência)	$\tau = K \dot{\gamma}^n$	(4)
Dilatante	$\tau = K \dot{\gamma}^n$	(5)
Bingham	$\tau = \tau_0 + \mu \dot{\gamma}$	(6)
Plástico (Herschel-Bulkley)	$\tau = \tau_0 + K \dot{\gamma}^n$	(7)
Plástico (Casson)	$\tau^{0,5} = \tau_0^{0,5} + K\dot{\gamma}^{0,5}$	(8)

Onde: τ = tensão de cisalhamento; μ = viscosidade aparente; $\dot{\gamma}$ = taxa de cisalhamento; K = índice de consistência; n = índice de comportamento do fluido; τ_0 = Limite de escoamento (Fonte: MACHADO, 2002).

Cada modelo reológico está associado a certos parâmetros como o índice de consistência (K) e o índice de comportamento do fluido (n) no modelo de Ostwald de Waale, a viscosidade aparente (μ) no modelo de Bingham e o limite de escoamento (τ_0) nos modelos de Bingham, Herschel-Bulkley e Casson.

Segundo Machado (2002), o índice de consistência (K) indica o grau de resistência do fluxo diante do escoamento, ou seja, quanto maior o valor de K , mais consistente será o

fluido, enquanto o índice de comportamento do fluido (n) indica fisicamente o afastamento do fluido do modelo newtoniano; quando este valor está abaixo de 1 indica que o fluido é pseudoplástico, quando está acima de 1 que é dilatante e quando é igual a 1 o fluido é newtoniano. Ainda de acordo com Machado (2002), a viscosidade aparente (μ) é descrita como a viscosidade que o fluido teria se fosse newtoniano, naquelas condições de fluxo. E o limite de escoamento (τ_0) seria a tensão mínima aplicada ao fluido para que haja alguma deformação cisalhante.

Os fluidos não-newtonianos ainda podem apresentar comportamento reológico dependente do tempo, sendo caracterizados como tixotrópicos ou reopéticos. Quando aos fluidos tixotrópicos é aplicada uma tensão, ocorre um decréscimo na viscosidade aparente, que tende a retornar à condição inicial apenas após um tempo de repouso. Em contrapartida, os fluidos reopéticos apresentam um acréscimo na viscosidade aparente com o tempo de aplicação da tensão e a viscosidade inicial tende a ser recuperada apenas após o repouso (TONELI *et al*, 2005).

O estudo reológico de alimentos permite a indicação de propriedades sensoriais e texturais sobre o alimento. Além disso, o estudo do comportamento reológico de polímeros naturais é importante, uma vez que estes são aplicados em diferentes ramos da indústria. Os polissacarídeos apresentam várias características interessantes tais como biocompatibilidade, biodegradabilidade, bioadesividade e, em geral, não apresentam toxicidade. Eles têm a capacidade de modificar as características das soluções aquosas por espessar, emulsificar, estabilizar, além de serem capazes de formar géis, filmes e membranas (LAPASIN & PRICL, 1995; MARTIN, 2003). Essas propriedades envolvem diferentes mecanismos de associação entre cadeias, as quais dependem das características individuais (arranjos moleculares) de cada polímero. Sendo assim, géis e soluções de diferentes polímeros apresentarão formas e texturas diferentes, podendo ser aplicados em diferentes tipos de indústrias (TONELI *et al*, 2005).

Dentre os polissacarídeos industriais mais utilizados estão o amido e seus derivados, pectinas, carragenanas, agar, alginatos, polissacarídeos microbianos (ex.goma xantana) e as gomas de origem vegetal (mucilagens de sementes e gomas de exsudados).

Sobre os estudos reológicos, poucos foram realizados com a goma de cajueiro. De Paula & Rodrigues (1995) sugeriram que a goma teria comportamento newtoniano. Botelho (1999) também obteve resultados semelhantes. Porém, Zakaria & Rahman (1998) constataram que a goma do cajueiro possuía comportamento pseudoplástico. Mothé & Rao (1999), em estudos sobre o comportamento reológico de dispersões de gomas de cajueiro e arábica,

confirmaram o mesmo comportamento pseudoplástico observado por Zakaria & Rahman (1998), para ambas as gomas, em uma faixa de taxas de cisalhamento de 1 a 300 s⁻¹.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Matéria-prima

3.1.1 Goma de cajueiro

A goma *in natura* exsudada do cajueiro (Figura 10) foi proveniente dos campos experimentais da Embrapa Agroindústria Tropical-Fortaleza/CE. A obtenção do exsudado foi por meio de incisões no tronco dos cajueiros. O material bruto e impuro, contendo gravetos e folhas, foi recebido em duas remessas, a primeira em julho de 2010 (8kg) e a segunda em março de 2011(16kg).



Figura 10. Goma exsudada do cajueiro na forma bruta.

3.1.2 Goma arábica

A goma arábica utilizada no experimento foi gentilmente doada pela empresa IFF Aromas e Fragâncias LTDA (São Paulo, SP), que disponibilizou aproximadamente 10kg de amostra comercial.

3.2 Purificação da goma de cajueiro

O método utilizado para purificação da primeira remessa da goma in natura, cerca de 8kg, foi baseado na metodologia de Torquato *et al.* (2004), reduzida a escala laboratorial. Consiste basicamente em secagem em estufa com circulação a 45°C por 24 horas, trituração em moinho de bolas, dissolução em água destilada (proporção de 1:10 g/mL de goma/água), precipitação do polissacarídeo em etanol PA (proporção de 1:3g/mL de goma/etanol), filtração a vácuo e lavagem do precipitado com acetona PA para posterior secagem do precipitado em estufa com circulação de ar a 45°C (para evaporação do álcool) por 24 horas e novamente trituração em moinho planetário de bolas modelo Pulverisette 5 (Fritsch, Idar-Oberstein, Alemanha).

3.3 Preparação das gomas arábica e de cajueiro *in natura* para extrusão

A goma arábica (GA) não passou por nenhuma etapa de preparação, pois foi obtida na forma comercial.

Na goma de cajueiro (GC), foram necessárias algumas etapas de seleção e preparação da amostra, pois a mesma foi adquirida na forma bruta com presença de impurezas remanescentes. Após a pesagem, iniciou-se a retirada manual das impurezas (gravetos e folhas) em 16kg de amostra. A seleção e preparação do material foram realizadas da seguinte maneira:

- A amostra foi espalhada em uma bancada limpa para retirada manual de gravetos e folhas remanescentes;
- O material foi dividido em duas partes: material aparentemente limpo e material menos selecionado (devido à presença de impurezas aderidas no interior dos agregados da goma). Estes materiais foram codificados como *goma de cajueiro limpa*, contendo 9kg, e *goma de cajueiro menos selecionada*, contendo 6kg. A quantidade de impurezas retirada foi em torno de 1 kg;
- Os dois grupos de amostras de goma foram colocados em um saco de pano e triturados manualmente com auxílio de uma marreta, pois os grumos exsudados apresentavam tamanho mediano e, deste modo, não seria possível a moagem direta no equipamento;

- Após a trituração, as amostras foram moídas em um moinho de disco 3600 (Perten, Huddinge, Suécia), no nível 2. Após este processo foram obtidos 8,3 kg de *goma de cajueiro limpa* e 5,3 kg de *goma de cajueiro menos selecionada* (ambas armazenadas em câmara fria a 5°C).

- A amostra goma de cajueiro menos selecionada continha ainda muitos “fios” de impurezas. Por isso, foram realizadas várias tentativas de moagem e peneiramento, mas ainda era notável a quantidade de impurezas presentes nos 3,8kg de amostra. A separação se tornava difícil devido à semelhante granulometria entre a goma e as impurezas. Sendo assim, optou-se pela extrusão apenas da amostra *goma de cajueiro limpa*;

- Antes do processo de extrusão foi medido o teor de umidade das amostras de GA (goma arábica) e GC (goma de cajueiro). A análise foi realizada em duplicata, em cada análise foi utilizado cerca de 3g de material submetido a temperatura de 105°C, até peso constante, numa balança de infravermelho, modelo MOC-120H (Shimadzu, Kioto, Japão) do laboratório de cereais da Embrapa Agroindústria de Alimentos. Obteve-se valor médio de umidade de 15,1% para a amostra de goma de cajueiro e 11,14% para a amostra de goma arábica.

3.4 Extrusão

A extrusão termoplástica das gomas arábica e de cajueiro foram realizadas em uma extrusora de rosca dupla modelo Evolun HT25 (Clextral, Firminy, França) equipada com motor de 27 kW e matriz circular de 4 furos com 4 mm de diâmetro cada furo (Figura 11) na Planta Piloto de Extrusão da Embrapa Agroindústria de Alimentos. A extrusora foi alimentada de forma contínua por meio de um alimentador automático gravimétrico (Figura 12a) PWSD1 (Shenck, Darmstact, Alemanha), no qual a vazão de alimentação do sólido foi controlada no painel de controle da máquina. A dosagem de água destilada foi realizada por meio de uma bomba de pistão (Figura 12b) acoplada à segunda zona de aquecimento da extrusora, cuja vazão também foi ajustada no painel de controle.

Para a extrusão de ambas as gomas foram planejados dois perfis de processamento: um de baixa temperatura e cisalhamento e outro de alta temperatura e cisalhamento. As condições do perfil mais brando de processamento foram baseadas no estudo realizado por Sereno *et al.* (2007), no qual foi estudado a influência da extrusão no comportamento da goma xantana.

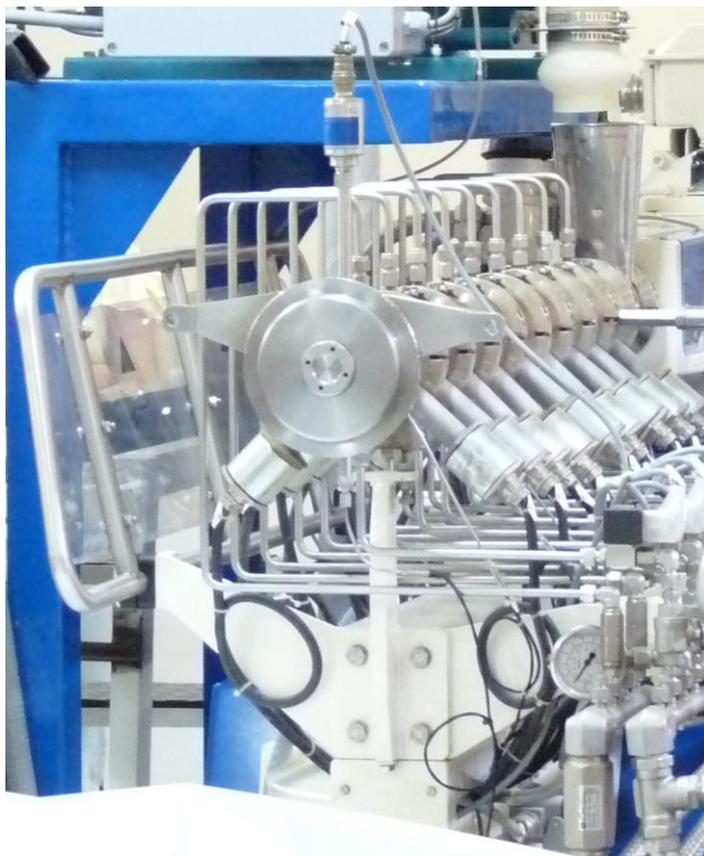


Figura 11. Matriz circular com 4 furos de 4mm de diâmetro acoplada a extrusora Clextral Evolun HT25.

