Tatiana Carestiato de Silva

ESTUDO DOS EFEITOS FUNCIONAIS DA GOMA DE CAJUEIRO, *ANACARDIUM OCCIDENTALE* L., SOBRE O SISTEMA CARDIOVASCULAR DE RATOS ESPONTANEAMENTE HIPERTENSOS

Orientadoras: Prof[a]. Dr[a]. Cheila Gonçalves Mothé

Prof[a]. Dr[a]. Márcia Barbosa Águila

Rio de Janeiro
2006

Tatiana Carestiato de Silva

ESTUDO DOS EFEITOS FUNCIONAIS DA GOMA DE CAJUEIRO, *ANACARDIUM OCCIDENTALE* L., SOBRE O SISTEMA CARDIOVASCULAR DE RATOS ESPONTANEAMENTE HIPERTENSOS

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Ciências.

Orientadoras: Prof[a]. Dr[a]. Cheila Gonçalves Mothé

Prof[a]. Dr[a]. Márcia Barbosa Águila

Rio de Janeiro
2006

ESTUDO DOS EFEITOS FUNCIONAIS DA GOMA DE CAJUEIRO, *ANACARDIUM OCCIDENTALE* L., SOBRE O SISTEMA CARDIOVASCULAR DE RATOS ESPONTANEAMENTE HIPERTENSOS.

Tatiana Carestiato da Silva

Tese submetida ao corpo docente da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Doutor.

Aprovada por:

_____
Prof[a] Cheila Gonçalves Mothé, D.Sc., UFRJ (Presidente da banca)

_____
Prof[a] Márcia Barbosa Águila, D.Sc., UERJ

_____
Prof[a] Maria Helena Miguez da Rocha Leão, D.Sc., UFRJ

_____
Prof[a] Eliana Flávia Camporese Servulo, D.Sc., UFRJ

_____
Prof[a] Elisabeth Ermel da Costa Monteiro, D.Sc., UFRJ

_____
Prof[a] Matilde Pumar, D.Sc., UERJ

_____
Prof[a] Wang Shu Hui, DSc., USP

Rio de Janeiro
2006

Silva, Tatiana Carestiato da.
Estudo dos efeitos funcionais da goma de cajueiro, *Anacardium occidentale* L., sobre o sistema cardiovascular de ratos espontaneamente hipertensos / Tatiana Carestiato da Silva. Rio de Janeiro, 2006.
xxv, 169 f.: il.

Tese (Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2006.

Orientador: Cheila Gonçalves Mothé e Márcia Barbosa Águila.

1. Goma de cajueiro. 2. Sistema cardiovascular. 3. I.Mothé, Cheila Gonçalves (Orient.). II. Águila, Márcia Barbosa (Orient.). III Escola de Química. IV. Título.

“Após séculos de cultura material, buscamos hoje ansiosamente uma espiritualidade simples e sólida, baseada na percepção do mistério do universo e do ser humano, na ética da responsabilidade, da solidariedade e da compaixão, fundada no cuidado, no valor intrínseco de cada coisa, no trabalho bem feito, na competência, na honestidade e na transparência das intenções.”

(Saber cuidar – Leonardo Boff, editora Vozes)

Aos meus pais, Assis e Irene, que são
meus referenciais de luta, justiça,
bondade e santidade...

Aos meus queridos Nelson, Fausto, Taís, Felipp, Arthur, Rayssa e Maria Clara,
por encherem minha vida de música, cores, companheirismo, amor, alegria e risos...
e por fazerem tudo ter mais sentido...

À Profª Cheila Gonçalves Mothé, que sempre dividiu comigo seus sonhos por um país mais justo, que me fez acreditar ser possível gerar desenvolvimento através da ciência, da pesquisa e dos recursos naturais de nosso Brasil. Agradeço também pela orientação, paciência e disponibilidade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro através de bolsa de estudo durante o período desta tese.

AGRADECIMENTOS

A Deus, grande maestro de inteligência e compaixão que rege o Universo... por seu cuidado, amor e manifestação.

À Profª Márcia Barbosa Águila pela orientação, pela coragem de “encarar o novo”, por acreditar em meu trabalho, pela força e pela serenidade com que apoiou este trabalho.

Ao Prof. Carlos Alberto Mandarim-de-Lacerda por acreditar no poder da interação entre os diferentes centros de conhecimento científico e, assim, acolher-me como integrante da equipe do Laboratório de Morfologia e Morfofisiologia Cardiovascular (LMMC).

À doutoranda Denise Zaldenando Correia pelo seu companheirismo, amizade e pelos bons momentos que passamos juntas na pós-graduação da Escola de Química da UFRJ.

À Maria Celeste Ambrósio, Teresa Cristina, Moisés Caetano, Carla Araújo e ao Heitor Mothé, pela torcida, pela amizade e por toda ajuda.

À Suzana Patrícia de Sá Silva por ter participado, apoiado e dividido comigo parte importante deste trabalho.

Às técnicas do LMMC Thatiany de Souza Marinho, Ana Cláudia Viana Soares e Glauciane dos Santos Ferreira, que, com seus trabalhos e com suas competências, colaboraram para que esta tese fosse realizada com excelência científica.

À Alessandra da Rocha Pinheiro, Júlio César Froulob Aquino, Caroline Fernandes dos Santos e Leonardo de Souza Mendonça por terem me auxiliado nos ensaios *in vivo*, nas gavagens e nos sacrifícios. Agradeço também pela amizade e pelo apoio.

Às amigas do LMMC, Daniele Gonçalves Bezerra, Claudia Moraes Mansano Marques e Mariana Catta-Preta Caido Pereira, por toda ajuda, pelas “dicas” e pela torcida.

À Escola de Química pela oportunidade de aprofundar meus conhecimentos.

Aos amigos da Escola de Química que sempre me incentivaram, auxiliaram e apoiaram.

Parte desta tese foi apresentada nos seguintes congressos e revistas científicas:

CONGRESSOS NACIONAIS

CARESTIATO, Tatiana; MOTHÉ, Cheila Gonçalves. **Caracterização reológica para frações do hidrocolóide de cajueiro.** In: II Brazilian Conference on Rheology, 2004, Rio de Janeiro, RJ, 2004. p. 47-48.

CARESTIATO, Tatiana; AGUILA, Márcia Barbosa; MOTHÉ, Cheila Gonçalves. **Sangue: um estudo termoanalítico.** In: IV Congresso Brasileiro de Análise Térmica e Calorimetria e II Congresso Pan-americano de Análise Térmica e Calorimetria, Poços de Caldas, MG, 11 a 14 de abril de 2004. p. 236.

CARESTIATO, Tatiana; MOTHÉ, Cheila Gonçalves. **Thermal caracterization of cashew gum fractions for functional food.** In: IV Congresso Brasileiro de Análise Térmica e Calorimetria (IV CBRATEC) e II Congresso Pan-americano de Análise Térmica e Calorimetria, Poços de Caldas, MG, 11 a 14 de abril de 2004. p.16.

CARESTIATO, Tatiana; SILVA, Suzana Patrícia de Sá; AGUILA, Márcia Barbosa; MOTHÉ, Cheila Gonçalves. **Envelhecimento e hipertensão arterial: o efeito do uso da fibra de polissacarídeo como alimento funcional sobre o sistema cardiovascular de ratos idosos espontaneamente hipertensos.** In: 6º Simpósio Latino Americano de Ciência de Alimentos (6º SLACA), Campinas, SP, 07 a 10 de novembro, 2005.

CARESTIATO, Tatiana; AGUILA, Márcia Barbosa; MOTHÉ, Cheila Gonçalves. **Estudo cinético do coração de ratos espontaneamente hipertensos alimentados com fibra de polissacarídeo.** In: V Congresso Brasileiro de Análise Térmica e Calorimetria (V CBRATEC), Poços de Caldas, 2006. p. 323.

CARESTIATO, Tatiana; AGUILA, Márcia Barbosa; MOTHÉ, Cheila Gonçalves. **Investigação do polissacarídeo de cajueiro agente promotor do sistema cardiovascular de SHR.** IV Congresso Latino americano de Órgãos Artificiais e Biomateriais (IV COLAOB), Caxambu. 08 a 11 de Agosto de 2006 (Trabalho aceito).

CONGRESSOS INTERNACIONAIS

MOTHÉ, Cheila Gonçalves; CARESTIATO, Tatiana; AGUILA, Marcia Barbosa; MANDARIM-DE-LACERDA, Carlos Alberto. **Thermal Behavior of the Heart of SHR Rats.** In: 13th International Congress on Thermal Analysis and Calorimetry, 2004, Chia Laguna. ICTAC13, 2004. p. 222.

MOTHÉ, Cheila Gonçalves; CARESTIATO, Tatiana; AGUILA, Marcia Barbosa; MANDARIM-DE-LACERDA, Carlos Alberto. **Thermal study of the organs of SHR rats: kidney, heart and liver.** In: North American Thermal Analysis (NATAS), 2005.

ARTIGOS PUBLICADOS EM PERIÓDICOS

MOTHÉ, Cheila Gonçalves; CARESTIATO, Tatiana; AGUILA, Marcia Barbosa; MANDARIM-DE-LACERDA, Carlos Alberto. **Thermal Behavior of the Heart of SHR and Wistar Rats.** Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, Holanda, v. 80, p. 429-433, 2005.

MOTHÉ, C.G.; CARESTIATO, T.; AGUILA, M.B. **Thermoanalytical investigation of blood.** Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. Publicação Online: 12 Dezembro 2005.

MOTHÉ, C.G.; CARESTIATO, T.; AGUILA, M.B. **Thermoanalytical study of organs of Spontaneous Hypertensive Rats.** Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, v. 85, 2006.

RESUMO

SILVA, Tatiana Carestiato da. Estudo dos efeitos funcionais da goma de cajueiro, *Anacardium occidentale* L., sobre o sistema cardiovascular de ratos espontaneamente hipertensos. Rio de Janeiro, 2006. Tese (Doutorado em Ciência em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

A hipertensão arterial é agravante dos problemas cardiovasculares, pois acelera o processo de envelhecimento do coração. O uso de polissacarídeos como alimento funcional tem sido amplamente investigado e, diversos estudos têm atribuído a eles a capacidade de estimular os agentes de defesa dos organismos. Neste trabalho, estudou-se o efeito do uso da goma de cajueiro, heteropolissacarídeo do exsudato da espécie *Anacardium occidentale*, como alimento funcional redutor da hipertensão arterial e promotor do sistema cardiovascular. Para tal investigação, foram utilizados vinte ratos espontaneamente hipertensos (Spontaneously Hypertensive Rats - SHR) e machos. Aos três meses de idade, os ratos foram divididos em dois grupos de dez animais, um dos grupos foi gavado diariamente com uma solução de 500mg de goma de cajueiro/kg e o outro foi gavado com água potável (controle). Semanalmente, os animais foram pesados e a pressão arterial (PA) foi aferida. Após 17 semanas de experimento cinco animais de cada grupo sofreram eutanásia, o restante dos animais foi sacrificado após 25 semanas de experimento (equivalente a 60 anos de idade em humanos). Os ratos gavados com goma de cajueiro apresentaram PA reduzida em até 20% em relação ao grupo controle. A análise térmica do ventrículo esquerdo dos ratos mostrou diferenças significativas no teor de resíduos presentes (em 800°C), sendo que os grupos que ingeriram a goma de cajueiro apresentaram menores quantidades de resíduos dos que os ratos do grupo controle. O estudo cinético pelo método de Borchardt & Daniels mostrou maior energia de ativação para as amostras do coração de ratos que ingeriram goma de cajueiro, indicando a melhor integridade do tecido cardíaco. O volume do ventrículo esquerdo e o número de cardiomiócitos foram significativamente afetados pela ingestão da goma. As fotomicrografias dos miocárdios ventriculares dos SHR mostraram menor remodelamento cardíaco nos ratos do grupo goma, que apresentaram cardiomiócitos preservados e pouca fibrose intramiocárdica. Os resultados obtidos sugerem o possível efeito benéfico da goma de cajueiro relativo à diminuição da PA, ao retardamento da hipertrofia cardíaca e à preservação da estrutura miocárdica em ratos espontaneamente hipertensos.