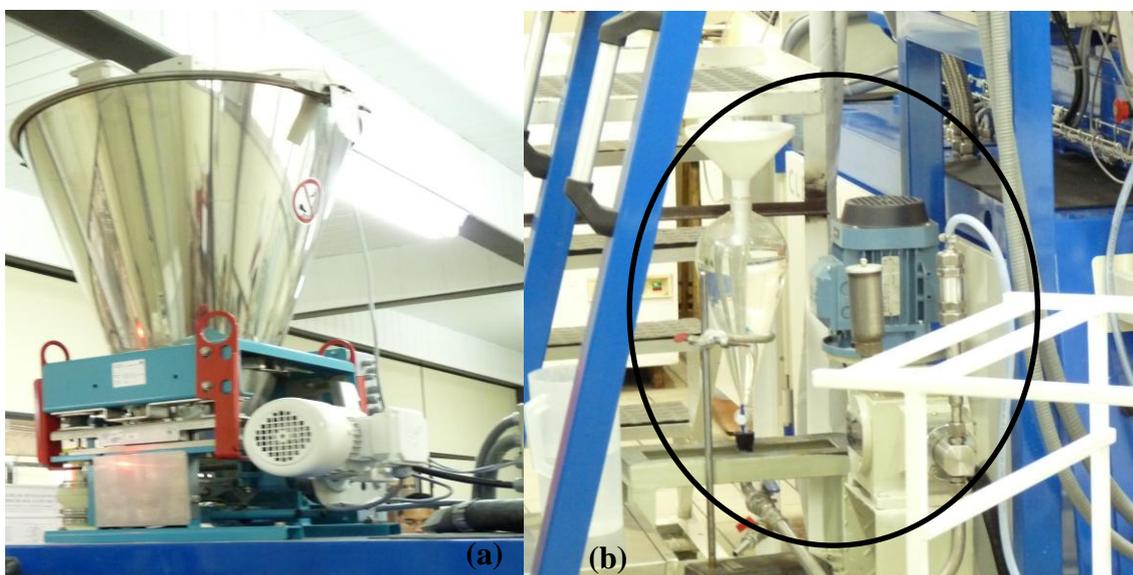


Figura 12. (a) Alimentador automático gravimétrico Shenck PWSD1 e (b) bomba de pistão, responsável pela dosagem de água destilada na segunda zona de aquecimento da extrusora.

3.4.1 Goma arábica

A extrusão da GA foi realizada nas seguintes condições: vazão de alimentação fixada em 6,1 kg/h e a vazão de água fixada em 3,3 L/h. Foram realizadas duas condições de processamento (tratamentos 1 e 2), variando-se o perfil de temperatura, conforme a Tabela 5. No tratamento 1 a rotação dos parafusos foi de 200 rpm e no tratamento 2 foi de 400 rpm, em cada tratamento foi utilizado aproximadamente 1,5 kg de amostra.

Tabela 5. Temperaturas das zonas de aquecimento da extrusora para os tratamentos 1 (T1) e 2 (T2) das amostras de goma arábica.

Zonas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
T1 (°C)	20	30	60	70	70	70	70	70	70	70
T2 (°C)	20	30	60	90	100	100	110	110	115	120

A amostra do tratamento 1 foi codificada como GAE200 (goma arábica extrudada a 200 rpm) e do tratamento 2 GAE400 (goma arábica extrudada a 400rpm). Estas duas amostras foram trituradas em moinho de disco, a fim de aumentar a superfície de contato e facilitar o processo de secagem, o qual foi realizado em estufa com circulação de ar a 60°C durante 5h. Em seguida, as amostras foram mantidas em dessecador com sílica gel por 6 dias. Posteriormente, houve a tentativa de moagem da amostra *GA extrudada alta temperatura* em um moinho de disco 3600 (Perter-Hunddinge, Suécia), nível 3 com malha de 0,8 mm de abertura. Durante a moagem a amostra começou a caramelizar no equipamento. Por isso, optou-se por secá-la por mais 3h a 60°C em estufa de circulação de ar. Após a secagem foi possível a moagem no moinho de discos. Entretanto, ainda foi necessário a moagem em um moinho planetário de bolas modelo Pulverisette 5 (Fritsch, Idar-Oberstein, Alemanha) com rotação de 300 rpm por 10 min, sendo necessário mais 10 min para melhor homogeneização do tamanho das partículas.

3.4.2 Goma de cajueiro

As condições de processamento da GC foram semelhantes as da GA, com vazão de alimentação de 6,1 kg/h e mesmos perfis de temperatura e rotação de parafuso, conforme

Tabela 6. Diferenciou-se apenas a vazão de água que foi reduzida para 2,60 L/h, devido alguns problemas na bomba. Utilizou-se em torno de 1,3kg de amostra para cada tratamento.

Tabela 6. Temperaturas das zonas de aquecimento da extrusora para os tratamentos 1 (T1) e 2 (T2) das amostras de goma de cajueiro.

Zonas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
T1 (°C)	20	30	60	70	70	70	70	70	70	70
T2 (°C)	20	30	60	90	100	100	110	110	115	120

A amostra do tratamento 1 foi codificada como GCE200 (goma de cajueiro extrudada a 200rpm) e do tratamento 2 GCE400 (goma de cajueiro extrudada a 400rpm). Estas duas foram congeladas, na tentativa de mantê-las abaixo da Tg (temperatura de transição vítrea). Posteriormente, colocadas em estufa com circulação de ar a 60°C durante 72 horas para secagem. Após a secagem, as amostras foram moídas em moinho de discos. Em seguida, foram moídas novamente utilizando uma malha de 0,8 mm.

3.5 Composição Centesimal

As análises de composição centesimal foram realizadas para as amostras de GA e GC antes e após extrusão. A umidade foi determinada conforme método 925.09 modificado (AOAC, 2005). Para determinação do teor de proteína foi utilizado o método 2001.11 modificado com fator de conversão 5,75 (AOAC, 2005), para cinzas o método 923.03 (AOAC, 2005), extrato etéreo, método 922.06 (AOAC, 2005), e fibra alimentar 985.29 (AOAC, 2005). Os valores calóricos foram calculados segundo a resolução RDC n°.360 de 23 de dezembro de 2003. As análises foram realizadas no Laboratório de Físico-química da Embrapa Agroindústria de Alimentos.

3.6 Perfil de Minerais

O perfil de minerais das amostras de GA e GC antes e após extrusão foi determinado seguindo a metodologia de mineralização - Bloco digestor Método 997.15D (AOAC 2005), item 9.2.20^a e Quantificação: ICP-OES Método 990.08 (AOAC 2005), item 9.2.39. As

análises foram realizadas no Laboratório de Minerais da Embrapa Agroindústria de Alimentos.

3.7 Análise de Viscosidade Rápida

A viscosidade foi determinada em um analisador rápido de viscosidade - RVA (Newport Scientific, Warriewood, Austrália), do Laboratório de Cereais da Embrapa Agroindústria de Alimentos. A análise foi realizada em duplicata e baseada na metodologia de Becker *et al.* (2001), a qual prediz que a diferença do tamanho de partículas da amostra pode influenciar o resultado. Por isso, os autores sugerem que o material tenha tamanho de partícula entre 106 e 212 μ m. Deste modo, as amostras foram peneiradas em conjunto de peneiras RO-TAP modelo RX-29-10 (W.S Tyler, Mentor, EUA) utilizando-se a fração retida na peneira de 212 μ m.

A quantidade de amostra foi de aproximadamente 3g para cada análise com umidade corrigida para 14% em base úmida e acrescentou-se água destilada até completar 28g. O perfil de temperatura iniciou-se a 25°C com aumento gradual até 95°C, permanecendo constante por 3 min, e sendo resfriado gradualmente até 25°C.

3.8 Difração de Raios-X

Para investigação do arranjo molecular das amostras de GA e GC foram realizadas análises de Difração de Raios-X em um equipamento AXS D2 Phaser (Bruker, Karlsruhe, Alemanha) com potencial elétrico de 30kV e corrente elétrica de 20mA e radiação CuK α com comprimento de onda de 0,154nm. A análise foi realizada baseada na metodologia de WU *et al.* (2010) com intervalo de varredura do ângulo de difração de 2° a 32° (2 θ) com passo de 0,02 e taxa de 1°/6min. Foi utilizado o software DifractionEva[®] (Bruker, Karlsruhe, Alemanha) para determinação do percentual de cristalinidade de cada amostra. O equipamento utilizado na análise pertence ao laboratório de Cereais da Embrapa Agroindústria de Alimentos.

3.9 Calorimetria Diferencial de Varredura

Para investigação da temperatura de transição vítrea (T_g), as amostras de GA e GC com granulometria de $212\mu\text{m}$ foram acondicionadas em dessecador a vácuo com solução de nitrato de magnésio ($\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$) a 54%UR durante 48h a temperatura ambiente. Em seguida, foram colocadas em cadinhos de alumínio herméticos sem adição de plastificante (água). As amostras foram submetidas à análise térmica em um calorímetro diferencial de varredura (DSC) equipado com modelador de temperatura modelo Q200 (TA Instruments, New Castle, EUA), baseada na metodologia de Yu e Christie (2001). O perfil de análise foi composto por três ciclos (aquecimento-resfriamento-aquecimento) com intervalo de temperatura de -80°C a 110°C com taxa de variação de $10^\circ\text{C}/\text{min}$, um cadinho vazio foi utilizado como cápsula de referência. A análise foi realizada no laboratório de Reologia da Embrapa Agroindústria de Alimentos.

3.10 Reologia

Foi realizada uma análise com perfil de temperatura similar a análise realizada no RVA no reômetro rotacional Mars (Thermo Haake, Karlsruhe, Alemanha) acoplando-se um microscópio óptico Rheoscope de 20x de aumento, utilizando-se o software Haake RheoWin v.4 (Thermo Haake, Karlsruhe, Alemanha), a fim de verificação do comportamento das partículas da goma do cajueiro purificada quando submetida a uma taxa de deformação e a variação de temperatura.

Foram realizadas ainda análises de fluxo das amostras de GA e GC com granulometria de $212\mu\text{m}$ utilizando. As amostras foram solubilizadas na concentração de 4% (m/v), sob agitação magnética por 1h a temperatura de 50°C . Devido à baixa viscosidade da suspensão, foi utilizado o sensor “double gap” DG41 DIN 53544TI e “base cup” DG41. Para a curva de viscosidade, a variação da taxa de cisalhamento foi de 0 a 500 s^{-1} , com leitura de 90 pontos com duração de 180s e temperatura de 25°C , controlada por meio de um banho modelo Phoenix (Thermo Haake, Karlsruhe, Alemanha). A metodologia utilizada foi baseada no estudo realizado por Tosin (2008) e o equipamento utilizado pertence ao Laboratório de cereais da Embrapa agroindústria de Alimentos.

3.11 Colorimetria

Análise de cor foi realizada no laboratório de análise sensorial da Embrapa Agroindústria de Alimentos, onde foi utilizado um aparelho Color Quest XE (Reston, EUA), escala CIELAB e CIELCh, com abertura de 0,375mm de diâmetro, com iluminante D₆₅ e ângulo de visão de 10°.

Os parâmetros de cor medidos foram:

L* = luminosidade (0 = preto e 100 = branco)

a* (-80 até zero = verde, do zero ao +100 = vermelho)

b* (-100 até zero = azul, do zero ao +70 = amarelo)

C* chroma= $(a^*2 + b^*2)^{1/2}$ em um sistema de coordenadas polares (9)

h° ângulo hue = $\arctan(b^*/a^*)$ em um sistema de coordenadas polares (10)

As amostras de GA e GC, com granulometria de 212µm, foram disposta em cubeta de Quartzo de 10mm para a realização do teste em quatro repetições. Seguiu-se o procedimento da “Commission International de l’Eclairage (CIE, 1978)”.

3.12 Análise Estatística- Teste de Tukey

As análises estatísticas foram realizadas com intuito de verificar a diferença significativa entre as médias das amostras. Para tanto, realizou-se a análise de variância e nos casos em que foi constatada diferença aplicou-se o teste de Tukey, sempre sendo considerado o nível de significância de 5%. O software estatístico utilizado foi o SAS9.2.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Purificação da goma de cajueiro

Após a purificação de 7,5kg de goma *in natura*, foram obtidos 440g do polissacarídeo isolado, resultando em um rendimento de apenas 6% (Figura 13). O baixo rendimento pode ser atribuído ao aspecto inicial da goma *in natura*, o que não permitiu a moagem adequada da mesma e dificultou sua solubilização em água e posterior precipitação em etanol.

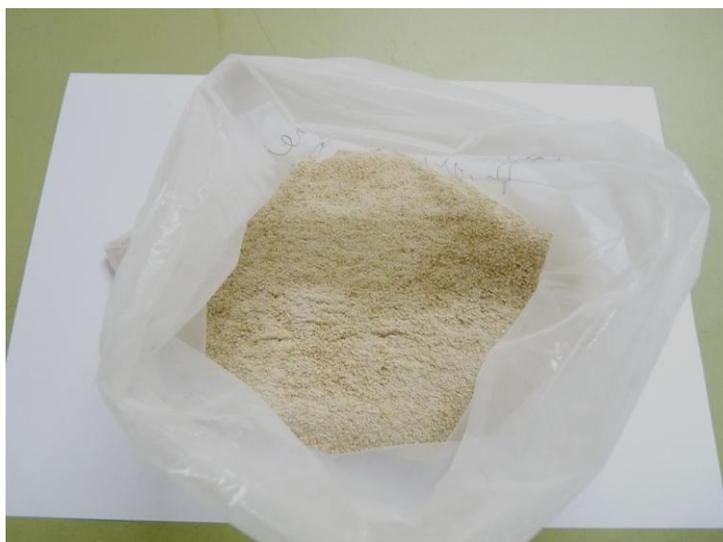


Figura 13. Goma exsudada do cajueiro na forma purificada não extrudada.

Devido ao baixo rendimento do processo de isolamento do polissacarídeo da goma de cajueiro bruta, optou-se pela realização do processo de extrusão como forma alternativa de processamento e modificação da goma *in natura*.

4.2 Extrusão

Primeiramente foi realizada a extrusão da goma arábica. No tratamento 1, perfil de menor temperatura e rotação, o material apresentou fluxo constante e vazão uniforme na saída da matriz (Figura 14a). Já no tratamento 2, perfil de maior temperatura e rotação, o extrudado apresentou menor vazão na saída da matriz, sendo necessária a utilização de uma espátula para sua retirada (Figura 14b).

No tratamento 1 obteve-se rendimento de 60% de goma arábica processada a 200 rpm (GAE200). Enquanto que, no tratamento 2 obteve-se 58% de (GAE400).



Figura 14. Extrusão da goma arábica nos tratamentos (a) 1 e (b) 2.

Nas Figuras 15 e 16 referentes aos tratamentos 1 e 2, respectivamente, o espectro de coloração preta é referente ao torque, a região em destaque e os dados apresentados são referentes ao momento em que a vazão de alimentação e de água permaneceram constantes.

Esses dados foram fornecidos pelo software acoplado à extrusora Cletral®.

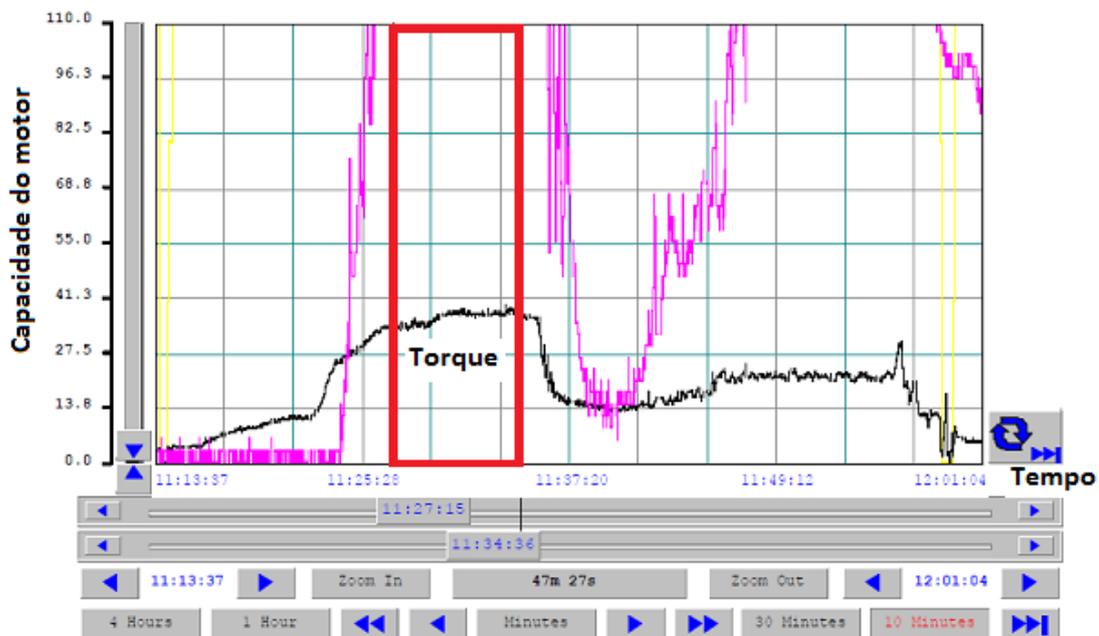


Figura 15. Gráfico ampliado e destacada a área a qual a vazão de alimentação e de água mantiveram-se constantes durante o processamento da amostra GAE200 no tratamento 1.

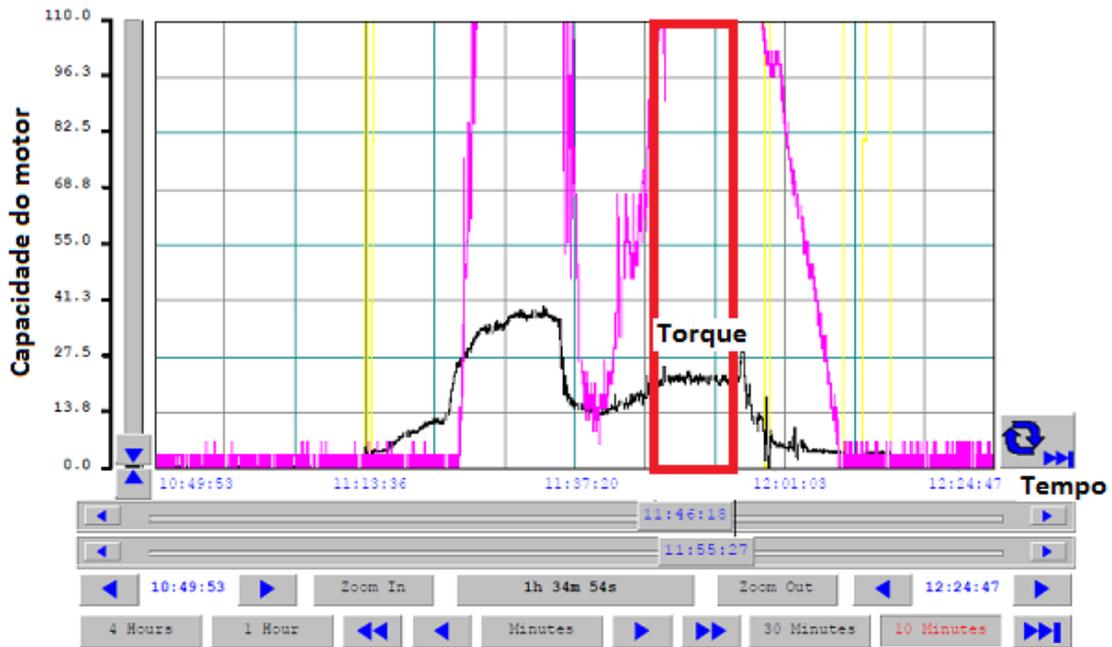


Figura 16. Gráfico ampliado e destacada a área a qual a vazão de alimentação e de água mantiveram-se durante o processamento da amostra GAE400 no tratamento 2.

No tratamento 1 realizado com a goma de cajueiro, a amostra apresentou fluxo constante e vazão uniforme, como pode ser observado na Figura 17(a). Por outro lado, no tratamento 2 houve variação da dosagem de água durante o processamento devido a problemas no bombeamento, o que influenciou a vazão do material processado na saída da matriz, conforme pode ser observado na Figura 17(b).

O rendimento das amostras foi de 47% para goma de cajueiro extrudada a 200 rpm (GCE200). Enquanto no tratamento 2, obteve-se 58% de rendimento de goma de cajueiro extrudada a 400rpm (GCE400).

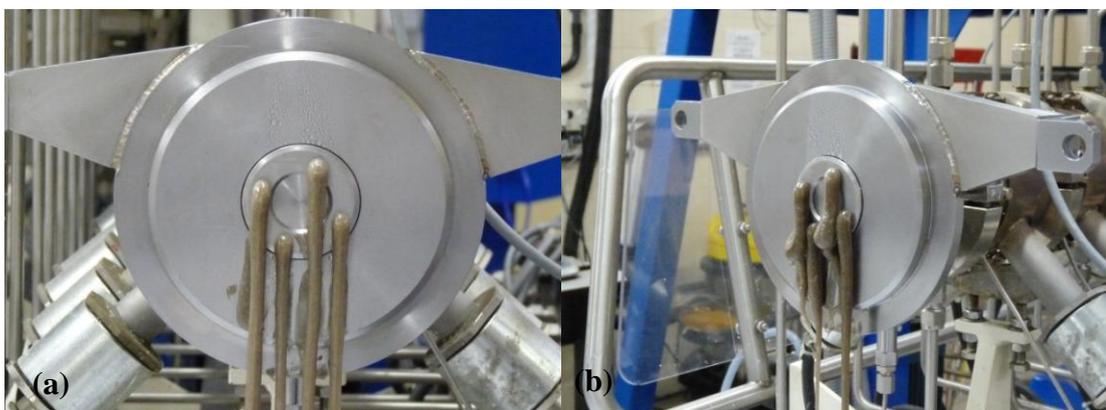


Figura 17. Extrusão da goma de cajueiro (a) GCE200 e (b) GCE400.

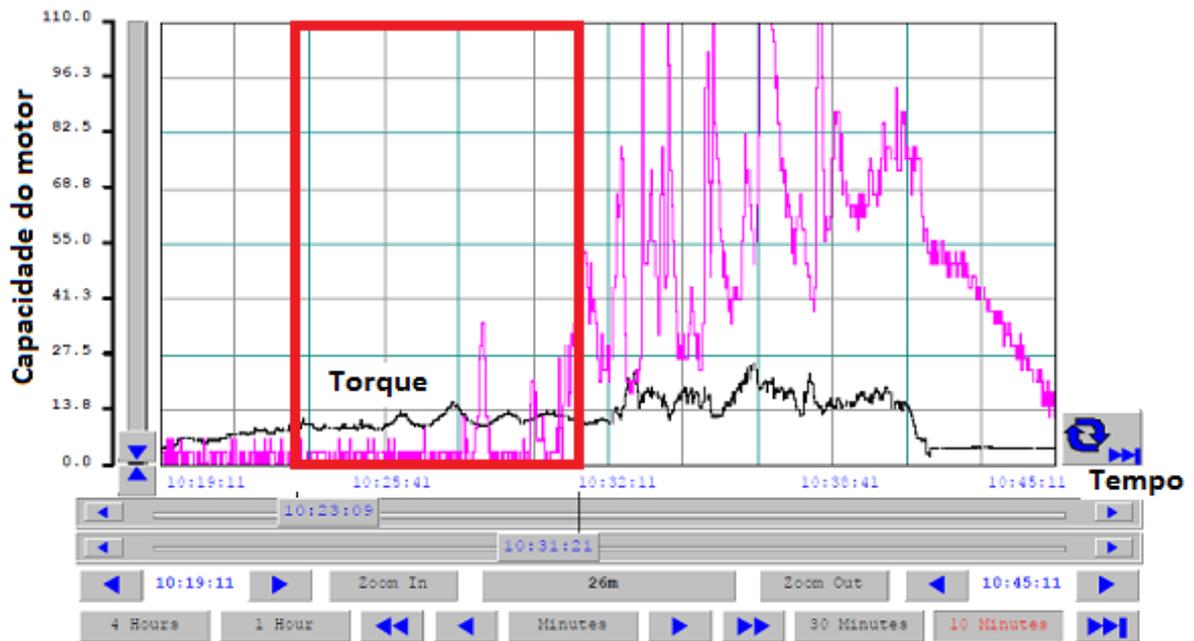


Figura 18. Gráfico ampliado e destacada a área a qual a vazão de alimentação e de água mantiveram-se durante o processamento da amostra GCE200 no tratamento 1.