ABSTRACT

SILVA, Tatiana Carestiato da. Estudo dos efeitos funcionais da goma de cajueiro, *Anacardium occidentale* L., sobre o sistema cardiovascular de ratos espontaneamente hipertensos. Rio de Janeiro, 2006. Tese (Doutorado em Ciência em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

High blood pressure leads to a premature heart aging and plays an important role in development of the cardiovascular diseases. The polysaccharides use as functional food have been widely investigated, and several studies have attributed to them the capacity of stimulated the protection cells of the organisms. In this work, it was studied the cashew gum, heterpolysacharide from *Anacardium occidentale* tree, as functional food that reduces high blood pressure and improves the cardiovasular system. In this investigation, twenty male Spontaneously Hypertensive Rats (SHR) were used. At three months old the animals were shared in two groups of ten rats each. One group received daily 500mg of cashew gum/kg by gavage and the other group (control) received by gavage fresh water. All animals were weekly weighed and the systolic blood pressure (BP) was verified by the noninvasive method of tail-cuff plethysmography in conscious rats. After 17 weeks five animals of each group were sacrificed, the others were sacrificed after 25 weeks of experiment (equivalent 60 years old in humans). Rats that consumed cashew gum presented 20% lower blood pressure than the control group. The thermal analyses of left ventricle showed significant differences in residues quantity (at 800°C), where rats that consumed cashew gum had lower quantity of residues than control rats. Borchardt & Daniels kinetic study showed higher activation energy for hearts' sample of rats that consumed cashew gum than control groups, this fact could be related with more tecidual integrity. Left ventricle and cardomyocites number were changed by the cashew gum ingestion. The photomicrographs of left ventricle showed lower cardiac remodeling in the rats of cashew gum groups, which presented more preserved cells and thin interstitial connective tissue septa. The present results suggest the possible effect of cashew gum related to lower blood pressure levels, cardiac hypertrophy and preservation of the myocardial structure in Spontaneously Hypertensive Rats.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - O cajueiro comum – *Anacardium occidentale L.*

Figura 2 - *Anacardium occidentale L.* – partes da planta.

Figura 3 - Principais países produtores e sua participação na produção mundial de castanha de caju. Ano base: 2004.

Figura 4 - Principais países exportadores de castanha de caju segundo o valor exportado (em US$ 1000).

Figura 5 - Produção de castanhas de caju no Brasil, por Unidades da Federação, no ano de 2003.

Figura 6 - Exportação de castanha de caju (em toneladas/ por estado) no Brasil no período de 1996 a 2004.

Figura 7 - Quantidade de castanha de caju importada (em toneladas) no período de 2000 a 2004 pelos principais países/comunidades compradores.

Figura 8 - *Anacardium occidentale L.* – partes da planta: flores, folhas, fruto maduro, fruto verde (com pedúnculo não desenvolvido) e raspas da casca do caule.

Figura 9 - Exsudação do tronco do cajueiro.

Figura 10 - Possível fragmento estrutural da goma de Anacardium occidentale. R representa D-manose, D-xilose, L-ramanose, L-arabinose. R" representa D-glicose ou ácido glucurônico.

Figura 11 - Fragmentos da estrutura da goma de cajueiro (*Anacardium occidentale*) nativa do Brasil (1) cadeia principal (2), (3), (4) e (5) ramificações.

Figura 12 - Fórmula estrutural dos principais monossacarídeos.

Figura 13 - Estruturas do amido e da celulose: polissacarídeos formados por unidades de glicose dispostas de forma diferenciada no espaço.

Figura 14 - Estrutura da goma guar: polissacarídeo de cadeia ramificada utilizado na indústria como estabilizante e espessante.

Figura 15 - (a) Vista frontal e (b) seção longitudinal (b) do coração.

Figura 16 - Vista do interior de um coração normal, onde os compartimentos cardíacos (átrios e ventrículos) podem ser vistos, além dos vasos (aorta, artéria pulmonar e veias cava).

Figura 17 - Diagrama de um sarcômero muscular: o filamento fino (actina) intercalado com o filamento grosso (miosina).

Figura 18 - Estrutura da (a) actina e da (b) miosina.

Figura 19 - Esquema da contração muscular - Variações no sarcômero muscular durante a concentração.

Figura 20 - Esquema do mecanismo de contração muscular. Durante o relaxamento muscular, a tropomiosina bloqueia os sítios ativos da actina e impede a sua interação com a miosina. Na contração, a configuração da troponina é alterada pelos íons cálcio.

Figura 21 - Esquema de produção de energia a partir do ATP.

Figura 22 - Organização esquemática do miocárdio (a) corte longitudinal da fibra cardíaca (b) Esquema da musculatura cardíaca.

Figura 23 - Cortes do músculo cardíaco – (a) corte longitudinal e (b) transversal.

Figura 24 - Mortes no mundo segundo o grupo de causa. Grupo I: Mortes causadas por doenças contagiosas, problemas maternos, condições pré-natais e deficiências nutricionais. Grupo II: Mortes causadas por doenças não contagiosas. Grupo III: Mortes causadas por ferimentos.

Figura 25 - Mortes no mundo segundo o grupo de causa. Grupo I: Mortes causadas por doenças contagiosas, problemas maternos, condições pré-natais e deficiências nutricionais. Grupo II: Mortes causadas por doenças não contagiosas. Grupo III: Mortes causadas por ferimentos.

Figura 26 - Número de óbitos no Brasil, por sexo, causados por eventos cardiovasculares.

Figura 27 - Células e plaquetas presentes no sangue.

Figura 28 - Curvas de fluxo para diferentes tipos de fluidos. (1) Fluido newtoniano (2) Fluido Pseudoplástico (Power Law), (3) Fluido Dilatante, (4) Fluido pseudoplástico com limite de escoamento (comportamento de líquido plástico).

Figura 29 - Curvas de viscosidade para diferentes tipos de fluidos. (1) Fluido newtoniano, (2) Fluido Pseudoplástico (Power Law), (3) Fluido Dilatante, (4) Fluido pseudoplástico com limite de escoamento (comportamento de líquido plástico).

Figura 30 - Método *orientator* na preparação de um coração de rato. (1) O coração é cortado de

forma aleatória em duas partes. (2) Depois as faces do corte são voltadas para a superfície e novamente cortadas aleatoriamente. (3) E cortados novamente. A última face obtida não possui mais informações sobre o arranjo inicial da estrutura e pode ser considerada aleatória, isotrópica e uniforme.

Figura 31 - Sistema-teste com 36 pontos.

Figura 32 - Representação esquemática do método disector. No volume do disector são considerados a linha proibida e o plano proibido. Todas as partículas que toquem a linha proibida ou o plano proibido são desconsideradas. No exemplo, o plano inferior (look-down) foi considerado o plano proibido. No plano superior as partículas 1, 3 e 5 são observadas e no plano inferior as partículas 3 e 4. No plano superior a partícula 5 toca a linha proibida. Assim, somente a partícula 1 do plano superior será contada.

Figura 33 - (a) Exsudato de cajueiro e (b) goma de cajueiro purificada.

Figura 34 - (a) Gavagem e (b) comprimento rostro-anal dos animais.

Figura 35 - (a) Pesagem e (b) aferição da pressão arterial sistólica dos animais.

Figura 36 - Protocolo de atividades e nomenclatura dos grupos de SHR.

Figura 37 - Perfusão do sistema vascular do animal, através do ventrículo esquerdo.

Figura 38 - (a) Ensaio de Scherle do coração e (b) Medição do comprimento da tíbia.

Figura 39 - Curvas de TG, DTG e DTA da goma de cajueiro purificada.

Figura 40 - Sobreposição das curvas de TG da goma de cajueiro e das “frações” da goma.

Figura 41 - Sobreposição das curvas de DTA da goma de cajueiro e das “frações” da goma.

Figura 42 - Sobreposição das curvas de DSC da goma de cajueiro e das “frações” da goma.

Figura 43 - Curvas de viscosidade de soluções de goma de cajueiro e das frações 70, 60, 50,40 e 30% em 25°C.

Figura 44 - Curvas de fluxo para as soluções de goma de cajueiro e das frações 70, 60, 50,40 e 30% em 25°C.

Figura 45 - Espectros de infravermelho (FTIR) do exsudato e goma de cajueiro purificada.

Figura 46 - Relação entre massa corpórea e comprimento rostro-anal dos ratos do grupo Controle e do grupo Goma durante as semanas de experimento.

Figura 47 - Pressão arterial sistólica, em mmHg, dos ratos dos grupos Controle e dos grupos Goma durante as semanas de experimento.

Figura 48 - Relação massa do ventrículo esquerdo por massa do coração (%).

Figura 49 - Curvas TG, DTG e DTA das amostras de coração de rato do grupo Controle 7.

Figura 50 - Curvas TG, DTG e DTA das amostras do coração de rato do grupo Goma 7.

Figura 51 - Curvas TG, DTG e DTA das amostras do coração de rato do grupo Controle 9.

Figura 52 - Curvas TG, DTG e DTA das amostras do coração de rato do grupo Goma 9.

Figura 53 - Quantidade de resíduos da termogravimetria (TG) remanescente, em 800°C, nas amostras de coração de ratos.

Figura 54 - Curva de DSC de amostras de coração de rato do grupo Controle 7. Análise realizada em equipamento Metler Toledo.

Figura 55 - Curva de DSC de coração de rato do grupo Goma 7. Análise realizada em equipamento Metler Toledo.

Figura 56 - Curva de DSC de coração de rato do grupo Controle 9. Análise realizada em equipamento Metler Toledo.

Figura 57 - Curva de DSC de coração de rato do grupo Goma 9. Análise realizada em equipamento Metler Toledo.

Figura 58 - Curva da cinética da decomposição de amostra de coração de rato do grupo Controle 7, obtida pelo método de Borchardt & Daniels (1957).

Figura 59 - Curva da cinética da decomposição de amostra de coração de rato do grupo Goma 7, obtida pelo método de Borchardt & Daniels (1957).

Figura 60 - Curva da cinética da decomposição de amostra de coração de rato do grupo Controle 9, obtida pelo método de Borchardt & Daniels (1957).

Figura 61 - Curva da cinética da decomposição de amostra de coração de rato do grupo Goma 9, obtida pelo método de Borchardt & Daniels (1957).

Figura 62 - Média do número de núcleos de cardiomiócitos (em milhões) presentes no ventrículo esquerdo. As relações onde $P<0,05$ são estatisticamente significativas.

Figura 63 - Regressão linear do número de cardiomiócitos no ventrículo esquerdo N[cardiomiócitos] versus a pressão arterial sistólica dos ratos com sete meses de vida; o coeficiente de determinação R^2, a equação e os grupos estão identificados.

Figura 64 - Regressão linear do número de cardiomiócitos no ventrículo esquerdo N[cardiomiócitos] versus a pressão arterial sistólica dos ratos com nove meses de vida; o coeficiente de determinação R^2, a equação e os grupos estão identificados.

Figura 65 - Média da área transversal dos cardiomiócitos (μm^2) do ventrículo esquerdo dos animais estudados.

Figura 66 - Densidade de volume de tecido conjuntivo do ventrículo esquerdo dos ratos estudados. Médias entre diferentes idades apresentaram $P<0,05$.

Figura 67 - Densidade de área de vasos intramiocárdicos do ventrículo esquerdo dos ratos estudados.

Figura 68 - Densidade de volume do número de vasos presente no ventrículo esquerdo dos ratos estudados.

Figura 69 - Densidade de comprimento dos vasos intramiocárdicos do ventrículo esquerdo dos ratos estudados.

Figura 70 - Relação de vasos intramiocárdicos/densidade de volume de cardiomiócitos do ventrículo esquerdo dos ratos estudados.

Figura 71 - Fotomicrografias da seção transversal do miocárdio do ventrículo esquerdo de SHR. As seções foram coradas com hematoxilina e eosina. Todas as fotomicrografias tiveram o mesmo aumento. (a) Grupo Controle 7; (b) Grupo Goma 7; (c) Grupo Controle 9; (d) Grupo Goma 9.

Figura 72 - Fotomicrografias da seção longitudinal do miocárdio do ventrículo esquerdo de SHR. As seções foram coradas com Masson. Todas as fotomicrografias tiveram o mesmo aumento. (a) Grupo Controle 7; (b) Grupo Goma 7; (c) Grupo Controle 9; (d) Grupo Goma 9.

Figura 73 - Fotomicrografias do miocárdio do ventrículo esquerdo de SHR. As seções foram coradas com hematoxilina e eosina. Todas as fotomicrografias tiveram o mesmo aumento. (a) Artérias intramiocárdicas dos ratos do grupo Controle 7; (b) Artérias intramiocárdicas dos ratos do grupo Goma 7; (c) Artérias intramiocárdicas dos ratos do grupo Controle 9; (d) Artérias intramiocárdicas dos ratos do grupo Goma 9.

Figura 74 - Sobreposição das curvas de TG do sangue de ratos do grupo Goma 7 e do grupo Controle 7.

Figura 75 - Sobreposição das curvas de DTG do sangue de ratos do grupo Goma 7 e do grupo Controle 7.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Características do cajueiro-anão-precoce e do cajueiro-comum.

Quadro 2 - Resumo das propriedades terapêuticas, ações e composição química do cajueiro.

Quadro 3 - Resumo dos usos do cajueiro segundo a localidade.

Quadro 4 - Resumo das propriedades, usos comuns e usos terapêuticos do cajueiro, *Anacardium occidentale*, segundo as partes da planta.

Quadro 5 - Nome, fonte principal e composição de algumas gomas naturais.

Quadro 6 - Organização de substâncias bioativas em alimentos funcionais quanto à natureza química e molecular.

Quadro 7 - Classificação dos principais carboidratos utilizados na dieta segundo o tamanho da sua molécula (grau de polimerização).

Quadro 8 - Composição química, estrutura e solubilidade das principais fibras alimentares.

Quadro 9 - Tipos de fibras, principais fontes dietéticas naturais e suas principais ações no organismo.

Quadro 10 - Esperança de vida da população brasileira por sexo.

Quadro 11 - Composição química do plasma sangüíneo humano.

Quadro 12 - Curvas padrão e informações obtidas pelas técnicas de análise térmica.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produção mundial de castanha de caju nos principais países exportadores no período de 1994 a 2004

Tabela 2 - Principais produtos brasileiros de lavoura permanente, em área plantada, e o valor da produção

Tabela 3 - Comparação da composição de carotenóides (μg/100g), vitamina A (equivalente em retinol/100g) e vitamina C (mg/100g) entre diferentes tipos de caju e a áreas de plantio (Unidade da Federação)

Tabela 4 - Valores médios e respectivos desvios padrão obtidos por análises termogravimétricas (TG) para quarenta (40) amostras de coração de ratos sacrificados com 7 meses (Controle 7 e Goma 7) e com 9 meses (Controle 9 e Goma 9)

Tabela 5 - Dados cinéticos referentes ao evento endotérmico de transição térmica do coração de ratos do grupo Controle 7 (*), conforme o modelo de Borchardt & Daniels (1956)

Tabela 6 - Dados cinéticos referentes ao evento endotérmico de transição térmica do coração de ratos do grupo Goma 7 (*), conforme o modelo de Borchardt & Daniels (1956)

Tabela 7 - Dados cinéticos referentes ao evento endotérmico de transição térmica do coração de ratos do grupo Controle 9 (*), conforme o modelo de Borchardt & Daniels (1956)

Tabela 8 - Dados cinéticos referentes ao evento endotérmico de transição térmica do coração de ratos do grupo Goma 9 (*), conforme o modelo de Borchardt & Daniels (1956)

Tabela 9 - Energia potencial das amostras de coração dos ratos estudados

LISTA DE SIGLAS

AHA	American Heart Association
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EUA	Estados Unidos da América
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
http	*Hiper Text Transfer Protocol*
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LMMC	Laboratório de Morfologia e Morfofisiologia Cardiovascular.
SECEX	Secretaria de Comércio Exterior
SIGA	Sistema de Informação Gerencial Agrícola
SUS	Sistema Único de Saúde
UERJ	Universidade do Estado do Rio de Janeiro
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
URL	Unified Resource Locator (unidade de localização de recursos)
WHO	World Health Organization
www	*World Wide Web*

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO 1

2 - OBJETIVOS 3

3 - JUSTIFICATIVA 4

4 - O CAJUEIRO 6

4.1 - A árvore: etimologia e características gerais 6

4.2 - História 10

4.3 - Importância sócio-econômica da agroindústria cajueira 14

4.3.1 - Potencialidade econômica da produção e uso da goma de cajueiro 19

4.4 - Partes do cajueiro: seus usos e propriedades nutricionais e terapêuticas 20

4.5 - Goma de cajueiro 24

4.5.1 - Gomas ou hidrocolóides 24

4.5.2 - Características moleculares e tecnológicas da goma de cajueiro 27

5 - OS ALIMENTOS FUNCIONAIS 33

5.1 - O que são os alimentos funcionais? 33

5.1.1 - Definição 35

5.1.2 - Classificação 39

5.2 - Carboidratos nos alimentos 40

5.2.1 - Classificação química 41

5.2.1.1 - Monossacarídeos 42

5.2.1.2 - Oligossacarídeos 43

5.2.1.3 - Polissacarídeos 43

5.3 - Fibras alimentares 48
5.3.1 - Definição 48
5.3.2 - Classificação 49
5.3.3 - Funcionalidade tecnológica 51
5.3.4 - Funcionalidade fisilógica 54
5.3.5 – Recomendação de ingestão 62

6 - SISTEMA CARDIOVASCULAR E SANGUE 64
6.1 - O sistema cardiovascular 64
6.1.1 - O coração 64
6.1.1.1 - Tecido muscular 67
6.1.1.2 - Músculo estriado cardíaco 71
6.2 - Doenças cardiovasculares no mundo 74
6.3 - Hipertensão arterial 78
6.3.1 - Definições e considerações 78
6.3.2 - Ocorrências no mundo 79
6.3.3 - Hipertensão arterial e hipertrofia cardíaca 80
6.4 - O sangue 81

7 - MÉTODOS DE CARACTERIZAÇÃO 84
7.1 - Análise térmica 84
7.1.1 - Termogravimetria (TG) e termogravietria derivada (DTG) 86
7.1.2 - Análise térmica diferencial (DTA) 86
7.1.3 - Calorimetria exploratória diferencial (DSC) 87
7.1.4 - Estudo cinético pelo método de Bochardt & Daniels 87
7.2 - Análise reológica 88
7.2.1 - Fluidos newtoninos 88
7.2.2 - Fluidos não newtonianos 89
7.2.3 - Modelos matemáticos usados em reologia 90
7.3 - Espectroscopia de absorção na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) 92

7.4 - Estereologia 93
7.4.1 - Determinação do volume do órgão – ensaio de Scherle 93
7.4.2 - Cortes aleatórios, uniformes e isotrópicos (AUI) 94
7.4.3 - Sistemas-teste e aquisição de dados 95
7.4.4 - Estimativa de quantidade de objetos – método disector 96

8 - MATERIAIS E MÉTODOS 98
8.1 - Goma de cajueiro 98
8.1.1 - Origem e purificação 98
8.1.2 - Fracionamento 99
8.2 - Animais 100
8.3 - Análise térmica 103
8.4 - Análise reológica 103
8.5 - Espectroscopia de absorção na região do infravermelho 104
8.6 - Análise estereológica 104
8.6.1 - Ensaio de Scherle e medição do comprimento da tíbia 104
8.6.2 - Estereologia 104

9 - RESULTADOS E DISCUSSÃO 107
9.1 - Caracterização da goma e cajueiro 107
9.1.1 - Análise térmica 107
9.1.2 - Análise reológica 110
9.1.3 - Espectroscopia de absorção na região do infravermelho (FTIR) 112
9.2 - Biometria dos animais 113
9.2.1 - Massa corpórea e comprimento rostro-anal 113
9.2.2 - Pressão arterial sistólica 117
9.2.3 - Ensaio de Scherle – volume do ventrículo esquerdo 114
9.3 - Coração 116
9.3.1 - Análise térmica 116
9.3.1.1 - Termogravimetria (TG), termogravimetria derivada (DTG) e análise térmica diferencial (DTA) 116

9.3.1.2 - Calorimetria exploratória diferencial (DSC) 122
9.3.1.3 - Estudo cinético de transição térmica por análise térmica 125
9.3.2 - Estereologia 130
9.3.2.1 - Número de núcleos de cardiomiócitos (N[cardiomiócitos]) no ventrículo esquerdo (VE) 130
9.3.2.2 - Hipertrofia ventricular e remodelamento cardíaco 132
9.3.2.3 - Vasos sangüíneos 135
9.3.4 - Fotomicrografias 138
9.4 - Sangue 142
9.4.1 - Análise térmica 142

10 - CONCLUSÕES 144

11 - SUGESTÕES PARA TRBALHOS FUTUROS 147
12 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 148
ANEXO 1 161
ANEXO 2 169

Capítulo 1 - INTRODUÇÃO

O cajueiro comum, *Anacardium occidentale* L., é uma árvore rústica, tropical e nativa da costa norte do Brasil (TASSARA, 1996; LORENZI, 2004). Atualmente encontra-se disperso em quase todo o território brasileiro, com uma área plantada superior a 680.000 hectares e produção de cerca de 200.000 toneladas de castanhas ao ano (OLIVEIRA *et al*., 2003). No agronegócio do caju encontram-se inseridas diversas atividades econômicas que vão desde a produção agrícola, passam pelo processamento do pedúnculo e da castanha, até o segmento de embalagens, transporte e armazenamento, movimentando grande volume de recursos (ARAÚJO; SILVA, 1995).

O cajueiro é uma planta de múltiplos usos, tanto alimentar como medicinal, e além da castanha de caju, produto economicamente nobre da árvore, suas partes têm sido descritas na literatura científica e popular como tendo propriedades antimicrobioana, anti-séptica, antiinflamatória, afrodisíaca, adstringente, diurética, hipoglicêmica, hipotensiva, purgativa e refrigerante, dentre outras (MOTHÉ, 1992; MOREIRA, 2002).

A goma de cajueiro é um heteropolissacarídeo complexo obtido a partir da purificação do exsudato de cajueiro (resina de coloração amarelada obtida por exsudação natural ou através de incisões efetuadas nos troncos e ramos do cajueiro) (EMBRAPA, 2002; LORENZI, 2004). A goma de cajueiro possui massa molecular (Mw) de aproximadamente $1{,}5 \times 10^4$ e índice de polidispersão de 1,49 obtido por cromatografia de exclusão de tamanho (SEC) (BOTELHO, 1999). A hidrólise da goma resulta em 69,78% de galactose; além de arabinose,

glicose, ramnose, manose, ácido glucurônico e xilose. Sua interação com a água fornece propriedades emulsificantes, adesivas e estabilizantes às soluções. Não apresenta toxicidade, odor ou sabor, por isso, gomas semelhantes a esta já são utilizadas na indústria de alimentos, farmacêutica e cosmética (MOTHÉ; RAO, 1999). Deste modo, a extração do exsudato de cajueiro para produzir a goma se constitui em mais uma possível fonte de renda para o produtor, além da castanha e do pedúnculo, bem como uma alternativa para o aproveitamento dos cajueiros improdutivos ou em fase de declínio (EMBRAPA, 2002).

Nas últimas décadas, o uso de alimentos funcionais, com propriedades terapêuticas além das nutricionais, tem tomado impulso no mundo ocidental (BORDERIAS *et al*., 2005; PIMENTEL *et al*., 2005). Dentre os alimentos funcionais destacam-se as fibras alimentares (celulose, lignina, pectina, gomas, etc.), cujo interesse como componente da dieta surge da associação epidemiológica entre uma elevada ingestão de fibras e a menor incidência de doenças crônicas como o câncer (CÂNDIDO; CAMPOS, 1996; CAPITA; ALONSO-CALLEJA, 2003; VAINIO; MILLER, 2003).

As doenças cardiovasculares (DCVs) tornaram-se uma “epidemia universal” na sociedade moderna com estilo de vida urbano. Segundo relatório da Organização Mundial de Saúde, 29,2% do número total de mortes no mundo foi causado pelas DCVs, no ano de 2002, sendo que este número cresce a cada ano (WHO, 2003). No ano de 2003, as DCVs foram responsáveis por 31,52% das mortes de brasileiros, por cerca de 10% das internações e por 17% das despesas do Sistema Único de Saúde (SUS, 2006). Nos EUA o governo estima que, a cada ano, cerca de trezentos bilhões de dólares são gastos com internações e tratamentos relacionados às DCVs em norte-americanos (AHA, 2004). Estudos mostram que a hipertensão arterial acelera o processo de envelhecimento do coração e é um fator agravante para a ocorrência dos problemas cardiovasculares (OLLIVETTI *et al.*, 1995; FORMAN *et. al*, 1997; AGUILA; MANDARIM-DE-LACERDA, 2001a).

Capítulo 2 – OBJETIVOS

- Purificar e fracionar a goma de cajueiro da espécie *Anacardium occidentale* L.

- Caracterizar a goma e suas frações por análise térmica e por reologia.

- Estudar o comportamento térmico por termogravimetria (TG), termogravimetria diferencial (DTG), análise térmica diferencial (DTA) e calorimetria exploratória diferencial (DSC) do coração e do sangue de ratos espontaneamente hipertensos (SHR) por administração da goma de cajueiro comparativamente a ratos do grupo controle.

- Estudar a cinética de transição térmica referente ao evento de desnaturação de proteínas do coração de ratos por DSC utilizando o modelo de Borchardt & Daniels.

- Avaliar as propriedades funcionais da goma de cajueiro sobre a pressão arterial e sobre o sistema cardiovascular de ratos espontaneamente hipertensos (SHR) utilizando técnicas estereológicas.

Capítulo 3 – JUSTIFICATIVA

O agronegócio do caju no mundo movimenta cerca de 2,4 bilhões de dólares por ano e a importância social desta cultura para o Brasil traduz-se pelo número de empregos diretos que gera, dos quais 35.000 no campo e 15.000 na indústria; além de 250.000 empregos indiretos nos dois segmentos. Para o semi-árido nordestino, a importância é ainda maior, pois, sendo uma planta xerófila e de grande rusticidade, o cajueiro é uma excelente alternativa econômica para o longo período de estiagem anual que caracteriza esta região. Sua colheita ocorre exatamente nesta época em que se escasseiam as oportunidades nas áreas não irrigáveis, gerando empregos e renda na entressafra das culturas tradicionais como milho, feijão e algodão, reduzindo, assim, o êxodo rural (MELO FILHO, 2002; OLIVEIRA *et al.*, 2003).