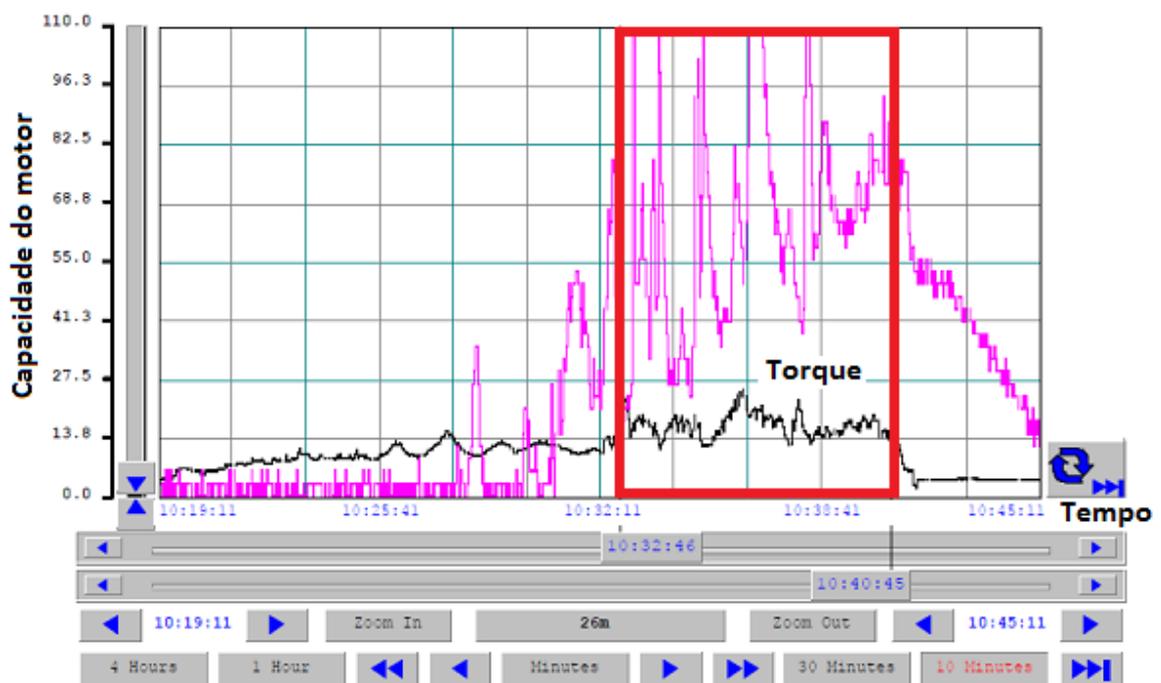


Figura 19. Gráfico ampliado e destacada a área a qual a vazão de alimentação e de água mantiveram-se constantes obtido do processo de extrusão da goma de cajueiro no tratamento 2.

Além dos gráficos apresentados acima, na Tabela 7 constam os históricos do processamento de cada tratamento para cada amostra.

A partir da tabela, observou-se que a amostra GAE200 apresentou maiores valores de torque médio e pressão média de saída do material na matriz do que a GAE400, o que está associado aos perfis de temperatura e cisalhamento. Como a amostra GAE400 foi submetida a maior temperatura e cisalhamento, tornou-se mais favorável a redução da viscosidade devido à “quebra” das cadeias moleculares. Portanto, com a redução da viscosidade, o material apresenta menor resistência ao escoamento, resultando em menor torque e menor pressão na saída do material da matriz.

Por outro lado, para as amostras de goma de cajueiro, constatou-se que a amostra GCE400 (perfil de maior temperatura e rotação) apresentou maior torque médio e a pressão média de saída do material na matriz do que a amostra GCE200. Durante o processamento da GCE400 houve um problema técnico no bombeamento de água. Portanto, podemos relacionar que o valor de torque máximo e de pressão máxima ocorreu quando o valor de vazão de água foi mínimo, pois na condição de menor quantidade de plastificante (água) e alto cisalhamento há retenção do material dentro do barril, resultando em maiores valores de torque e pressão devido a maior resistência do material ao escoamento.

Tabela 7. Histórico do processamento da goma arábica extrudada a 200rpm (GAE200), goma arábica extrudada a 400rpm (GAE400), da goma de cajueiro extrudada a 200rpm (GCE200) e da goma de cajueiro extrudada a 400rpm (GCE400).

Identificação da amostra	Vazão de alimentação (kg)	Vazão média de água (l/h)	Torque médio do parafuso (%)	Pressão na saída da matriz (bar)	Temperatura do material na saída da matriz (°C)	Energia Mecânica Específica (kJ/kg)
GAE200	6,09±0,24	3,3±0	36,65±1,47	6,38±0,68	67,04±0,86	271,52
GAE400	6,00±0,23	3,3±0	21,70±0,75	4,21±0,54	99,24±4,42	449,90
GCE200	4,93±0,11	2,60±0	10,83±1,59	0,76±0,28	63,25±3,04	237,39
GCE400	4,67±0,10	2,60±0	16,86±2,65	1,97±0,81	89,39±4,88	749,08

4.3 Composição centesimal

A composição centesimal das gomas arábica e de cajueiro está apresentada na Tabela 8.

Tabela 8. Composição centesimal em base seca da goma arábica normal (GA), da goma arábica extrudada a 200rpm (GAE200), da goma arábica extrudada a 400rpm (GAE400), da goma de cajueiro não processada (GC), da goma de cajueiro purificada (GCP), da goma de cajueiro extrudada a 200rpm (GCE200) e goma de cajueiro extrudada a 400rpm (GCE400).

	Umidade*	Proteínas*	Cinzas*	Extrato etéreo*	Fibra Alimentar*	Carboidrato*	Valor Calórico**
GA	10,13±0,22 ^a	0,77±0,02 ^a	5,02±0,02 ^a	0,43±0,13 ^a	93,90	-	9,98
GAE200	10,85±0,21 ^{a,b}	0,71±0,01 ^b	4,92±0,18 ^a	0,41±0,09 ^a	94,47	-	9,19
GAE400	11,41±0,20 ^b	0,78±0 ^a	5,67±0,83 ^a	0,40±0,02 ^a	92,81	0,53	12,24
GC	14,8±0,031 ^c	1,21±0 ^c	0,85±0,01 ^b	1,27±0,12 ^b	97,26	-	15,72
GCE200	4,03±0,23 ^d	1,14±0,01 ^d	0,84±0,01 ^b	0,61±0,08 ^a	95,95	0,94	18,51
GCE400	3,55±0,04 ^d	1,19±0 ^c	0,84±0,02 ^b	0,54±0,08 ^a	96,39	0,38	17,03

As médias com letras diferentes na mesma coluna são diferentes no nível de 0,05 no teste de Tukey

*Valores expressos em g/100g

**Valores expressos em Kcal/100g

Após a extrusão, a rápida saída para a temperatura ambiente e redução da pressão causam a evaporação da umidade do extrudado. A quantidade de água perdida durante o processo depende da temperatura da última seção e da geometria da matriz. Em geral, o material perde aproximadamente de 7 a 8% da umidade (FAUBION *et al.*, 1982). Analisando a Tabela 8, nota-se que as amostras processadas de goma de cajueiro (GCE200 e GCE400) tiveram o teor de umidade significativamente reduzido. Por outro lado, as amostras de goma arábica não apresentaram redução no teor de umidade após o processamento. Pradella (2006), ao descrever a goma xantana, pondera que o comportamento de absorção de água está relacionado ao caráter iônico das moléculas da cadeia lateral desta goma.

Comparando-se os componentes da goma arábica (GA) e da goma de cajueiro (GC) não processadas, nota-se que a goma de cajueiro possui maior teor de proteína, de extrato etéreo e valor calórico. Por outro lado, as amostras de goma de cajueiro apresentaram menor teor de cinzas. Tal fato pode estar relacionado ao isolamento do polissacarídeo da goma arábica ou devido à maior concentração de minerais sódio, potássio e cálcio (conforme Tabela 9).

Claramente, nota-se que ambas as gomas são riquíssimas em fibras e que a goma de cajueiro apresentou valores superiores à goma arábica. O teor de fibra de ambas as gomas é superior ao farelo de milho, 87,87% (PROSKY *et al.*, 1988) e à farinha da casca do maracujá, 70,67% (DE SOUZA *et al.*, 2008). Portanto, poderiam ser consideradas um complemento alimentar promissor para esta aplicação, visto que, as fibras são importantes na alimentação por aceleram a passagem dos produtos residuais do organismo, absorverem toxinas, além de manterem o tubo digestivo saudável.

Outro benefício importante das fibras em relação ao trato gastrointestinal é que elas servem de substrato para formação de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC), que fornecem energia para as células intestinais desempenharem bem suas funções (CONPPINI, 2004).

As fibras provenientes de gomas têm a capacidade de se ligar à água e formar géis, resultando em uma camada superficial suave ao longo da mucosa do intestino delgado, servindo de barreira na absorção de alguns nutrientes, atrasando o metabolismo essencialmente de gorduras e açúcares. Isto contribui sobremaneira para estabilização do metabolismo energético, controlando os aumentos bruscos da taxa de glicemia em diabéticos (MÁQUEZ, 2001).

Já foi observado que frutooligossacarídeos (FOS) e goma arábica apresentam efeito sinérgico, quando presentes na mesma solução, pois potencializam o efeito prebiótico, ou seja, estimulam o crescimento das bifidobactérias, responsáveis por inibirem a atividade de outras bactérias que são putrefativas e intoxicantes (DE OLIVEIRA, 2008).

Devido a sua alta massa molar, a goma arábica não possui efeito laxativo (MÁQUEZ, 2001). Em virtude de sua estrutura química, altamente ramificada, dificilmente é degradada pelas enzimas bacterianas, sua fermentação é lenta, assim, a produção de gás é retardada e distribuída pelo cólon sem provocar a sensação de inchaço e distensão abdominal.

4.4 Perfil de minerais

O perfil de minerais das gomas arábica e de cajueiro está apresentada na Tabela 9.

Tabela 9. Perfil de minerais da goma arábica não extrudada (GA), goma arábica extrudada a 200rpm (GAE200), goma arábica extrudada a 400rpm (GAE400), goma de cajueiro não extrudada (GC), goma de cajueiro extrudada a 200rpm (GCE200) e goma de cajueiro extrudada a 400rpm (GCE400).

	Sódio*	Fósforo*	Potássio*	Cálcio*	Magnésio*	Ferro*
GA	5056,69 ±92,85 ^a	30,53 ±1,07 ^a	2961,03 ±27,36 ^a	8829,36 ±19,18 ^a	1326,16 ±19,68 ^a	26,64 ±0,27 ^a
GAE200	5020,64 ±55,01 ^a	32,04 ±1,17 ^{a, b}	2936,64 ±57,22 ^a	8709,78 ±2,64 ^b	1313,69 ±6,43 ^a	190,36 ±35,15 ^b
GAE400	5012,64 ±36,12 ^a	34,64 ±0,2 ^b	2943,00 ±33,01 ^a	8712,47 ±2,64 ^b	1315,48 ±11,86 ^a	317,04 ±4,49 ^c
GC	126,64 ±0,88 ^b	25,80 ±1,33 ^c	396,02 ±3,14 ^b	1246,52 ±3,37 ^c	1115,27 ±12,12 ^b	5,67 ±0,69 ^a
GCE200	142,93 ±1,10 ^b	34,81 ±0,43 ^b	478,85 ±6,51 ^b	1348,06 ±2,06 ^{c, d}	1205,90 ±6,77 ^c	97,26 ±1,56 ^d
GCE400	138,58 ±1,11 ^b	34,91 ±1,27 ^b	463,15 ±6,10 ^b	1385,68 ±5,72 ^d	1222,14 ±1,13 ^c	145,19 ±3,78 ^{b, d}

As médias com letras diferentes na mesma coluna são diferentes no nível de 0,05 no teste de Tukey

* Valores expresso em mg/kg

Conforme a Tabela 9, nota-se que as variações mais significativas ocorreram nos teores dos minerais cálcio e ferro. E ainda, houve maior aumento do teor de ferro das amostras processadas (GAE200, GAE400, GCE200 e GCE400), o que pode estar relacionado à contaminação do material durante o processamento dentro da extrusora.

Observou-se ainda que, a goma arábica é mais rica em sódio, potássio e cálcio.

4.5 Análise de Viscosidade Rápida

A análise de RVA foi realizada com o intuito de investigar o perfil de viscosidade em função da variação da temperatura. Conforme pode ser observado nas Figuras 20 e 21, todas as amostras apresentaram alta viscosidade inicial, o que pode ser atribuído à dificuldade inicial de dispersão das partículas e ao inchamento da cadeia molecular devido ao contato com a água, atuando como solvente da solução. Nota-se ainda que houve uma leve tendência de redução da viscosidade com o aumento da temperatura e sob cisalhamento constante.

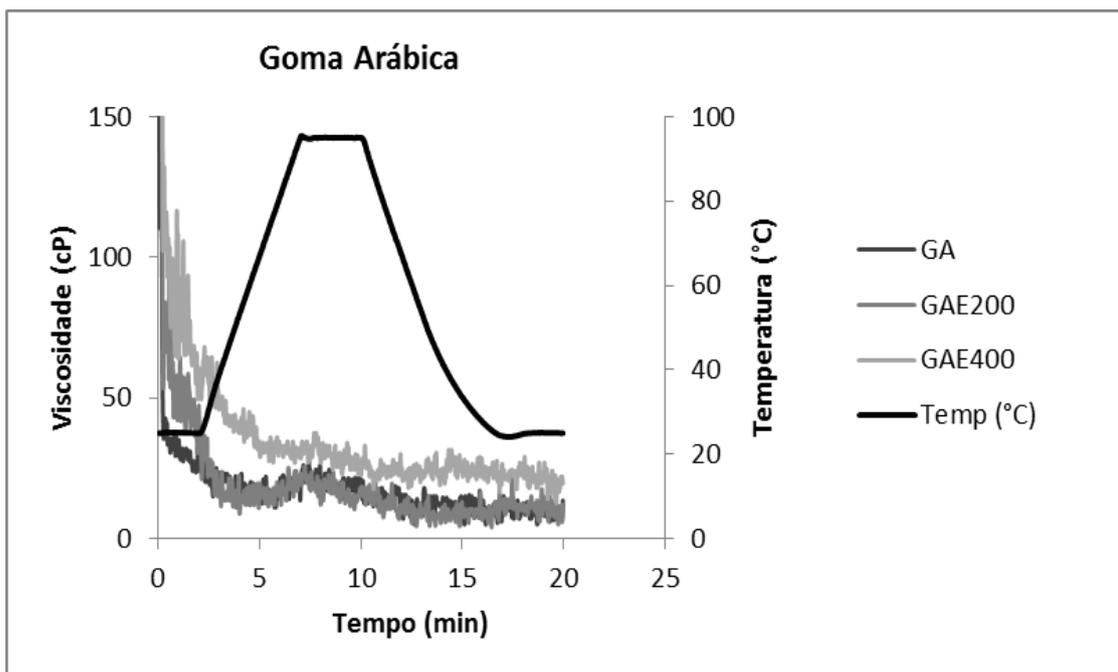


Figura 20. Perfil de viscosidade das amostras de goma arábica não processada (GA), goma arábica extrudada a 200rpm (GAE200) e goma arábica extrudada a 400rpm (GAE400) determinado por RVA.

Na Figura 20, nota-se que as amostras de goma processadas, GAE200 e GAE400, apresentaram viscosidade inicial superior a goma arábica não processada (GA). Em estudo realizado por Sereno *et al.* (2007), também foi observado por RVA que a goma xantana após processamento de extrusão teve aumento da viscosidade. Tal efeito foi relacionado a religação das cadeias laterais, rompidas durante a extrusão, à cadeia principal, resultando na reconstrução da estrutura.

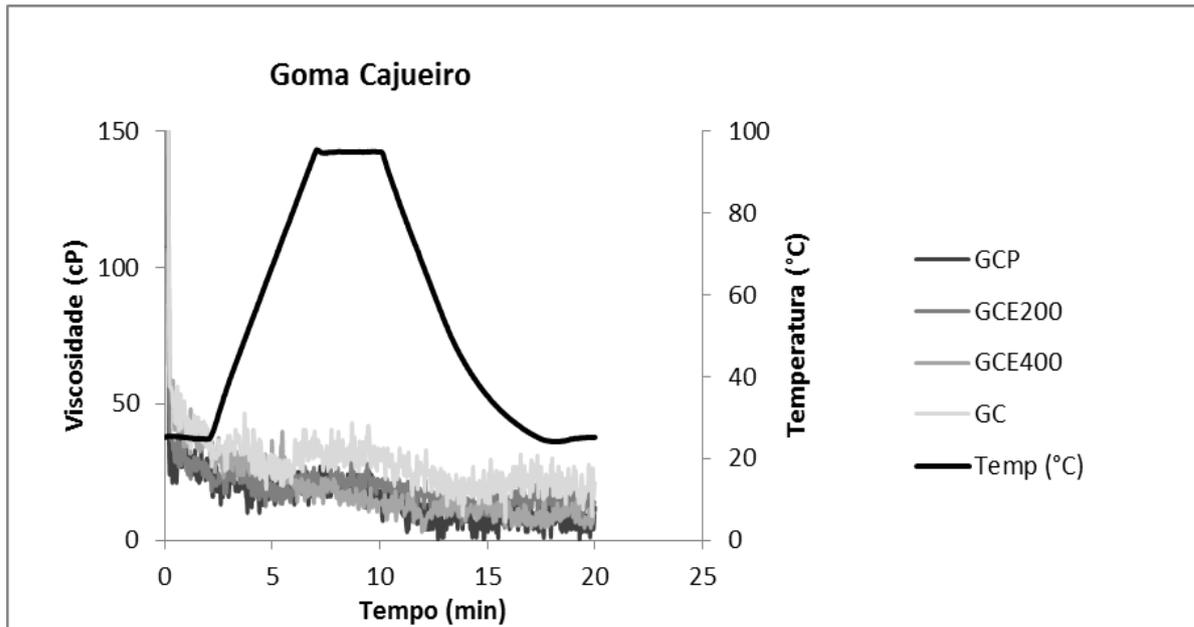


Figura 21. Perfil de viscosidade das amostras de goma do cajueiro purificada (GCP), goma de cajueiro extrudada a 200rpm (GCE200), goma de cajueiro extrudada a 400rpm (GCE400) e goma de cajueiro não processada (GC) determinado por RVA.

As amostras de goma de cajueiro processadas (GCE200 e GCE400) e purificada (GCP) apresentaram menor viscosidade do que a goma de cajueiro não processada (GC). Poderia relacionar tal efeito à redução da massa molecular da goma devido à quebra das cadeias durante o processamento. No entanto, as amostras processadas apresentaram o mesmo comportamento da amostra purificada (GCP), cujo polissacarídeo encontra-se de forma isolada e inalterada. Portanto, não se pode afirmar que a extrusão foi um tratamento drástico que descaracterizou o material original em sua estrutura ou massa molecular.

4.6 Difração de Raio-X

A análise de difração de raio-x foi realizada para verificar a conformação da cadeia molecular de ambas as gomas e a possível influência do processo de extrusão na conformação e orientação dessas cadeias.

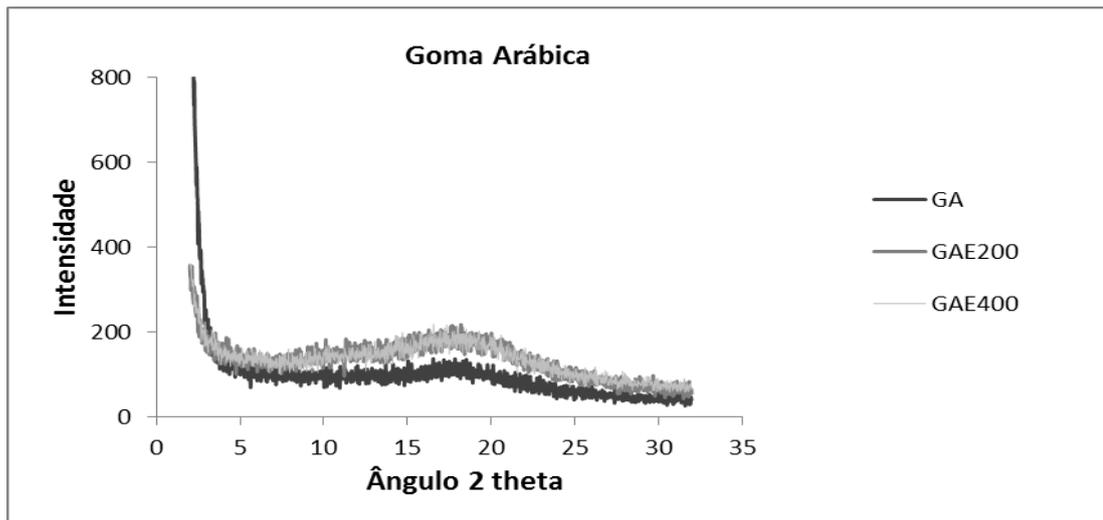


Figura 22. Espectros de difração de raio-x das amostras de goma arábica.

A partir do gráfico da Figura 22, nota-se que a goma arábica possui conformação amorfa, sem significativa modificação após o processo de extrusão.

Já na figura 23, observa-se que a goma de cajueiro apresentou características semicristalinas. Nota-se ainda que, houve alteração da conformação molecular da cadeia das amostras após o processamento, conforme os percentuais cristalinos e amorfos que estão dispostos na Tabela 10.

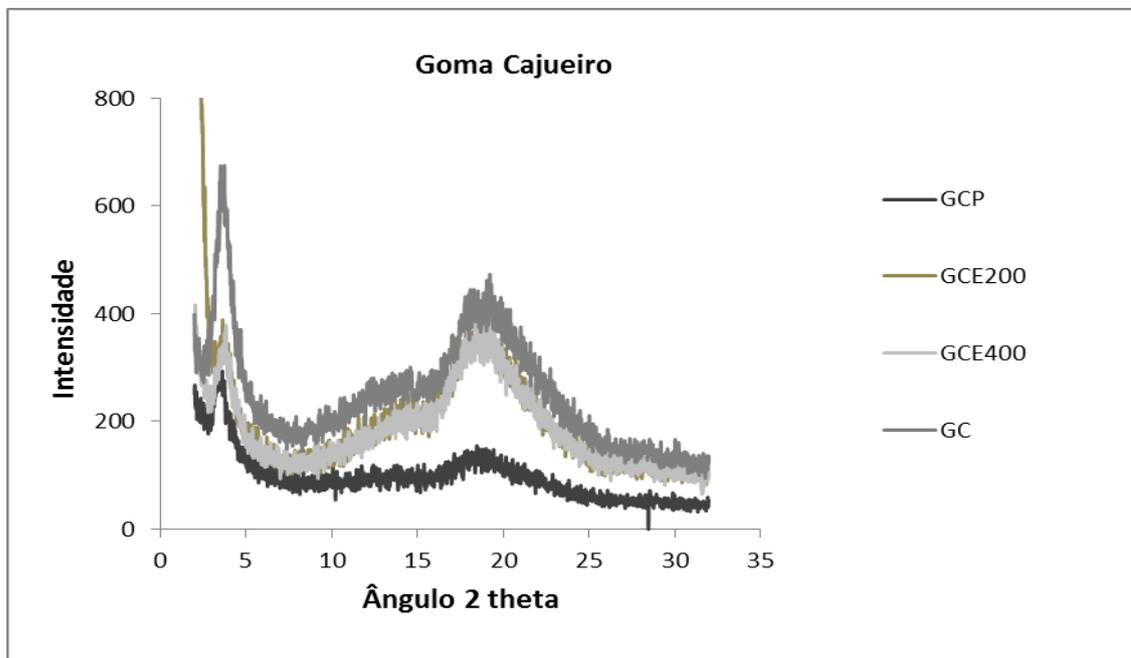


Figura 23. Espectros de difração de raio-x da goma de cajueiro não processada (GC), purificada (GCP), extrudada a 200rpm (GCE200) e extrudada a 400rpm (GCE400).

Tabela 10. Valores do percentual cristalino e amorfo das amostras (GA), (GAE200), (GAE400), (GCP), (GC), (GCE200) e (GCE400) determinados no Software Difraction EVA.

Identificação da amostra	Percentual cristalino (%)	Percentual amorfo (%)
GA	30,5	69,5
GAE200	26,3	73,7
GAE400	24,9	75,1
GCP	39,8	60,2
GC	40,9	59,1
GCE200	32,6	67,4
GCE400	48	52

Na Tabela 10, observa-se que houve uma tendência ao aumento do percentual amorfo das amostras de goma arábica após os dois tratamentos de extrusão realizados, enquanto que, nas amostras de goma de cajueiro apenas a GCE200 apresentou o mesmo comportamento. GC e GCP apresentaram praticamente o mesmo perfil de percentual amorfo, apenas a amostra GCE400 apresentou aumento no percentual cristalino.

O aumento do percentual amorfo pode ser relacionado à mudança na configuração da cadeia, ou seja, durante a extrusão pode ter havido rompimento de ligações químicas e quebras de cadeias e/ou fusão da região cristalina (ROSS, 1998).

Já a conformação cristalina está relacionada a eficiência de compactação da cadeia polimérica e é influenciada pela presença e pelo tamanho de ramificações laterais. Quanto mais regular for o polímero e, em termo de distribuição de grupamento periférico (ramificações), mais propenso será a cristalização.

Áreas de cristalinidade são comuns em alimentos ricos em fibras devido à presença de parede celular, celulose e hemicelulose em sua composição.