As doenças cardiovasculares são a principal causa de mortes em todo o mundo e no Brasil é responsável por cerca de 30%. Neste contexto, encontra-se a hipertensão arterial, considerada o principal fator de risco de morbidade e mortalidade cardiovascular. O Ministério da Saúde Brasileira estima que 15% dos brasileiros com 20 anos ou mais sejam hipertensos, o que indica a existência de aproximadamente 12.000.000 de hipertensos no Brasil. Quando não tratada adequadamente, a hipertensão pode acarretar severas complicações; estima-se que aproximadamente 69% das pessoas que sofrem um ataque cardíaco, 77% das que sofrem um infarto e 74% das que sofrem um acidente vascular cerebral possuem pressões arteriais maiores que 140/90 mmHg (AHA, 2004; JARDIM *et al*., 2005).

Tendo em vista a grande a importância social e econômica do agronegócio do caju para o Brasil, a potencialidade de se utilizar economicamente a goma de cajueiro, o número de óbitos no país e no mundo causados por eventos cardiovasculares e a potencialidade do uso de fibras alimentares (gomas) no combate às mais diversas enfermidades, o presente trabalho propõe estudar as propriedades funcionais da goma de cajueiro sobre o sistema cardiovascular de ratos espontaneamente hipertensos (SHR).

Capítulo 4 - O CAJUEIRO

4.1 - A ÁRVORE: ETIMOLOGIA E CARACTERÍSTICAS GERAIS

Nome científico: *Anacardium occidentale*

Família: *Anacardiaceae*

O cajueiro (Figura 1) pertence à família *Anacardiaceae*, constituída por árvores e arbustos tropicais e subtropicais que apresentam ramos sempre providos de canais que produzem resina e folhas alteradas. Existem mais de sessenta gêneros e quatrocentas espécies relacionadas ao gênero *Anacardium*, que produzem frutos parecidos e também comestíveis, todas de ocorrência natural no Brasil, segundo Moreira (2002). A palavra que designa o gênero "Anacardium" é um vocábulo grego que significa "coração invertido" (aná: sobre; cárdia: coração) em alusão à forma do fruto (MOTHÉ, 1992; MOREIRA, 2002; LORENZI, 2004).

As árvores que produzem o caju podem durar até mais de cinqüenta anos e apresentar características das mais diversas. Elas variam desde árvores com porte majestoso, amazônico, atingindo até 40 metros de altura e apresentando pseudofrutos carnosos pouco desenvolvidos (*Anacardium giganteum*), até formas arbóreas de porte médio, não ultrapassando 4 metros de altura (*Anacardium othonianum*) ou herbáceo, com até 80 cm (*Anacardium humilde*). Nesses últimos casos, a castanha apresenta-se com as mesmas características e usos do cajueiro

comum (*Anacardium occidentale* L.), apenas o pseudofruto apresenta tamanho e acidez diferentes (TASSARA, 1996).

Figura 1 – O cajueiro comum – *Anacardium occidentale* L. (LORENZI, 2004)

Árvore de múltipla utilidade onde todas as partes da planta - folhas, flores, frutos e raízes (Figura 2) - são aproveitadas pelo homem, o cajueiro comum (*Anacardium occidentale* L.) possui porte médio e é dotado de tronco curto, geralmente tortuoso, revestido por casca áspera, que descama em pequenas placas de formas irregulares (MOREIRA, 2002; LORENZI, 2004).

O cajueiro comum pertence à espécie *Anacardium occidentale* L. (denominação dada por Lineu que o incluiu na família *Anacardiaceae*, gênero *Anacardium* e espécie *occidentale* Linn) e é a mais importante de todas as espécies do gênero, a única cultivada em escala comercial no mundo (MEDINA, 1978; MOTHÉ, 1992; BONNICI, 2000; MOREIRA, 2002).

O cajueiro comum é uma planta perenifólia, ou seja, que não perde totalmente as folhas durante o ano, adaptada ao crescimento a pleno sol, com nítida preferência por solos arenosos e bem drenados. A primeira floração dá-se entre o 3º e 5º ano de vida. A produção é

estabilizada no 8º ano da planta que vive em média 35 anos (Quadro 1). Floresce abundantemente durante os meses de junho a setembro e frutifica a partir de novembro, podendo estender-se até o mês de janeiro. O cajueiro é halófilo (que gosta de sal), e é bem adaptado ao clima tropical úmido e seco. A planta exige altas temperaturas para o seu desenvolvimento, sendo bastante sensível ao frio e às geadas. A temperatura média anual deve estar em torno de 27°C, com limites entre 22°C e 32°C. Temperaturas baixas afetam negativamente a floração e a frutificação do cajueiro que é conhecido por sua tolerância à seca. Apesar da rusticidade do cajueiro, o seu pomar não dispensa o uso de adubos e outros insumos para que sejam competitivos. As árvores possuem uma larga copa, sempre coberta por folhas, e que, em conseqüência, servem para produzir sombra (PIMENTEL *et al.*, 1998; FREIRE *et al.*, 2002; LORENZI, 2004).

O verdadeiro fruto do cajueiro é a castanha, que consiste em uma amêndoa envolvida por uma casca dura, enquanto o pedúnculo (pseudofruto) se desenvolve na forma de um material suculento, rico em carboidratos conhecido como a polpa de caju.

De acordo com a EMBRAPA (1993), maiores lucros na produção de caju são obtidos quando o plantio é feito com mudas enxertadas de clones de cajueiro-anão-precoce. O cajueiro-anão-precoce recebe este nome devido ao seu baixo porte e precocidade. Este tipo de cajueiro ocorre com maior freqüência nos municípios cearenses de Maranguape, Aquiraz, Cascavel, Pacajús e Aracoiaba e já são explorados em outros estados brasileiros, principalmente Piauí e Rio Grande do Norte.

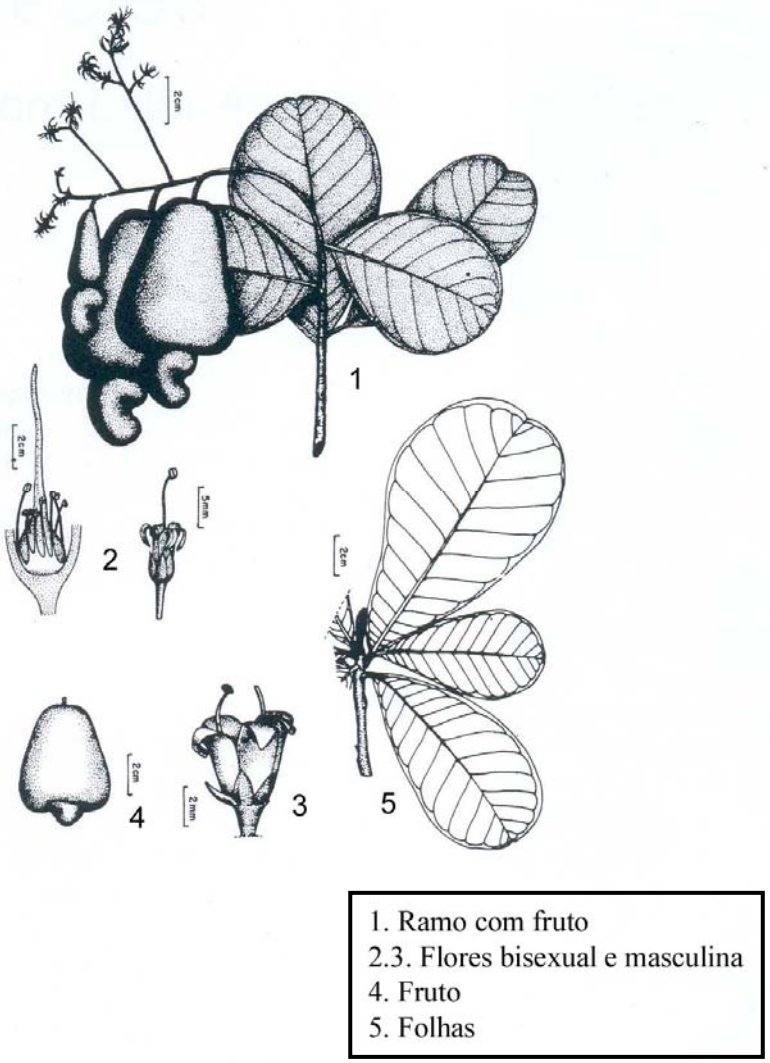


Figura 2 – *Anacardium occidentale* L. – partes da planta (FAO, 1986)

Quadro 1 – Características do cajueiro-anão-precoce e do cajueiro-comum

Características	**Cajueiro-anão-precoce**	**Cajueiro-comum**
Início da produção	1º ano	3º ano
Produção econômica	3º ano em diante	8º ano em diante
Período de floração	10 meses (mai. a fev.)	6 meses (jul. a dez.)
Período de frutificação	7 meses (jul. a jan.)	5 meses (set. a jan.)
Altura da planta	até 6 metros	até 14 metros
Envergadura da planta	8 a 10 metros	13 a 16 metros
Estabilidade da produção	7 anos	12 anos
Produtividade na estabilização	1.300 kg/ha	250 kg/ha

Fonte: EMBRAPA (1993).

4.2 - HISTÓRIA

Supõe-se que as diferentes espécies do gênero *Anacardium*, que se espalharam para o resto do mundo, foram originadas na Amazônia brasileira. O cajueiro (*Anacardium occidentale* L.), representante mais conhecido da espécie, é uma árvore rústica, espontânea, tropical e nativa da costa norte do Brasil, principalmente dos estados do Piauí e Maranhão (TASSARA, 1996; LORENZI, 2004). Atualmente esta planta encontra-se dispersa em quase todo o território brasileiro; especialmente na Região Nordeste, que com uma área plantada superior a 650.000 hectares, responde por mais de 95% da produção nacional, sendo os estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte e Bahia os principais produtores (OLIVEIRA *et al*., 2003).

Não se sabe ao certo desde quando os índios brasileiros vêm utilizando o caju e suas castanhas. Relatos indicam que desde o ano de 1500 os indígenas de fala tupi, habitantes do nordeste do Brasil já conheciam bem o caju e faziam dele um dos seus mais completos e importantes alimentos. Os índios torravam as castanhas sobre o fogo, eliminando assim o líquido da casca de castanha de caju (LCC) presente na camada externa da amêndoa e a utilizavam como alimento. O suco de caju era espremido da polpa e fermentado para produzir vinho. Durante a colonização européia, ainda no século XVI, os índios brasileiros já plantavam cajueiros próximos às suas casas para utilizar a sombra e para estabelecer os limites de seus territórios, mantendo afastados os índios que viviam em outras áreas. Acredita-se, inclusive, que se deve aos indígenas o nome da própria fruta e da árvore, pois as palavras de origem tupi “acaiu” (noz que se produz) e “yu” (amarelo) provavelmente originaram a palavra caju (MEDINA, 1978; SAUER, 1993; LORENZI, 2004; TASSARA, 1996).

Ficaram conhecidas como as “guerras do caju” as lutas pelo domínio temporário dos cajuais travadas entre as tribos indígenas que desciam do interior, na época da frutificação do

caju, e aquelas que viviam no litoral. Supõe-se que foi assim que o cajueiro (pouco exigente quanto a solos e disponibilidade de água) se espalhou por vastas regiões do interior nordestino, principalmente nas terras secas e áridas, onde floresceu e frutificou formando vastos cajuais (TASSARA, 1996).

Quando no século XVI, os primeiros europeus chegaram ao Brasil encontraram uma terra promissora com pessoas e frutos exóticos. André de Thevet, monge e naturalista francês, numa visita ao Brasil em 1558, foi o primeiro a fazer um desenho do caju mostrando o povo local (os índios) colhendo os frutos e espremendo o suco da polpa num grande pote. Cerca do ano 1570, Pero de Magalhães Gandavo escreveu o livro "*Tratado da Terra do Brasil*" (publicado apenas em 1826), mais tarde ampliado para "*História da Província de Santa Cruz, a que vulgarmente chamamos Brasil*", publicado em 1576, em Lisboa, onde fez uma exposição "científica" da geografia, fauna e flora da costa brasileira e uma análise pretensiosa da etnografia indígena. Gandavo descreveu as frutas brasileiras segundo as experiências européias: a banana tendo feição de pepino e pele de figo; os ananás ou abacaxis nascendo como alcachofras e parecendo pinhas; e o cajueiro tendo o tamanho de um pé de macieira ou pereira, a castanha do caju parecendo uma fava e sendo tão gostosa quanto à amêndoa (MEDINA, 1978; BONNICI, 2000). Segundo Martins Soares Moreno, o caju era uma fruta de grande importância para os povos nativos no período pré-colonial: "o tempo desta fruta sustenta todos aqueles índios, que recolhem muita castanha para o inverno. E fazem cada casal mais de três pipas de vinho do caju e guardam para o inverno" (GIRÃO, 1947).