A hemicelulose corresponde a um grupo heterogêneo de polissacarídeos ramificados que se ligam firmemente à superfície das microfibrilas de celulose e entre si, cobrindo as microfibrilas e mantendo ligações cruzadas, via ligações de hidrogênio em uma rede complexa, sendo constituída em sua maior parte por galactose, glicose e arabinose/ramnose (SEIBEL e BELEIA, 2008). A celulose é constituída exclusivamente de glicose que forma cadeias por ligações β 1-4, e de ligações de hidrogênio entre as cadeias, com alto grau de polimerização, 2000 a 6000 na parede celular primária e mais de 10000 na parede secundária, produzindo as áreas de cristalinidade (WALDRON; PARKER; SMITH, 2003).

Portanto, o aumento da cristalinidade da amostra GCE400 pode estar relacionado a inúmeros fatores como: constituição química, rigidez molecular, taticidade (posicionamento) das ramificações e massa molecular.

4.7 Reologia

A partir das imagens do Rheoscope (Figura 24) foi observado que não houve mudança significativa no aspecto das partículas dispersas. Além disso, no gráfico da Figura 25 nota-se que a viscosidade também não foi afetada pela variação da temperatura.

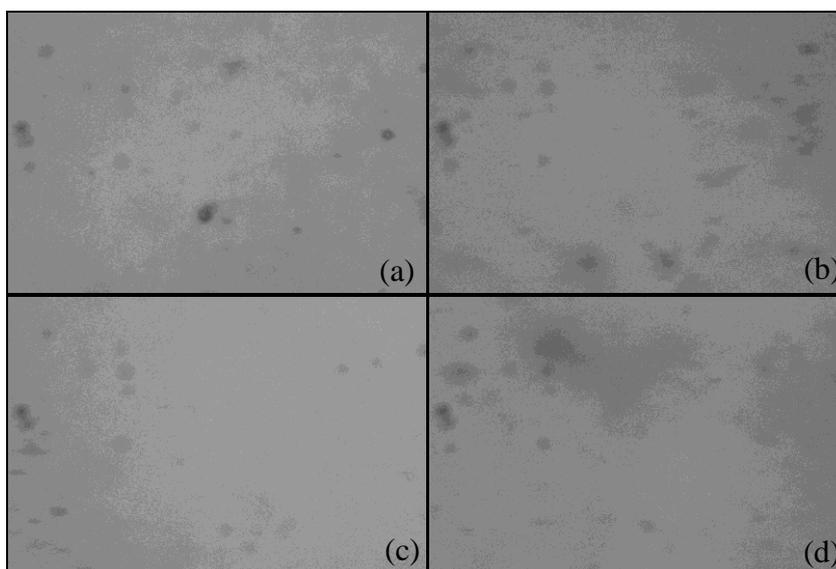


Figura 24. Imagens microscópicas de 20x de aumento do Rheoscope acoplado ao reômetro rotacional Thermo Haake Mars, durante análise de viscosidade rápida da goma de cajueiro purificada nas temperaturas (a) 50,5°C, (b) 80°C, (c) 80°C e (d) 52,6°C.

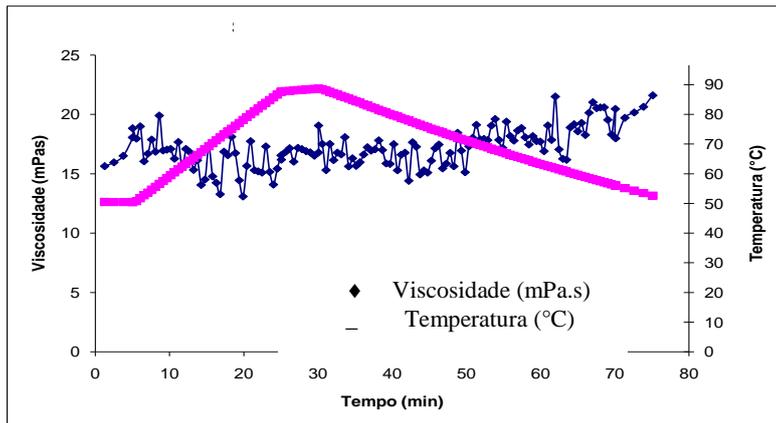


Figura 25. Simulação de viscosidade rápida da goma de cajueiro purificada no reômetro rotacional Thermo Haake Mars.

Para definição do comportamento do fluxo por meio de parâmetros reológicos, determinados por um modelo matemático, foram plotadas as curvas de fluxo e de viscosidade, conforme Figuras 26 e 27, respectivamente.

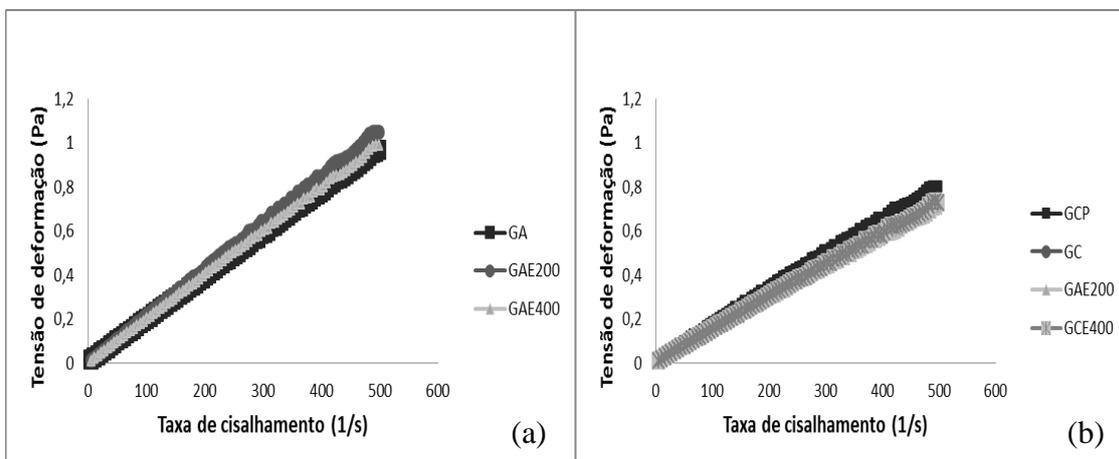


Figura 26. Curva de fluxo (a) da goma arábica e (b) goma de cajueiro.

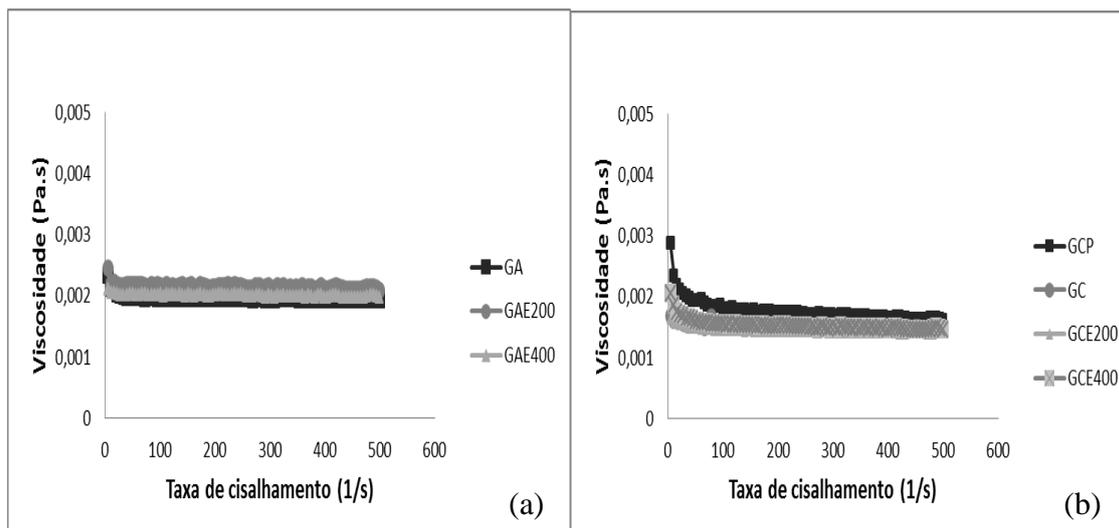


Figura 27. Curva de viscosidade (a) da goma arábica e (b) goma de cajueiro.

Para obter o perfil de fluxo da amostra, mediu-se a variação da tensão de deformação em função da taxa de cisalhamento. Os perfis obtidos mostraram que ambas as gomas apresentaram uma tendência de proporcionalidade entre a tensão e a taxa aplicada com ausência de tensão residual, comportamento típico de fluido newtoniano. No entanto, a partir das curvas de viscosidade (Figura 27), observou-se que conforme aumento da taxa de cisalhamento, os materiais apresentaram tendência à redução de viscosidade. Portanto, optou-se pela aplicação do modelo matemático Lei das Potências (Ostwald de Waale), cujos valores do índice de fluxo (n) e coeficiente de regressão linear (R^2) estão dispostos na Tabela 12.

O comportamento dos fluidos pode trazer importantes informações a respeito da estrutura e organização molecular do sistema. O comportamento pseudoplástico, redução da viscosidade devido ao aumento da taxa de cisalhamento, pode ser relacionado à destruição das fracas ligações físicas existentes entre as moléculas e a diminuição da energia de interação entre elas.

A partir dos dados apresentados na Figura 27, nota-se que as amostras apresentaram baixos valores de viscosidade. No mais, as amostras de goma de cajueiro apresentaram maiores valores de viscosidade e comportamento pseudoplástico mais definido que as amostras de goma arábica.

Em estudo realizado por Paula e Rodrigues (1995) também foram observados baixos valores de viscosidade para amostras de goma de cajueiro e arábica com concentração de 2% (m/v). Além disso, ao solubilizarem a goma de cajueiro em diferentes soluções salinas de mesma força iônica, notaram que a cadeia do polissacarídeo se encontra mais contraída na presença de alumínio do que na presença de cálcio e sódio.

Em fluidos newtonianos, o índice de fluxo (n) é igual a 1, enquanto que para fluidos pseudoplásticos é menor que 1. Portanto, conforme os valores de n apresentados na Tabela 11, todas as amostras apresentaram comportamento pseudoplástico. Além disso, os valores do coeficiente de determinação (R^2) próximo à 1, indicam que o modelo de Ostwald de Waale descreve adequadamente o comportamento reológico das gomas.

Tabela 11. Valores do índice de comportamento do fluido (n), índice de consistência (K) e Coeficiente de determinação (R^2), calculados a partir do modelo reológico Lei da Potência (Ostwald de Waale) das amostras GA, GAE200, GAE400, GCP, GC, GCE200 e GCE400.

Identificação da amostra	N	R²
GA	0,8228	0,9691
GAE200	0,9848	0,9998
GAE400	0,9918	0,9999
GCP	0,9096	0,9993
GC	0,9770	0,9999
GCE200	0,9708	0,9999
GCE400	0,9470	0,9996

Mothé e Rao (1999) avaliaram o comportamento reológico comparativo de dispersões de goma arábica (GA) e goma de cajueiro (GC) purificadas e em misturas. O valor de viscosidade intrínseca determinado a 20°C em água foi de 0,6dl.g⁻¹ para GA e 0,1dl.g⁻¹ para GC. Além disso, ambas as gomas apresentaram comportamento pseudoplástico nas concentrações de 4-50% (m/v).

Geralmente, gomas de baixa viscosidade são as mais apropriadas para aplicação em encapsulação de aromas e pigmentos (LANDIM, 2008).

4.8 Calorimetria Diferencial de Varredura

As gomas contêm uma grande quantidade de monossacarídeos, portanto, exibem baixa temperatura de transição vítrea e baixa temperatura de fusão cristalina. A temperatura de fusão cristalina, por ser um evento de primeira ordem, ocorreu apenas no primeiro ciclo, enquanto a temperatura de transição vítrea ocorreu na mesma faixa de temperatura tanto no primeiro quanto no terceiro ciclo.

Na tabela 12 estão dispostos os valores de temperatura de transição vítrea e fusão cristalina obtidos por DSC.

Tabela 12. Valores da temperatura de transição vítrea (Tg) e temperatura de fusão cristalina (Tm) determinadas no Software TA Explore/Q200 do aparelho de DSC a 54% UR.

Identificação da amostra	Tg (°C)	Tm (°C)
GA	30,8	49,47
GAE200	23,5	56,84
GAE400	24,7	58,1
GC	38,9	54,98
GCE200	37,5	49,70
GCE400	32,2	53,05

Analisando os resultados, observa-se que em ambas as gomas tiveram a Tg reduzida após o processo de extrusão. Entretanto, as amostras de goma de cajueiro apresentaram valores de Tg superiores às amostras de goma arábica. Estudos realizados sobre a caracterização e utilização da goma arábica como agente encapsulante, predizem que a Tg

desta goma a 43% e a 66% UR está na faixa de 34°C e 23°, respectivamente (RIGHETTO & NETTO, 2005; LAINE, *et. al.*, 2010).