Os cajueiros tornaram-se tão populares entre os colonizadores europeus que ainda na primeira metade do século XVI foram levados do Brasil para Goa, na Índia, pelos portugueses, onde logo se adaptaram à região. Inicialmente, eles eram plantados principalmente para produção de vinhos, licores e conhaques. Da Índia, os cajueiros foram introduzidos em outros países asiáticos e, mais tarde na África (Moçambique e Angola). A

partir daí o caju foi se espalhando para o Quênia, a Nigéria, o Ceilão e as Filipinas. Ali, os cajueiros começaram a crescer em seus terrenos secos e pedregosos, tendo sido incorporados na vida e economia locais. No fim do século XVIII, os cajueiros já haviam se espalhado por toda a região do Oceano Índico (SAUER, 1993; LORENZI, 2004; TASSARA, 1996; MAIA *et al.*, 2000; TAYLOR, 2004). Enquanto isso, no Brasil, os cajueiros foram sendo substituídos por plantações de cana-de-açúcar e, posteriormente, por casas e edifícios luxuosos à beira-mar. Durante muitos anos as possibilidades de exploração econômica rentável do caju foram desconsideradas nas terras brasileiras (TASSARA, 1996).

O comércio das castanhas de caju teve início no começo do século XX e cresceu rápido na década de 30, sendo dominado principalmente pela Índia (SAUER, 1993). A agroindústria de caju no Brasil teve seu início a partir da ampla demanda externa pelo Liquido da Casca de Castanha de Caju (LCC) durante a II Guerra Mundial. Nesta época, a lavoura era explorada em moldes extrativistas e a castanha era utilizada exclusivamente como matéria-prima para a exploração do LCC. Os Estados Unidos eram o principal consumidor mundial e utilizavam LCC na fabricação de cabos de alta tensão. O LCC era considerado um produto estratégico no conflito bélico. Com o fim da II Guerra Mundial a demanda externa pelo LCC brasileiro diminuiu, assim como os seus preços (ARAÚJO; SILVA, 1995). O pesquisador Mauro Mota, na década de 50, afirmou que nunca houve árvore e fruto de tamanha importância e alcance na vida social e na economia regional de uma população. Nessa época, o caju já representava um importante papel na literatura, na poesia, nos ditados populares, na fala, nos jogos infantis, nas crendices, nos costumes, no folclore, na medicina, no mobiliário, na dieta alimentar, na culinária e na doçaria brasileira, especialmente, nordestina (TASSARA, 1996).

Aproximadamente em 1960, a Índia, Madagascar e Moçambique apresentaram um rápido crescimento industrial. Porém os avanços relativos ao cultivo e exploração dos

cajueiros, que inicialmente foram realizados pelos indianos, permaneceram inalterados. Assim, na segunda metade da década de 60, a partir de incentivos fiscais da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), o Brasil se tornou o país com maior área de cajueiros plantada e com uma indústria de processamento implantada para a produção de castanhas, principalmente no Estado do Ceará (SAUER, 1993; ARAÚJO; SILVA, 1995).

Mesmo assim, 10 anos mais tarde, Aguiar (1971), em seu estudo sobre os problemas do nordeste brasileiro classifica as plantações de cajueiro (salvo algumas reservas de plantio) como “agricultura extrativa vegetal”, que é uma agricultura primitiva que se caracteriza pela maneira rudimentar de coleta e pela falta de racionalização das plantações. A cajucultura foi fortemente incentivada no Brasil nas últimas décadas do século XX. Nos anos 70, a SUDENE, financiou a implantação de grandes plantações. Nos anos 80, a SUDENE foi substituída pelo Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal-Fundo Setorial de Investimentos (IBDF-Fiset) que ampliou a área plantada com o financiamento de projetos de porte médio. Desta forma, os cerca de 650.000 hectares de cajueirais cultivados no Nordeste atualmente, (aproximadamente 360.000 no Ceará) são distribuídos de maneira quase uniforme entre pequenos, médios e grandes produtores (MELO FILHO, 2002).

Em 1987, a Embrapa instalou-se no município de Pacajus, no Ceará, o Centro Nacional de Pesquisa de Caju (CNPC). Com a implantação do Centro Nacional de Agroindústria Tropical da Embrapa e a participação da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Ceará (EPACE), extinta em 1998, foram desenvolvidas intensivas pesquisas que produziram várias gerações de clones do cajueiro-anão-precoce, de elevada qualidade genética e de expressiva produtividade (1.200 quilos por hectare/ano em regiões de sequeiro), o que tem aumentado a cada ano a área de cajueiros plantada e a produção de castanhas de caju no estado do Ceará e em todo o Brasil (MELO FILHO, 2002; SIGA, 2005).

4.3 - IMPORTÂNCIA SÓCIO-ECONÔMICA DA AGROINDÚSTRIA CAJUEIRA

Atualmente, o caju constitui um produto de elevada importância sócio-econômica mundial, pois sua produção concentra-se em países considerados subdesenvolvidos ou em desenvolvimento, como é o caso da Índia, Vietnã, Brasil, Moçambique, Tanzânia e Quênia, dentre outros (FAO, 2005). A extração e industrialização de suas castanhas são importante fonte de divisas em exportações para esses países, inclusive para o Brasil (MOTHÉ *et al.*, 1996; TASSARA, 1996).

O Brasil é o quarto maior produtor e o terceiro mais importante exportador de castanhas de caju no mercado mundial, segundo dados da FAO (2005). Em 2004, com uma produção de 212.000 toneladas de castanhas, o Brasil foi responsável por 9% do total da produção mundial. O Vietnã, a Índia e a Nigéria foram os maiores produtores de castanhas neste ano, com produções de 826.000, 460.000 e 213.000 toneladas, o que representa, respectivamente, 36, 20 e 9% da produção mundial de castanhas, que foi de 2.300.000 toneladas (Figura 3).

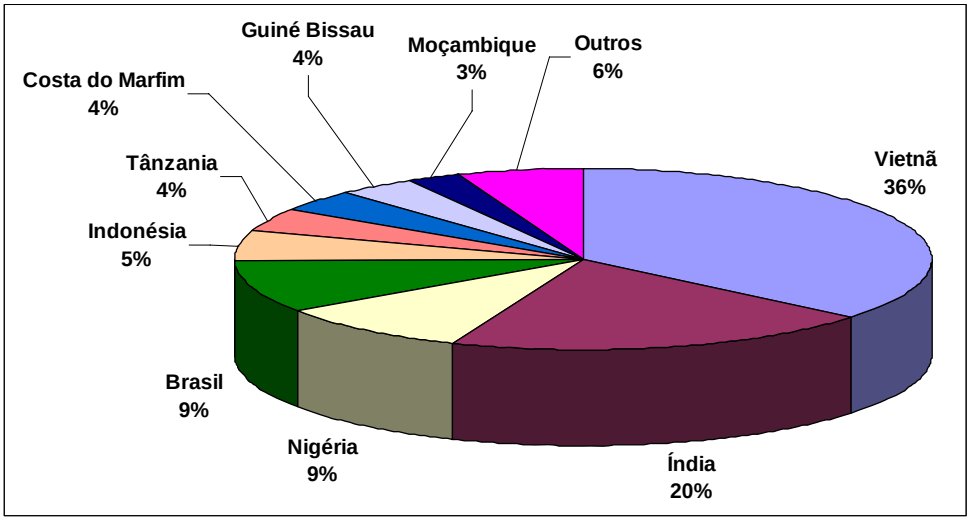


Figura 3 – Principais países produtores e sua participação na produção mundial de castanha de caju - Ano base: 2004 - Fonte: FAO (2005)

Ao analisar a produção mundial de castanhas de caju nos últimos dez anos (Tabela 1) verifica-se que o Brasil se manteve como o terceiro maior produtor até o ano de 1997. A partir de 1998 a Nigéria superou a produção brasileira que, desde então, mantêm-se como a quarta maior no mundo. A partir de 2002, o Vietnã assumiu a liderança entre os produtores superando inclusive a produção da Índia que havia ocupado a posição de maior produtora de castanhas desde 1976. É curioso constatar que em 2004, enquanto os cajueirais do Vietnã mostraram um rendimento superior a 29,2 hg/ha (100 mg de castanhas/ hectare de terra plantada), no Brasil o rendimento ficou em apenas 3,1 hg/ha, demonstrando a necessidade de maiores investimentos na cajucultura brasileira.

Tabela 1 - Produção mundial de castanha de caju nos principais países exportadores no período de 1994 a 2004

Produção (1000t)	**1994**	**1995**	**1996**	**1997**	**1998**	**1999**	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**
Vietnã	208	202	236	268	216	165	270	293	515	658	826
Índia	350	322	418	430	360	460	520	450	460	470	460
Nigéria	85	95	110	125	152	176	184	185	186	209	213
Brasil	150	185	167	125	54	145	139	124	165	178	212
Indonésia	72	75	67	73	87	90	84	91	116	118	120
Total	1.053	1.128	1.312	1.333	1.238	1.449	1.662	1.621	1.882	2.089	2.292

Fonte: FAO (2005).

No ano de 2003 o Brasil exportou 41.000 toneladas de castanhas de caju sem casca, somente sendo superado pela Índia (98.000 toneladas) e pelo Vietnã (84.000 toneladas). As vendas da castanha de caju sem casca geraram um total de US$ 871.000.000,00 para os países produtores. Somente no Brasil foram gerados US$ 144.000.000,00 conforme pode ser observado na Figura 4.

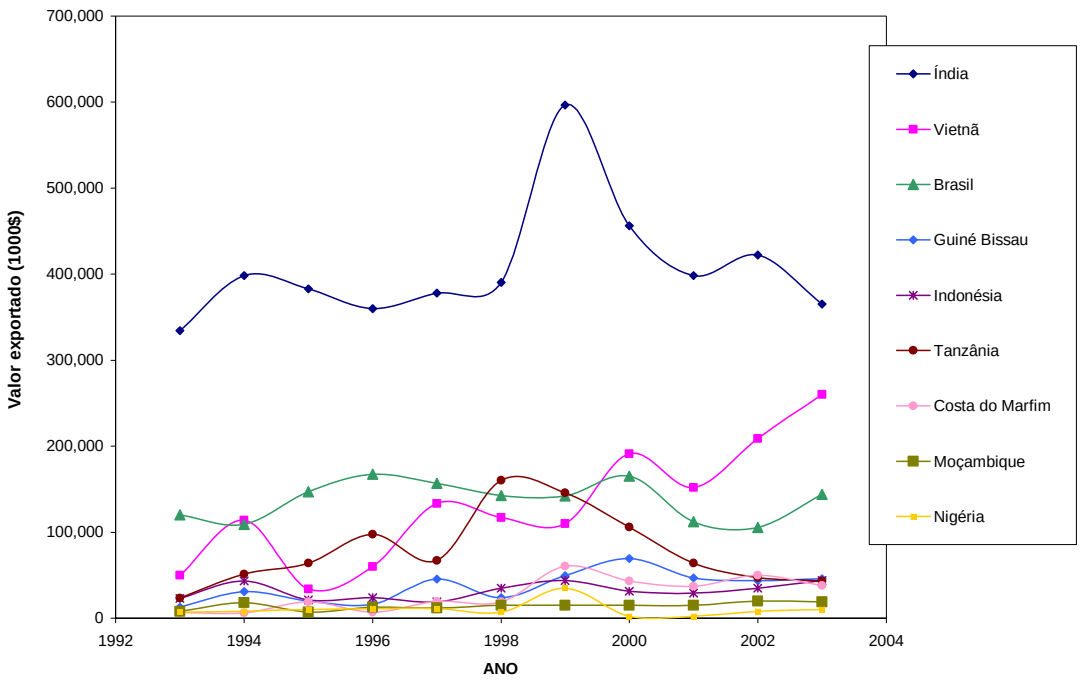


Figura 4 - Principais países exportadores de castanha de caju segundo o valor exportado (em US$ 1000) - Fonte: FAO (2005)

Entre os produtos brasileiros de lavoura permanente, a castanha de caju ocupou, em 2005, o terceiro lugar em quantidade de área cultivada do país (682.516 hectares) perdendo apenas para o café e a laranja (Tabela 2).

Tabela 2 – Principais produtos brasileiros de lavoura permanente, em área plantada, e o valor da produção

Produto agrícola	Área plantada (hectare)	Valor da produção (mil reais)
Café	2.408.023	4.459.428
Laranja	836.689	4.209.685
Castanha de caju	682.516	173.864
Cacau	605.930	812.634
Banana	514.549	2.239.303

Fonte: IBGE (2005).