O baixo valor de Tg pode estar relacionado à absorção de umidade durante a análise devido a higroscopicidade do material. Além disso, a Tg depende fortemente da massa molecular, material com baixa massa molecular tem maior volume livre, possibilitando maior movimento molecular até nas temperaturas mais baixas.

Por outro lado, a temperatura de fusão cristalina da goma arábica aumentou após o processamento, embora os resultados de DRX tenham mostrado que o percentual de cristalinidade reduziu após o processamento. A fusão da região cristalina é a conversão de uma estrutura ordenada de cadeias moleculares alinhadas em uma estrutura altamente aleatória. Já nas amostras de goma de cajueiro não ocorreu alteração significativa da temperatura de fusão cristalina.

Em estudo realizado por Seo *et al.* (2006), foi identificado que o tamanho e a conformação estrutural de açúcares exercem uma importante influência na Tg de misturas, mesmo que elas fossem compostas pelas mesmas unidades de açúcares.

4.9 Colorimetria

A análise de colorimetria foi realizada para verificar se a mudança de cor nas amostras foram significativas, visto que o desenvolvimento de produtos de aparência atrativa é de extrema importância para a indústria de alimentos (ARAÚJO, 2004). Os resultados dos parâmetros de cor estão dispostos na Tabela 13.

Para a coordenada L*, referente à luminosidade, verificou-se que as amostras de goma arábica tiveram esse parâmetro reduzido após o processamento. O escurecimento pode ser provocado pelo alto teor de açúcares da amostra. As amostras de goma de cajueiro não apresentaram variação significativa após o processamento.

Para a coordenada a*, a amostra GA apresentou valor negativo, no entanto, as amostras processadas GAE200 e GAE400 apresentaram valores positivos. Já as amostras de goma de cajueiro, não apresentaram grande variação de a*, embora, tenham apresentado maiores valores que o grupo GA. O aumento deste parâmetro indica aumento da tonalidade vermelha.

A coordenada b* nas amostras de goma arábica apresentou redução após o processamento, apresentando comportamento semelhante nas amostras de goma de cajueiro. Sendo que o maior valor desta coordenada foi observado na amostra GA.

O ângulo de tonalidade (H) apresentou valores próximos a 90° em todas as amostras, indicando predominância da tonalidade amarela. No entanto, foi observado que nas amostras de goma arábica houve redução de H após o processamento, enquanto, nas amostras de goma de cajueiro houve aumento.

Portanto, pode-se considerar que as amostras podem ser caracterizadas com tendência para a tonalidade amarela e que a extrusão causou alterações significativa para o parâmetro cor (Figura 28).

Tabela 13. Valores dos parâmetros de cor das amostras de gomas arábica e goma de cajueiro

Identificação da amostra	L*	a*	b*	C*	H
GA	86,85±0,48 ^a	-0,03±0,07 ^a	15,69±0,29 ^a	15,69±0,29 ^a	90,09±0,28
GAE200	83,51±1,40 ^b	0,32±0,03 ^b	9,73±0,74 ^b	9,73±0,74 ^{b,d,e}	88,14±0,08
GAE400	82,56±0,48 ^c	0,72±0,05 ^c	11,51±0,69 ^{b,c}	11,53±0,70 ^{b,c,d}	86,39±0,16
GCP	81,53±0,51 ^d	1,71±0,15 ^d	8,58±0,55 ^d	8,75±0,57 ^{b,e}	78,74±0,33
GC	78,48±0,41 ^e	2,01±0,06 ^e	11,67±0,14 ^c	11,84±0,14 ^c	80,24±0,33
GCE200	79,68±0,14 ^f	1,15±0,01 ^f	10,47±0,18 ^{b,c}	10,54±0,19 ^d	83,74±0,09
GAE400	79,45±0,43 ^f	1,08±0,07 ^f	9,56±0,35 ^{b,d}	9,62±0,35 ^e	83,56±0,17

As médias com letras diferentes na mesma coluna são diferentes no nível de 0,05 no teste de Tukey

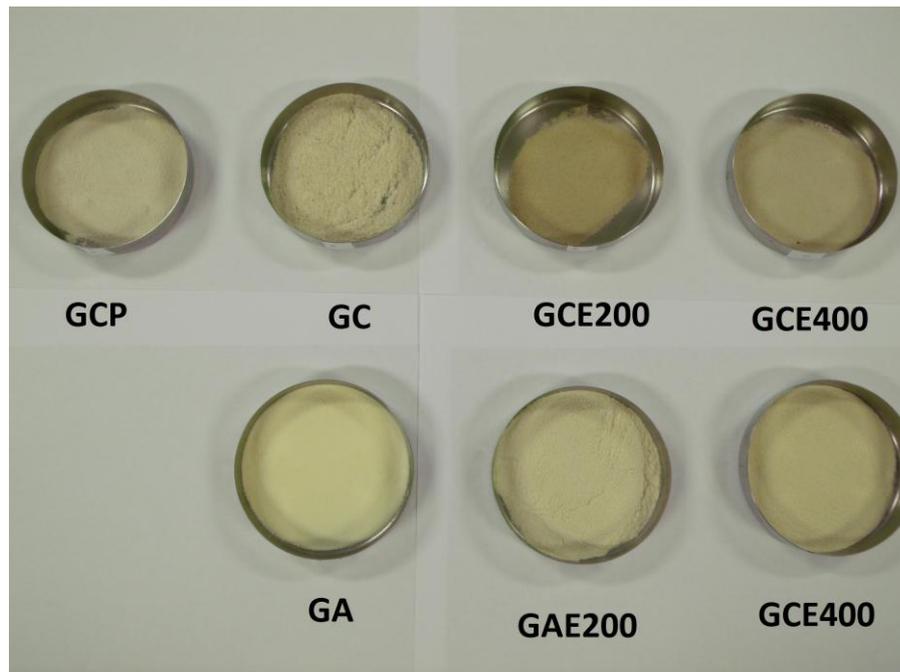


Figura 28. Aspecto visual das amostras de goma arábica e goma de cajueiro.

5 CONCLUSÃO

A partir dos parâmetros avaliados e dos resultados obtidos a goma de cajueiro poderia ser substituída da goma arábica. Entretanto, análises complementares são necessárias.

As vantagens da goma de cajueiro observadas foram:

- Menor teor de cinzas, indicando menor grau de impurezas mesmo na amostra não purificada;

- Maior teor de proteínas o que pode conferir melhores propriedades emulsificantes, desejadas nos processos de encapsulação de óleos e aromas;

- Maior teor de fibras que a goma arábica, farinha de milho e farinha da casca do maracujá;

- Menor viscosidade após a extrusão, o que pode contribuir para melhor dispersão e solubilidade em soluções;

- Temperatura de transição vítrea e parâmetros de cor semelhantes à goma arábica.

Portanto, espera-se que este estudo tenha contribuído com a expansão do conhecimento das propriedades químicas, físicas e térmicas da goma de cajueiro, para que desta forma, esta goma seja utilizada em novas aplicações, particularmente, na indústria de alimentos.

Além disso, sugere-se análise de determinação de massa molar por GPC (Cromatografia por Permeação em Gel) para melhor entendimento do efeito da extrusão na estrutura e tamanho da cadeia molecular, toxicologia para assegurar o consumo do material e isotermas de sorção para avaliar a temperatura de transição vítrea (T_g) sob condição de equilíbrio, devido à higroscopicidade do material.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKCELRUD, L. **Fundamentos da Ciências de Polímeros**. p.54-65 Barueri, SP: Manole, 2007.
- ANDERSON, D. M. W. Evidence for the safety of gum arabic (*Acacia senegal L.* Willd.) as a food additive—a brief review. **Food Addit Contam**, v.3, p.225-230, 1986.
- ANDERSON, D.M.W., BELL, P.C. & MILLAR, R.A. **Phytochemistry**,v.13, 218992193, 1974.
- ANDERSON. D.M.W. & BELL, P.C. An&t. **Chim. Acta**.79, 1855197, 1975.
- ARAÚJO, J. **Química de Alimentos: Teoria e Prática**. p.32 Viçosa, MG: UFV, 2004
- ASCHERI, J. L. R. **Curso de processo de extrusão de alimentos: aspectos tecnológicos para o desenvolvimento e produção de alimentos para consumo humano e animal**. EMBRAPA-CTAA. Rio de Janeiro, apostila de curso set. 2007.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMIST (AOAC). **Official methods of analysis of the Association of Analytical Chemistry** 16 ed. Arlington, 1995. 2v.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS (AOAC). **Official Methods of Analysis of the Association of Official Agriculture Chemistry**. Washington, 2005.
- BANDEIRA, C. T., Método de extração da goma de cajueiro. **Relatório Técnico**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA-CNPCa, p.2, 1991.
- BARNES, H. A.; HUTTON, J. F.; WALTERS, K. **An Introduction to Rheology**. 1.ed. Amsterdam: Elsevier, 1989.
- BARUFFALDI, R.; OLIVEIRA, M. N. **Fundamentos da Tecnologia de Alimentos**. São Paulo: Atheneu, v.3, 1998.
- BECKER, A.; HILL, S. E.; MITCHELL, J. R. Milling - a further parameter affecting the rapid visco analyser (RVA) profile. **Cereal Chemistry**, v. 78, p. 166-172, 2001.
- BE MILLER, J. N. Industrial Gums, **Encyclopedia of Polymer Science and Engineering**, John Wiley & Sons, v.7, p.589, 1987.
- BOONYAL, P.; BHANDARI, B.; HOWES, T. Stickness measurement techniques for food powder: a review. **Powder Technology**, v.145, p. 34-46, 2004.
- BORGES, J. T. S. **Elaboração de macarrão pré-cozido à base de farinha integral de quinoa e farinha de arroz utilizando o processo de extrusão termoplástica**. 2002, 116f. Tese (doutorado) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, 2002.
- BOTELHO, M. L. **Propriedades físico-químicas do exsudado de *Anacardium occidentale L.* para a indústria de alimentos**. 1999. 113f. Dissertação (mestrado) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 1999.

COLONNA, P.; BULEON, A.; MERCIER, C. Physically modified starch, In: GALLIARD, T. **Starch: properties and potential**. Chichester: John Wiley & Sons, cap.4, p.79-114, 1987.

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE (CIE): **Recommendations on Uniform Color Spaces, Color Difference Equations, Psychometric Color Terms**, Supplement n. 2 to CIE Publication n. 15, Colorimetry, Bureau Central de la CIE, Paris, 1978.

COPPINI, L. Z., WAITZBERG, D. L., CAMPOS, F.G., HARB-GAMA, A. Fibras Alimentares e Ácidos Graxos de Cadeia Curta. In: Waitzberg, D.L., **Nutrição Oral, Enteral e Parenteral na Prática Clínica**. 3ª ed. São Paulo: Atheneu; p. 79 – 94, 2004.

CUNHA, P. L. R.; MACIEL, J. S.; SIERAKOWSKI, M. R.; DE PAULA, R. C. M.; FEITOSA, J. P. A. Oxidation of cashew tree gum exudate polysaccharide with TEMPO reagent. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v.18, n.1, p.85, 2007.

DA CUNHA, P. L. R., DE PAULA, R. C. M., FEITOSA, J. P. A. Polissacarídeos da biodiversidade brasileira: uma oportunidade de transformar conhecimento em valor econômico **Química Nova**, v.32, n. 3, p.649-660, 2009.

DE OLIVEIRA, L. B. **Efeito de goma acácia e inulina na viabilidade de bactérias probióticas e nas características físico-químicas de leite fermentado simbiótico**. 2008. 104f. Dissertação (mestrado). Escola de Engenharia Mauá. São Caetano do Sul, 2008.

DE PAULA, R. C. M.; HEATLEY, F.; BUDD, P. M. Characterization of *Anacardium occidentale* exudate polysaccharide. **Polymer International**, v.1, n.45, p.27, 1998.

DE PAULA, R. C. M.; RODRIGUES, J. F.; Composition and rheological properties of cashew tree gum, the exudates polysaccharide from *Anacardium occidentale* L. **Carbohydrate Polymer**, v.26, n.3, p.177, 1995.

DE SOUZA, M. W. S.; FERREIRA, T. B. O.; VIEIRA, I. F. R. Composição centesimal e propriedades funcionais tecnológicas da farinha da casca do maracujá. **Alimentos Nutrição**, v.19, n.1, p. 33-36. Araraquara, 2008.