A cajucultura é uma atividade de grande relevância, principalmente para a Região Nordeste do Brasil, sendo os estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte os principais produtores. No ano de 2003, o estado do Ceará foi o maior produtor nacional de castanhas de

caju tendo sido responsável por 55% da produção nacional (115.000 toneladas), com uma área plantada de 363.891 hectares, seguido dos estados do Piauí (45.000 toneladas) e do Rio Grande do Norte (29.800 toneladas), conforme mostrado na Figura 5. Em 2004, a produção de castanhas foi de aproximadamente 212.000 toneladas (FAO, 2005; IBGE, 2005). O Estado do Maranhão e, mais recentemente, a Bahia vêm adotando uma agressiva política de incentivo à cajucultura o que, em face de suas condições favoráveis, permitem a antevisão de um significativo crescimento de suas produções (MELO FILHO, 2002).

Em 2004, houve aumento de área e de rendimento da produção de castanhas brasileiras, este último devido às boas condições climáticas. O valor exportado em 2004 atingiu o recorde de US$ 186.000.000,00; superando em 29,6% a cifra do ano anterior. Esse crescimento deveu-se à melhoria dos preços unitários (US$/t) de nosso produto no mercado internacional que evoluíram 13,6% e às quantidades exportadas, que tiveram acréscimo de 14,1% em relação a 2003 (DEUS, 2005; FAO, 2005).

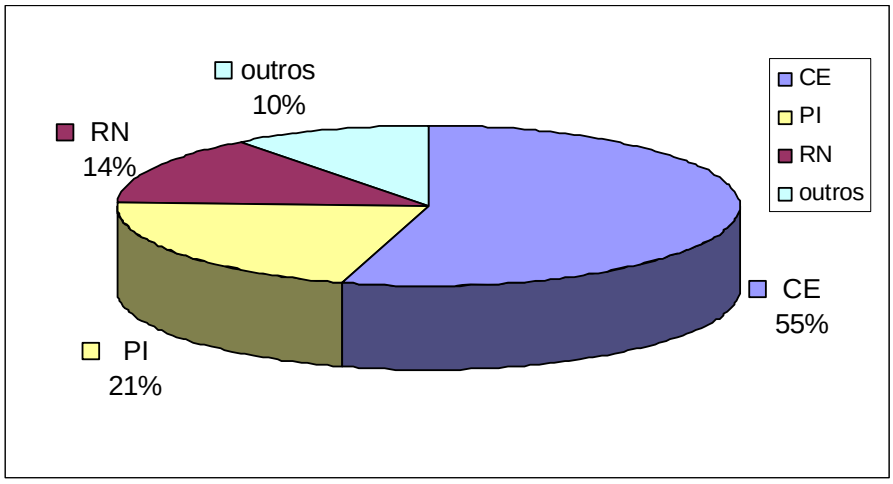


Figura 5 - Produção de castanhas de caju no Brasil, por Unidades da Federação, no ano de 2003. Fonte: CONAB (2005)

Na década de 80 e início da década de 90, a cajucultura brasileira sofreu dois grandes choques. O primeiro choque foi a extinção dos incentivos fiscais e dos subsídios, responsáveis pela consolidação e expansão da cajucultura. Paralelamente, a atividade sofreu em demasia com os efeitos das secas e com a incidência de pragas. Foram seis anos de seca (1980, 1981,

1983, 1990, 1992 e 1993), um ano com excessiva irregularidade de chuvas (1977) e outro com forte incidência de pragas (1986) (FRANÇA; CARVALHO, 1997). Nos últimos dez anos, a exportação brasileira de castanhas de caju fresca ou seca obteve seu menor índice em 1999 (aproximadamente 24.000 toneladas), de acordo com o Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (SECEX/DPPC, 2005). Em 2004, a exportação atingiu valores da ordem de 47.000 toneladas. Embora crescente, a exportação brasileira se mostra instável, conforme pode ser observado na Figura 6.

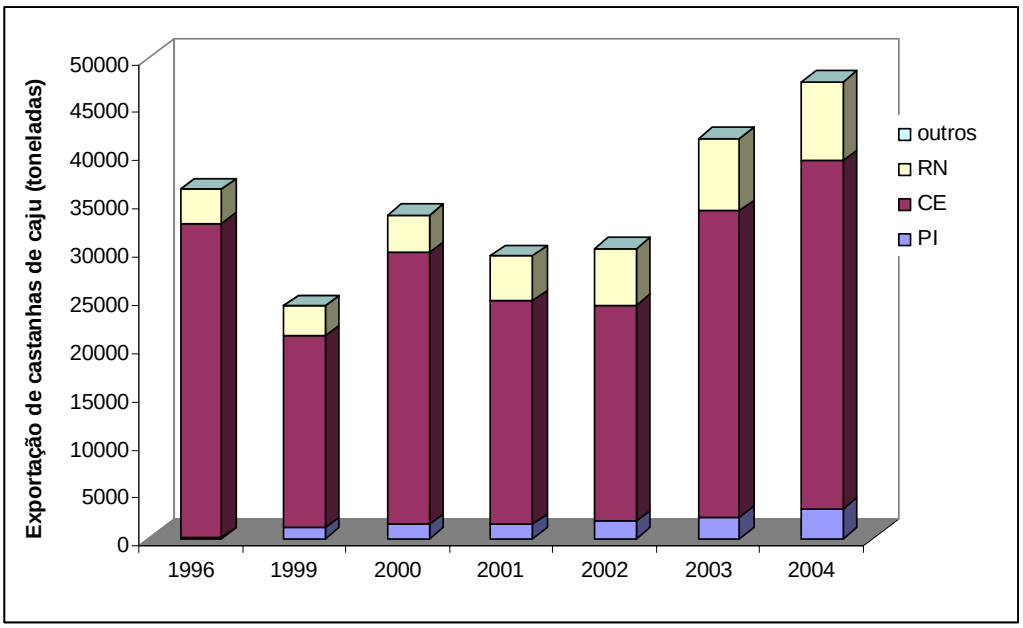


Figura 6 - Exportação de castanha de caju (em toneladas/ por estado) no Brasil no período de 1996 a 2004. Fonte: SECEX/DPPC (2005)

Os Estados Unidos e o Canadá são os principais mercados consumidores da amêndoa brasileira, sendo responsáveis por cerca de 90% das importações, seguidos pela Itália e pelo Líbano, segundo pode ser observado na Figura 7. O agronegócio do caju no mundo movimenta cerca de 2,4 bilhões de dólares por ano (OLIVEIRA *et al.*, 2003). De acordo com Sakamoto (2001), juntamente com a produção de castanhas, a transformação industrial dos pseudofrutos, principalmente na forma de sucos, também é bastante importante para a economia do Nordeste brasileiro. No agronegócio do caju encontram-se inseridas diversas atividades econômicas que vão desde a produção agrícola, passam pelo processamento do

pedúnculo e da castanha, pelo segmento de embalagens, transportes e armazenamento, movimentando grande volume de recursos (ARAÚJO; SILVA, 1995).

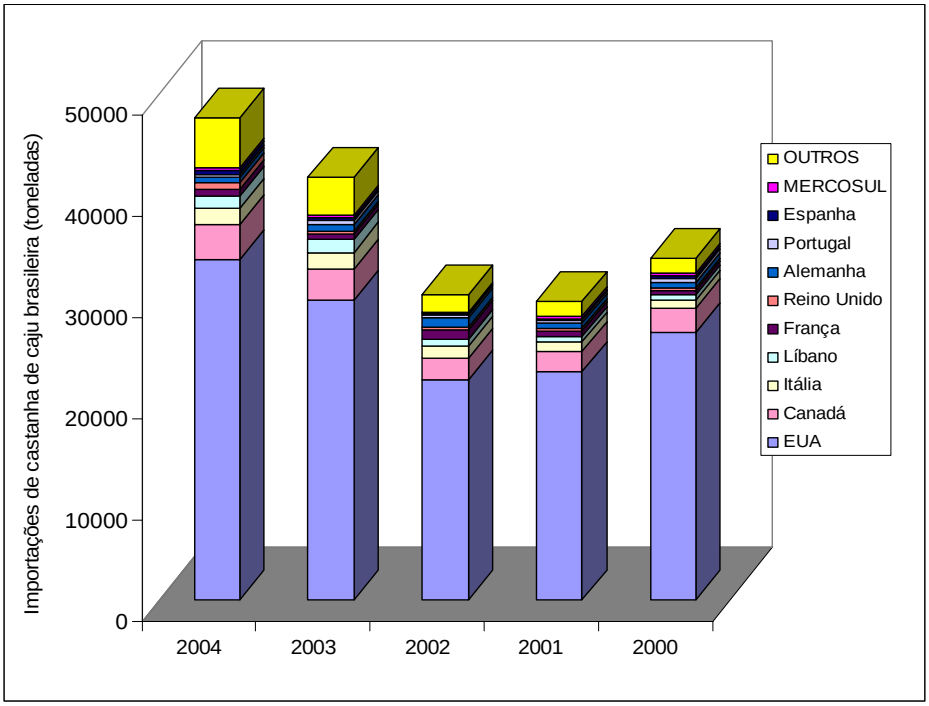


Figura 7 - Quantidade de castanha de caju importada (em toneladas) no período de 2000 a 2004 pelos principais países/comunidades compradores. Fonte: SECEX/DPPC (2005)

4.3.1 – Potencialidade econômica da produção e uso da goma de cajueiro

O uso de gomas naturais, provenientes dos exsudatos e de extratos de plantas, vem tomando grande impulso pelas múltiplas e lucrativas possibilidades de industrialização e pelo excelente mercado internacional: um bilhão de libras/ano (500 toneladas) de gomas naturais é consumido nos Estados Unidos, com crescimento superior a 8% ao ano (BARBOSA, 2004).

A goma de cajueiro possui características emulsificantes, adesivas, estabilizantes e atóxicas semelhantes à goma arábica (MOTHÉ; RAO, 2000), podendo substituí-la como cola líquida para papel, na indústria farmacêutica, em cosméticos e como aglutinante de cápsulas e comprimidos; e na indústria de alimentos, como estabilizante de sucos, cerveja e sorvetes,

bem como clarificante de sucos, podendo ser utilizada na fabricação da cajuína (EMBRAPA, 2002).

Em um universo maior, a goma do cajueiro não só poderia acabar com a importação da goma arábica, que custa ao Brasil cerca de US$ 1.900.000,00 de dólares ao ano, como também pode vir a ser um produto de exportação, segundo o Centro Nacional de Pesquisa de Agroindústria Tropical da Embrapa (BARBOSA, 2004).

4.4 – PARTES DO CAJUEIRO: SEUS USOS E PROPRIEDADES NUTRICIONAIS E TERAPÊUTICAS

O cajueiro é uma planta de múltiplos usos, tanto alimentar como medicinal, sendo suas partes (Figura 8) descritas na literatura científica e popular como tendo propriedades antimicrobiana, anti-séptica, antiinflamatória, afrodisíaca, adstringente, diurética, hipoglicêmica, hipotensiva, purgativa e refrigerante (Quadro 2).

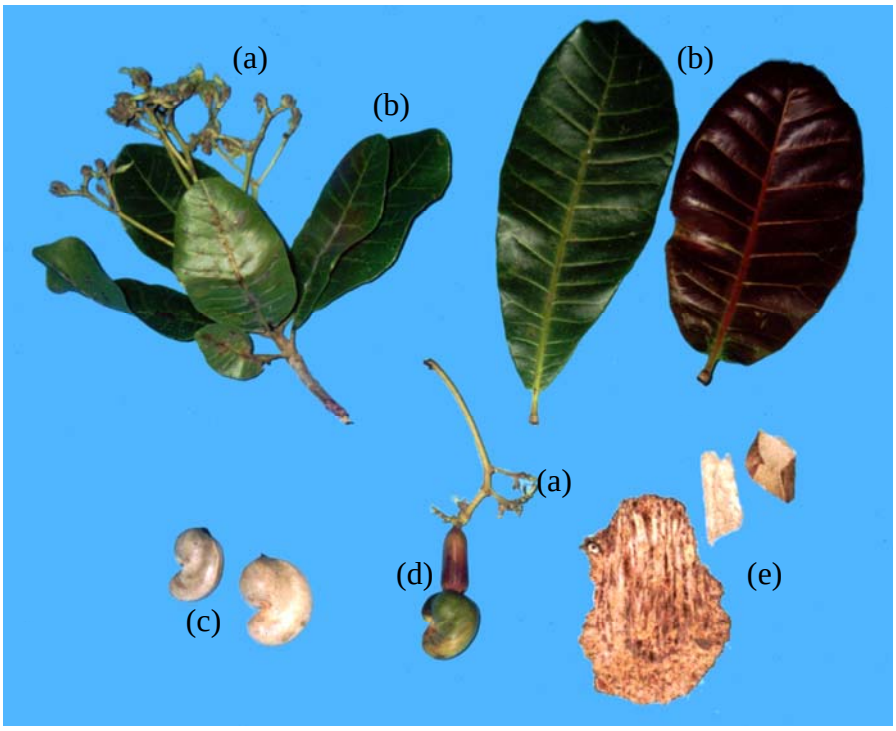


Figura 8 – *Anacardium occidentale* L. – partes da planta: (a) flores, (b) folhas, (c) fruto maduro, (d) fruto verde (com pedúnculo não desenvolvido) e (d) raspas da casca do caule

As partes do cajueiro são utilizadas para amenizar/curar as mais variadas enfermidades em diversos países do mundo. No Brasil, dentre outros usos, elas são usadas como analgésico, afrodisíaco, contra bronquite e dor de garganta; no Haiti para combater o diabetes, estomatites e dores de dente; e na Malásia contra a diarréia e vômitos (Quadro 3).

Pesquisadores dos mais diferentes países têm estudado as partes do cajueiro, descrevendo suas composições e propriedades (Quadro 4). O alto valor nutritivo do pedúnculo (caju), por exemplo, é relativo à presença de vitaminas e sais minerais. No caju é encontrada a vitamina C (262 mg/100g suco integral) em quantidades quase que cinco vezes maior que na laranja (EMBRAPA, 2002), teores consideráveis de açúcares (8,7 mg/100g de suco), taninos e minerais, principalmente, cálcio (18,0 mg/100g), ferro (3,0 mg/100g) e fósforo (11,0 mg/100g) (FAO, 1986; FIGUEIREDO *et al.*, 2002; OLIVEIRA *et al.*, 2003; TAYLOR, 2004). Por isso, o suco de caju é indicado contra gripe (TAYLOR, 2004), eczemas de pele e reumatismo (PRADO *et al*., 2005); como agente antitumoral (KUBO *et al.*, 1993) e para aumentar a movimentação intestinal (fibras) (AGUIAR *et al*., 2000; LIRA; ALDRIGUE, 2000; ASSUNÇÃO; MERCADANTE, 2000).

Os constituintes do líquido de castanha de caju (LCC) são principalmente fenólicos: ácido anacárdico, cardol, 2-metil-cardol e cardanol (MOTHÉ, 1992; PAULA, 2004); os quais podem ser utilizados como matéria-prima para a síntese da lasiodiplodina, conhecida por atuar contra a leucemia (câncer de sangue) (CAPOBIANCO, 2005).

O Quadro 4 apresenta um resumo das variadas propriedades, dos usos mais comuns e dos usos terapêuticos das partes do cajueiro descritos na literatura científica.

Quadro 2 – Resumo das propriedades terapêuticas, ações e composição química do cajueiro

Algumas propriedades e ações	Antibacteriana, antimicrobiológica, anti-séptica, antiinflamatória, afrodisíaco, adstringente, diurético, hipoglicêmica, hipotensiva, purgativa, refrigerante, tônico.
Composição química da planta	Alanina, alfa-catequina, ácido alfa-linolênico, ácido anacárdico, anacardol, antimônio, arabinose, benzaldeído, beta-sitosterol, ácido caprílico, cardanol, cardol, europium, folacina, ácido gadoléico, galactose, ácido gálico, ácido glucurônico, ácido glutâmico, hexanal, histidina, ácido hidroxibenzóico, isoleucina, ácido láurico, leucina, leucocianidina, leucopelargonidina, limoneno, ácido linolêico, ácido metil-glucurônico, ácido mirístico, ácido oléico, adido oxálico, ácido palmítico, ácido palmitoléico, fenilalanina, fitoesteróis, prolina, ácido salicílico, serina, ácido esteárico, taninos, trans-hex-2-enal triptofano.

Fonte: TAYLOR (2004).

Quadro 3 – Resumo dos usos do cajueiro segundo a localidade

África	Malária, tatuagem.
Brasil	Analgésico, afrodisíaco, astenia, asma, bronquite, calosidades, tosse, diabetes, diurético, eczema, febre, gargarejo, impotência, cólica intestinal, leishmaniose, debilidade muscular, estimulante, sífilis, dor de garganta, aftas, problemas urinários, problemas venéreos.
Haiti	Cáries, diabetes, estomatites, dor de dente.
Malásia	Catarro, constipação, dermatoses, diarréia, náusea.
México	Diabetes, diarréia, fraqueza, lepra, veneno, pele, sífilis, úlceras.
Panamá	Asma, resfriado, congestão, diabetes, diarréia, hipertensão arterial, inflamação.
Peru	Anti-séptico, diarréia, resfriado, infecção, infecções de pele.
Trindade	Asma, diarréia, disenteria, dispepsia, dor de estômago.
Turquia	Diarréia, febre, veneno.
Venezuela	Disenteria, gargarejos, lepra, dor de garganta.
Outros	Asma, adstringente, resfriado, cólica, congestão, debilidade, diabetes, diurético, disenteria, veneno, purgativo, infecções na pele, tumor.

Fonte: TAYLOR (2004).

Quadro 4 - Resumo das propriedades, usos comuns e usos terapêuticos do cajueiro, *Anacardium occidentale*, segundo as partes da planta

Parte do cajueiro	Propriedades	Usos comuns	Usos terapêuticos
Fruto verdadeiro (Castanha de caju)	Rica em óleo de alta qualidade (40-50%), em proteínas (24,6g)* em carboidratos, em minerais e em calorias.	Aperitivo, confecção de doces e culinária exótica.	X
Pseudofruto (Caju)	Rico em vitamina C (262mg)*, açúcares (8,7mg)*, taninos, cálcio (18,0mg)*, ferro (3,0mg)*, fósforo (11,0mg)*, carotenóides, vitamina A, niacina e fibras. Desintoxicador, diurético e refrescante. Efeito significativo contra células de carcinoma de seio BT-20.	Suco de caju, vinho, conhaque, licor, geléia, sorvete, doces diversos, cajuína, refrigerante gaseificado, mel e vinagre.	Contra gripe, eczemas de pele e reumatismo. Antitumoral. Para aumentar a movimentação intestinal (fibras).
Líquido da casca de castanha de caju (LCC)	Rico em compostos fenólicos (cardanol, ácido anacárdico e 2-metil cardol). Efeito contra o carcinoma 256. Atividade antimicrobiana.	Verniz, resinas, plásticos, isolante, inseticida, tinta e formulações de lonas de freio.	Síntese da lasiodiplodina que atua contra a leucemia. Contra cárie dentária. Produção de filtro solar. Remédio para calos, úlceras cancerosas e elefantíase.
Exsudato/seiva	Rico em polissacarídeos.	Inseticida, verniz e cola.	X
Goma de cajueiro	Rica em polissacarídeos e fibras alimentares.	Espessante, estabilizante e adesivo na indústria farmacêutica e alimentícia.	Contra afecções catarrais, tosses, aftas, eczemas e oftalmias.
Folhas	Rica em taninos, flavonóides, glicídios e glicose. Funções antibactericidas, antioxidantes, efeitos vasodilatadores e efeitos protetores contra disfunções endoteliais.	X	Tratamento de verminoses, disenteria, diabetes, hipertensão arterial e diarréia.
Casca do cajueiro	Rica em taninos e alcalóides. Intensa atividade antimicrobiana.	X	Combate de amidalites e gengivites; e alivia dores de dente.
Madeira	X	Carvão vegetal, lenha e na confecção de caixas.	X

Fonte: MACHADO (1943); MEDINA (1978); CECCHI e RODRIGUEZ-AMAYA (1981)**;** DUKE (1983); FAO (1986) ; EMBRAPA (1992) ; MOTHÉ (1992); KUBO *et al.* (1993); MOTHÉ *et al.* (1996); KAMTCHOUING *et al*. (1998); KUDI *et al.* (1999); AGUIAR *et al*. (2000); ASSUNÇÃO e MERCADANTE (2000); LIRA e ALDRIGUE (2000); LIMA *et al.* (2000); AKINPELU (2001); FIGUEIREDO *et al.* (2002) ; FREIRE *et al.* (2002); IKEDA *et al.* (2002); ASSUNÇÃO e MERCADANTE (2003a, b); OLIVEIRA *et al.* (2003); LORENZI (2004); MARTINS (2004); PAULA (2004); RUNNIE *et al.* (2004); TAYLOR (2004); CAPOBIANCO (2005); PRADO *et al*. (2005).

* valores em 100g de suco.
X: dados não encontrados pelo autor.

4.5 - GOMA DE CAJUEIRO

4.5.1 - Gomas ou hidrocolóides

O termo goma é originário do grego *kúmmi* e do latim *gummi*, enquanto a palavra tem origem no Egito, onde começou a ser usada para denominar originalmente os exsudatos. Há quatro mil anos, os egípcios denominaram *kammi*, a goma arábica, que era utilizada como estabilizante de pigmentos minerais em tintas (BOTELHO, 1999). Em meados do século XX, Tiomno (1946) definiu gomas como "substâncias exsudadas por diversas espécies de vegetais e que se apresentam amorfas, não voláteis, inodoras e insípidas". Na atualidade, a palavra goma é empregada genericamente para caracterizar compostos de alto peso molecular capazes de formar gel em presença de agentes de inchamento ou solventes apropriados, e de formar suspensões ou soluções altamente viscosas, mesmo em baixas concentrações. Por essa definição, que não restringe o termo aos polissacarídeos hidrossolúveis, algumas substâncias hidrofóbicas, como hidrocarbonetos de alto peso molecular derivados de petróleo, borrachas, certos polímeros sintéticos e muitas resinas e proteínas, podem ser comumente denominadas gomas. Porém, é comum denominar de goma os polissacarídeos de origem vegetal ou microbiana que se dissolvem parcial ou integralmente em água fria e/ ou quente, produzindo suspensões ou soluções viscosas; daí estas substâncias também serem chamadas de hidrocolóides (CORREIA, 2002).

Sendo assim, gomas ou hidrocolóides são polissacarídeos de cadeia longa extraídos de plantas marinhas, sementes, exsudatos de árvores e de colágeno animal, que pertencem à classe dos carboidratos. Podem ser produzidos por modificação de polissacarídeos naturais ou por síntese microbiana (PENNA, 2002). Normalmente, as gomas são insolúveis no álcool e no éter, os quais são capazes de precipitá-las de suas dissoluções. Na água, algumas gomas são

dispersáveis; outras são parcialmente solúveis e outras são quase não dispersáveis, inchando-se na água e fornecendo uma geléia coloidal espessa, provocando um efeito de aumento de viscosidade (CORREIA, 2002; PENNA, 2002).

As gomas podem ser classificadas em três categorias principais: gomas naturais; modificações das naturais ou semi-sintéticas; e gomas sintéticas, preparadas por síntese química (PENNA, 2002). As gomas naturais podem ser divididas em: gomas exsudadas de plantas, gomas de sementes de plantas, gomas de algas marinhas e gomas produzidas por microrganismos. No Quadro 5, relacionam-se o nome, a fonte principal e a constituição de alguns diferentes tipos de gomas naturais. As gomas naturais exsudadas são resinas secas produzidas pelas plantas com a finalidade de cobrir ferimentos existentes em frutos e troncos de árvores evitando o ataque de microrganismos. Essas gomas normalmente são constituídas por unidades básicas de D-galactose e L-ramnose, unidas com outras unidades de monossacarídeos (PENNA, 2002; BOBBIO; BOBBIO, 2003). As gomas semi-sintéticas são gomas naturais quimicamente modificadas. Este grupo compreende os derivados de celulose, da pectina e do amido. Compostos de carboximetilcelulose, metilcelulose e hidroxipropilmetilcelulose são exemplos de celulose modificada que são amplamente utilizados como agente espessante, estabilizante e gelificante (PENNA, 2002; BOBBIO; BOBBIO, 2003). Algumas gomas sintéticas têm substituído certas gomas naturais em várias aplicações em alimentos. Neste grupo destacam-se a polivinilpirrolidina (PVP), o carboxivinil polímero (Carbopol) e polímeros de óxido de etileno (Polyox) (PENNA, 2002).

Quadro 5 – Nome, fonte principal e composição de algumas gomas naturais

Nome	Fonte principal	Composição
Gomas exsudadas		
Arábica	*Acácia senegal*	D-galactose, L-arabinose, L-ramnose, ácido-D-glucurônico.
Cajueiro	*Anacardium occidentale* L.	D-galactose, L-arabinose, D-glicose; L-ramnose; D-manose; ácido-D-glucurônico, D-xilose.
Ghatti	*Anogeissis*	D-galactose, D-manose, L-ramnose, L-arabinose.
Karaya	*Stercullia urens*	D-galactose, L-ramnose, ácido-D-galacturônico.
Tragacante	*Astragalus*	D-xilose, L-arabinose, ácido-D-galacturônico, ácido-D-glucurônico.
Gomas de sementes		
Guar	*Cyamopsis tetragonolobus*	D-galactose, D-manose.
Locuste	*Ceratonia siliqua*	D-galactose, D-manose.
Tamarindo	*Tamarindus indica*	D-xilose.
Gomas de algas marinhas		
Agar	*Gelidium amansii*	Agarose: D-galactose; 2,6-anidro-L-galactose
	G. pacijicum	Agaropectina: D-galactose; 3,5-anidro-L-galactose; radicais sulfato; ácido-D-glucurônico; ácido pirúvico.
Alginatos	*Laminaria* spp	Ácido-D-manurônico; ácido-L-gulurônico.
Carragenanas	*Chondrus crispus* L	D-galactose; 2,6-anidro-L-galactose; radicais sulfato.
Furcelaranas	*Furcellaria jastigiata*	3,6-anidro-D-galactose; D-galactose sulfato.
Gomas produzidas por microrganismos		
Curdlanas	*Alcaligenes faecalis*	D-glucopiranoses.
Dextranas	*Leuconostoc mesenteroides*	D-glicose
Xantanas	*Xanthomonas campestris*	D-glicose, D-manose, ácido-D-glucurônico, grupos acetílicos, ácido pirúvico.