DICKINSON, E. Hydrocolloids at interfaces and the influence on the properties of dispersed systems. **Food Hydrocolloids**, v.17, p.25–39, 2003.

DONUELLY, B. J.; FRUIN, J. C.; SCALLET, B. L. Reactions of oligosaccharides III hygroscopic properties. **Cereal Chemistry**, v.50, 512p. 1973;

EL-DASH, A. A. Application and control of thermoplastic extrusion of cereals for food and industrial uses. In: **Cereals a renewable resource: theory and practice**. American Association of Cereal Chemists, p.165-216, St.Paul 1982.

FAOSTAT, **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. 2012. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>> Acesso em fev/2012.

FELLOWS, P. Extrusion. In: FELLOWS, P. **Food processing technology: principles and practice**. Cambridge. Woodhead Publishing, Cap 14, p.294-308, 2002.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. 2a ed. 602p., Porto Alegre: Artmed, 2006.

FENNEMA, O. R. Dispersed systems: basic considerations, carbohydrates & food additives In: **Food Chemistry**. University of Wisconsin – Madison. Marcel Dekker Inc. caps. 3, 4 e 12. New York, 1996.

FLINK, J. M. Structure and structure transitions in dried carbohydrate materials. In: PELEG, M., BAGLEY, E. B. **Physical properties of food**. 1ed. Westport: The AVI publishing Company, 473-521p., 532p. 1983.

FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2011. **Dossiê Gomas-As gomas exsudadas de plantas**. n.17. 26-46p. 2011. Disponível em: <www.revista-fim.com.br>. Acesso em: ago/2011.

GUY, R. C. E., HORNE, A.W. Extrusion and co-extrusion of cereals. In: **Food Structure-its creation and evaluation**. Ed. Blanshard, J.M.V. e Mitchel, J.R., Butter-worths. p. 1-349, 1988.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Lavouras Permanentes**. Disponível em: <www.ibge.gov.br/estadosat/>. Acesso em: junho, 2010.

KAUZMANN, W. The nature of the glassy state and the behavior of liquids at low temperature. **Chemical Reviews**, v.43, p.219-256, 1948.

LAPASIN, R.; PRICL, S. Rheology of polysaccharide systems. In: LAPASIN, R.; PRICL, S. (eds.). **Rheology of industrial polysaccharides: Theory and applications**. London: Black Academic & Professional, p. 251-293, 1995.

LAINE, P.; LAMPI, A.M.; PEURA, M.; KANSIKAS, J.; MIKKONEN, K.; WILLFO, R.S.; TENKANEN, M. e JOUPPIA, K. Comparison of microencapsulation properties of spruce galactoglucomannans and arabic gum using a model hydrophobic core compound. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, n.58, p.981-989, 2010.

LEVINE, H.; SLADE, L. Glass transitions in foods. In: SCHWARTZBERG, H. G.; HARTEL, R. W. **Physical Chemistry of Foods**. 1ed. P. 83-221. New York, 1992.

LIMA, A. C., DOS SANTOS, R. A., ALMEIDA, F. A. G., BANDEIRA, C. T. Estimulantes químicos na extração da goma de cajueiro. **Ciência Rural**, v, 31, n. 3 p.409-415, 2001.

MA, C. Y.; HARWALKAR, V. R.; MAURICE, T. J. Instrumentation and techniques of thermal analysis in food research. In: HARWALKAR, V. R.; MA, C. Y. **Thermal Analysis of foods**. 1ed. Elsevier Applied Science. New York, 1990.

MACHADO, J. C. V. **Reologia e escoamento de fluidos - ênfase na indústria de petróleo**. Rio de Janeiro: Interciência, 2002

MANRICH, S. **Processamento de Termoplásticos**, p.109 e p.287, São Paulo: Artliber, 2005.

MÁRQUEZ, L. R. **A fibra terapêutica**. 2ª ed. BYK Química, p.14. São Paulo, 2001.

MARTIN, S. **Galactoxiloglucana de sementes de *Hymenaea courbaril*: Estrutura e Propriedades**. 121f. Tese (Doutorado) – Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2003.

MORRIS, E. R. Polysaccharide rheology and in-mouth perception. In: STEPHEN, A. M. **Food polysaccharides and their applications**. p.517-546, New York: Marcel-Dekker, 1995.

MOTHÉ, C. G. **Produção de goma de cajueiro**. BR n. PI 0004114-9, 12 de setembro de 2000.

MOTHÉ, C. G.; RAO, M. A. Rheological behavior of aqueous dispersions of cashew gum and gum arabic: effect of concentration and blending. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 13, p. 501-506, 1999.

PELEG, M.; BAGLEY, E. B. **Physical properties of food**. 1ed. Westport: The AVI publishing Company, 473-521p., 532p.1983.

PETERSON, M.P. Composition and Nutritional Characteristics of Oat Grain and Product. In: MARSHALL, H.G.; SOLLELS, M.S. **Oat science and technology**. Madison: American Society of Agronomy. p. 266-287. Inc., 1992.

PESSOA, P. F. A. P.; LEITE, L. A. S.; PIMENTEL, C. R. M. Situação atual e perspectiva da agroindústria do caju. In: ARAÚJO, J. P.; SILVA, P. P. (Org.) **Cajucultura modernas técnicas de produção**. EMBRAPA-CNPAT, p.23-42, Fortaleza, 1995.

PILNIK, W.; ROMBOUITS, F. M. Polysaccharides and food processing. **Carbohydrate Research**, v.142, p. 93-105, 1985.

PRADELLA, J.G.C. **Biopolímeros e intermediários químicos**. São Paulo, 2006. Disponível em: <http://www.anbio.org.br/pdf/2/tr06_biopolimeros.pdf> acesso em: mar/2012.

PROSKY, L.; ASP, N. G.; SCHEWEIZER, T.F.; DEVRIES, J.W.; FURDA, I. Determination of insoluble, soluble and total dietary fiber in foods and food products: Interlaboratory study. **Jour. Assoc. off. Anal. Chem.** v.71, n.5, p. 1017-1023, 1988.

RANDALL, R. C.; PHILLIPS, G. O.; WILLIAMS, P. A. The role of the proteinaceous component on the emulsifying properties of gum arabic. **Food Hydrocolloids**, v.2, p.131-140, 1988.

RANDALL, R. C.; PHILLIPS, G. O.; WILLIAMS, P. A. Fractionation and characterization of gum from *Acacia senegal*. **Food Hydrocolloids**, v.3 n.1, p.65-75, 1989.

RIGHETTO, A. M. & NETTO, F. M. Effect of encapsulating materials on water sorption, glass transition and stability of juice from immature acerola. **International Journal of Food Properties**, v.8, p.337-346, 2005

RODRIGUES, J. F.; DE PAULA, R. C. M.; COSTA, S. M. O. Métodos de isolamento de gomas naturais: comparação através da goma do cajueiro (*Anacardium occidentale L.*). **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, p. 31-36, 1993.

ROSENTHAL, F. R. T. **Goma do cajueiro: estudo químico e tecnológico**. Rio de Janeiro, Ministério do Trabalho, Indústria e Comércio, Instituto Nacional de Tecnologia, 35p, 1951.

ROSS, Y. H.; KAREL, M. Phase transitions of mixtures of amorphous polysaccharides and sugars. **Biotechnology Progress**, v.7, p.49-53, 1991a.

ROSS, Y. H.; KAREL, M. Applying state diagrams to food processing and development. **Food Technology**, v.45, n.12, p.66-71, 1991b.

ROSS, Y. H.; KAREL, M. Plasticizing effect of water on thermal behavior and crystallization of amorphous food models. **Journal of Food Science**, v.56, n.1, p.38-43, 1991c.

ROSS, Y. H. Water activity and physical state effects on amorphous food stability. **Journal Food Processing and Preservation**, v.16, p.433-447, 1993.

ROSS, Y. H. Characterization of food polymers using state diagrams. Journal using state diagrams. **Journal Food Engineering**, v.24, n.3, p.339-360, 1995a.

ROSS, Y. H. **Phase transitions in food**. 1ed. San Diego: Academic Press 360p., Inc, 1995b.

ROSS, Y. H. **Phase/state transitions in food: chemical, structural and rheological changes**. IFT basic symposium series:13. p.57-86. 1998.

SARUBBO, L. A.; TAKAKI, G. M. C.; PORTO, A. L. F.; TAMBOURGI, E. B.; DE OLIVEIRA, L. A. A goma do cajueiro (*Anacardium occidentale L.*) como sistema inovador de extração líquido-líquido. **Exacta**, São Paulo, v.5, n.1, p.145-154, 2007.

SARUBO, L. A. **Caracterização de um novo sistema bifásico aquoso e aplicação em extração de proteínas com coluna de discos perfurados rotativos**. 2000. 223f. Tese (doutorado) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2000.

SCHRAMM, G. **Reologia e Reometria: Fundamentos teóricos e práticos**. 2. ed., cap. 2, São Paulo: Artliber Editora Ltda., 2006..

SEBIO, L. **Efeito de alguns Parâmetros Operacionais de Extrusão nas Propriedades Físico-químicas da farinha de inhame (*Dioscorea rotundata*)**. 1996. 106f. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1996.

SEIBEL, N. F.; BELEIA, A. D. P. Carboidratos das fibras de cotilédones e proteínas de produtos derivados de soja (*Glycine max (L.)Merril*). **Ciências Tecnologia de Alimentos**. v.28 n.3 Campinas, 2008

SEO, J. A.; KIM, S. J.; KWON, H. J.; YANG, Y. S.; KIM, H. K.; HWANG, Y. H. The glass transition temperatures of sugar mixtures. **Carbohydrate Research**, v.341, p.2516-2520, 2006.

SERENO, N. M.; HILL, S. E.; MITCHELL, J. R. Impact of the extrusion process on xanthan gum behavior. **Carbohydrate Research**. n. 342 p.1333-1342, 2007.

STEPHEN, A. M.; CHURMS, S. C. Gums and mucilages. In: Stephen, A. M. ed. **Food Polysaccharides and their Applications**. p. 377- 440. New York: Marcel Dekker, 1995.

STEPHEN, A. M.; PHILLIPS, G. O.; WILLIAMS, P. A., EDS.; **Food Polysaccharides and their applications**, 2 ed., cap.13. CRC Press : Florida, 2006.

TAKEITI, C. Y. **Efeito da influência da transição vítrea sobre as instantaneização de maltodextrinas por processos de aglomeração úmida**. 171f. 2007. Tese (doutorado). Faculdade de Engenharia de Alimentos. Campinas-SP, 2007.

TISS A, CARRIERE F, VERGER R: Effects of gum arabic on lipase interfacial binding and activity. **Anal Biochem**, v.294, p.36-43, 2001.

TONELI, J. T. C. L.; MURR, F. E. X.; PARK, K. J. Estudo da reologia de polissacarídeos utilizados na indústria de alimentos. **Revista Brasileira de Produção Agroindustrial**. v.7, p. 181-204, 2005.

TORQUATO, D. S.; FERREIRA, M. L.; SÁ, G. C.; BRITO, E. S.; PINTO, G. A. S.; AZEVEDO, E. H. F. Evaluation of antimicrobial activity of cashew tree gum. **World Journal of Microbiology & Biotechnology**, v. 20, p. 505-507, 2004.

TOSIN, F. F. S. **Polissacarídeos da goma de exsudado e da polpa do frutos de *Prunus persica*: caracterização estrutural e análises reológicas**. 2008. 145f. Tese (doutorado). Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2008.

TOWLE, G.A., WHISTLER, R.L. Hemicelluloses and gums. In: MILLER, L.P. **Phytochemistry: the process and products of photosynthesis**. v.1, p.198-248. New York: Van Nostrand Reinhold, 1973.

WALDRON, K. W.; PARKER, M. L.; SMITH, A. C. Plant cell walls and food quality. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 2, n. 2, p. 101-119, 2003.

WHISTLER, R. L **Industrial Gums-Polysaccharides and their Derivatives**, 2. ed. Cap.1. Academic Press. Londres, 1973.

WU, Y.; CHEN, Z.; LI, X.; WANG, Z. Retrogradation properties of high amylose rice flour and rice starch by physical modification. **LWT - Food Science and Technology**, v.43 p.492–497. 2001.

YACU, W. Process instrumentation and control in food extruders. **Cereal Foods World**, v.35, n.9, p.919-926, 1990.

YU, L.; CHRISTIE, G. Measurement of starch thermal transitions using differential scanning calorimetry. **Carbohydrate Polymers**, v. 46, p. 179-184. 2001.