Fonte: CORREIA (2002); BOBBIO e BOBBIO (2003).

4.5.2 – Características moleculares e tecnológicas da goma de cajueiro

O exsudato de cajueiro é uma resina de coloração amarelada obtida por exsudação natural ou através de incisões efetuadas nos troncos e ramos do *Anacardium occidentale* L. (Figura 9). Este exsudato resinoso é pouco atacado por insetos e apresenta-se como poderosa cola de madeira, quando misturada com água; possui ação fungicida e inseticida, com grande utilização na encadernação de livros; além de ser usada na fabricação de tintas e vernizes (EMBRAPA, 2002; LORENZI, 2004).

A exsudação do tronco do cajueiro não causa prejuízos para a árvore. Há estudos que relatam, inclusive, o aumento da produção de castanhas em árvores com mais de 25 anos de extração da goma. Em plantas jovens (10 ou 15 anos), o exsudato só é produzido em boa quantidade no período de floração, enquanto os cajueiros velhos estendem a produção a períodos bem mais longos. Diversos tipos de estimulantes eficientes e baratos podem ainda ser usados para iniciar e/ou aumentar a produção de exsudato, tais como o ácido sulfúrico, o ácido lático e o ácido 2-cloroetil – fosfônico (PAULA; RODRIGUES, 1995).

Após a purificação do exsudato, obtém-se a goma de cajueiro que é um heteropolissacarídeo, cuja massa molecular (Mw) é de aproximadamente $1,5x10^4$ e índice de polidispersão de 1,49 obtido por cromatografia de exclusão de tamanho (SEC) (BOTELHO, 1999). Utilizando exsudato de cajueiro de Pacajús (Ceará), Rodrigues e colaboradores (1993) obtiveram uma goma com um rendimento de 78%, umidade em torno de 16%, cinzas 0,67%, nitrogênio 0,18% e proteína 1,1%.

Tiomno (1946) fez a análise qualitativa das cinzas da goma de cajueiro e constatou a presença de ferro, alumínio, cálcio, magnésio, silício, potássio e traços de sódio e manganês.

Análises de fluorescência de raios X da goma de cajueiro, realizadas por Correia

(2002) revelaram que a goma apresenta um teor de cálcio menor que 1% e traços de ferro, manganês e potássio.

Figura 9 – Exsudação do tronco do cajueiro (LORENZI, 2004)

Paula e Rodrigues (1995), estudando a composição da goma de cajueiro da Índia, Papua e do Brasil, verificaram que a goma brasileira possui maior conteúdo de galactose (73%) além de: arabinose (5%), glicose (11%), ramnose (4%), manose (1%) e ácido glucurônico (6,3%). Porém, em sua dissertação de mestrado, Botelho (1999), descreveu que a hidrólise da goma de cajueiro brasileira resulta em 69,78% galactose; 11,84% arabinose, 9,78% glicose; 2,28% ramnose; 0,97% manose; 0,52% ácido glucurônico e 1,29% xilose.

A composição da goma de cajueiro produzida a partir de exsudatos de cajueiro proveniente de diferentes localidades possui composições ligeiramente distintas, e como conseqüência, as propriedades físicas e químicas destas podem não ser equivalentes (CORREIA, 2002).

A análise estrutural da goma de cajueiro proveniente da Índia foi proposta por Anderson e Bell (1975) que descreveram a goma como um polissacarídeo ácido complexo composto de uma cadeia principal de β-galactose (1→3) com ramificações de β-galactose (1→6); e com arabinose como grupo terminal ou em pequenas cadeias com cinco unidades fazendo ligações do tipo (1→2). Também foram encontrados como resíduos terminais ramnose, ácido glucurônico, ácido 4-O-metilglucurônico, xilose, glicose e manose. O

principal ácido presente é o ácido 6-O-(β-D-glucopiranosilurônico)-D-galactose. A Figura 10 mostra a possível estrutura para a goma de cajueiro sugerida por Anderson e Bell (1975).

A estrutura da goma de cajueiro nativa do Brasil foi estudada por Menestrina e colaboradores (1998). Ela é altamente ramificada (Figura 11), com uma cadeia principal de **(1)** β–Galactopiranosilas (1→3) com ramificações laterais de **(2)** β-D-Glicopiranosilas-(1→6)-b-D-Galactopiranosilas (1→6)-β-D-Galactopiranosilas, **(3)** α-D-Galactopiranosilas-(1→6)-D-Galactopiranosilas-, **(4)** α-L-Arabinofuranosilas-(1→6)-D-Galactopiranosilas- e **(5)** α-L-Ramnopiranosilas-(1→4)-β-D-GlicopiranosilasA. Ainda segundo os autores, a estrutura do polissacarídeo brasileiro apresenta estruturas semelhantes em relação à goma descrita anteriormente por Anderson e Bell (1975), especialmente a cadeia principal de β–D-Galactopiranosilas ligadas em (1→3). A goma brasileira é altamente ramificada por cadeias laterais (nas posições O-6) com unidades longas. Constatou-se a presença de monossacarídeos livres (0,005% de ramnose; 0,007% de manose; 0,03% de galactose e 0,02% de glicose) e de oligossacarídeos isolados. As diferenças quantitativas, observadas por Menestrina e colaboradores (1998), foram atribuídas à evolução das técnicas utilizadas.

O espectro de ressonância magnética nuclear (RMN) de ^{13}C de amostras de goma de cajueiro proveniente da Venezuela mostrou a presença de ácido urônico (171,5 e 175,8 ppm) e de resíduos de arabinofuranose (MOTHÉ; RAO, 1999).

Estudos de comportamento térmico e de características hídricas da goma de cajueiro originária do Brasil foram realizados por Mothé e Rao (2000), com calorimetria exploratória diferencial (DSC) na razão de aquecimento de 10°C/min, em atmosfera de nitrogênio e em temperaturas de -50 a 250°C. Eles indicaram que soluções concentradas (0-40% de água) apresentam um evento endotérmico de gelificação em torno de 97°C e soluções pouco concentradas (50-80% de água) apresentam múltiplos eventos endotérmicos. As curvas de

calorimetria exploratória diferencial (DSC) mostraram um evento endotérmico referente à fusão dos cristais durante o aquecimento (sugerindo a formação de gel).

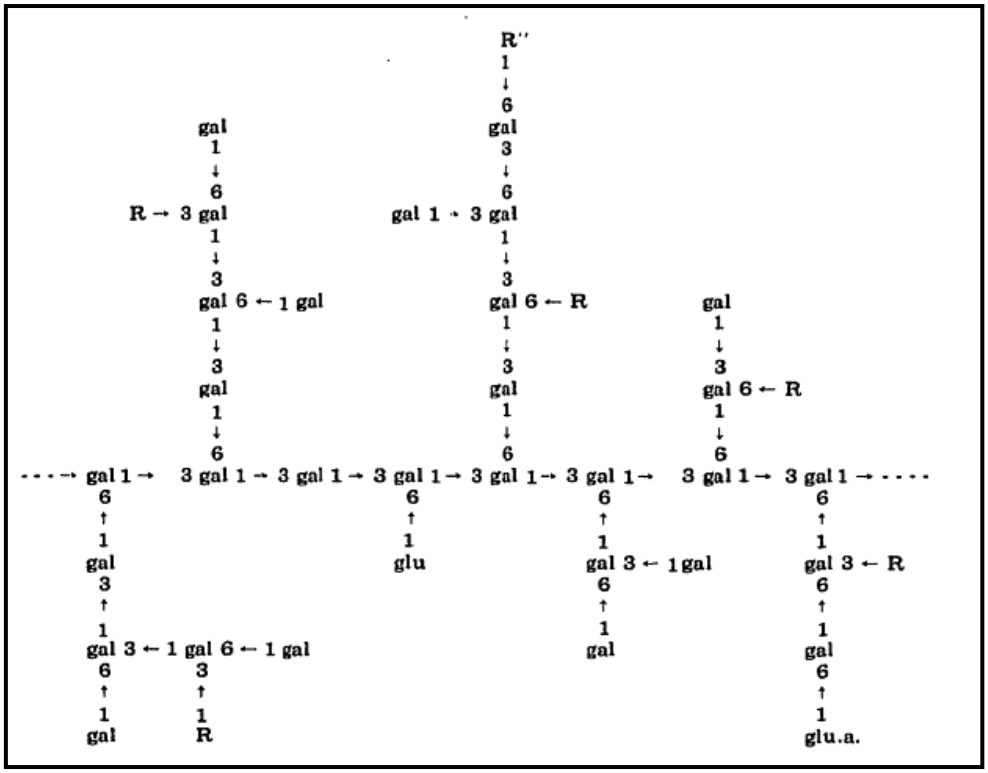


Figura 10 – Possível fragmento estrutural da goma de *Anacardium occidentale* proveniente da Índia. R representa D-manose, D-xilose, L-ramnose, L-arabinose. R" representa D-glicose ou ácido glucurônico (ANDERSON; BELL, 1975)

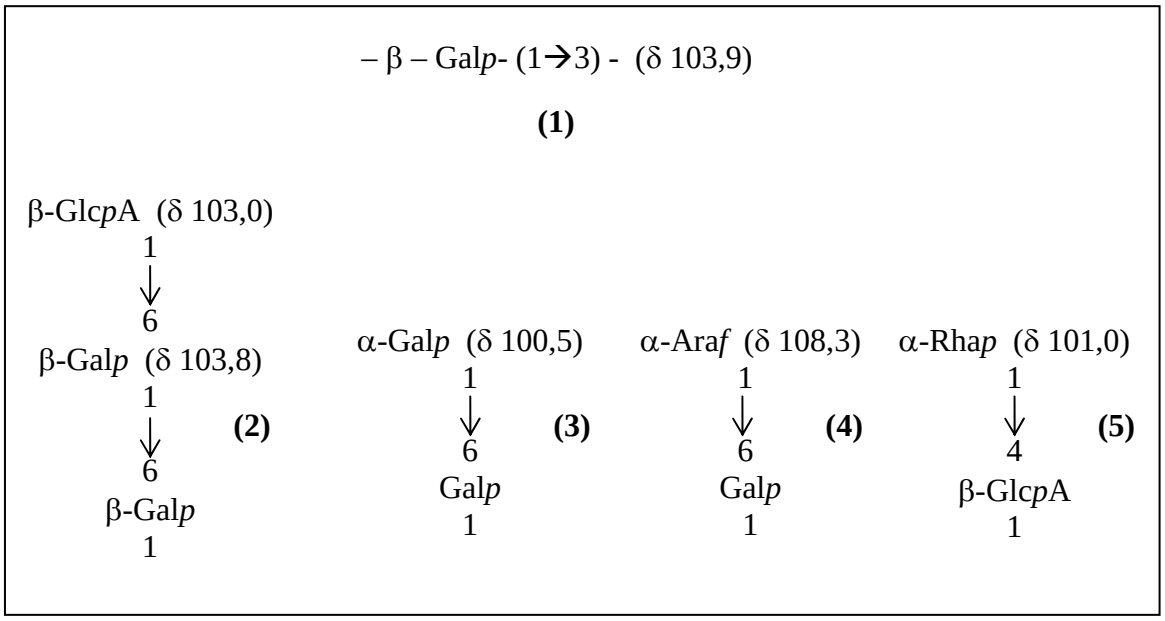


Figura 11 – Fragmentos da estrutura da goma de cajueiro (*Anacardium occidentale*) nativa do Brasil **(1)** cadeia principal **(2)**, **(3)**, **(4)** e **(5)** ramificações (MENESTRINA *et. al.*, 1998)

Segundo Mothé e Rao (2000), as curvas de termogravimetria (TG) da goma de cajueiro em diferentes concentrações (p/p) - na razão de aquecimento de 10°C/min, em atmosfera de nitrogênio e em temperaturas de 0-800°C - apresentaram dois estágios de decomposição, sendo o principal estágio em torno de 252°C. De acordo com os autores, este comportamento térmico mostrou-se similar ao da goma arábica podendo então, em termos de estabilidade térmica, substituí-la em seus usos.

Correia (2002) estudou o evento de gelificação da goma de cajueiro a partir de curvas de DSC da goma de cajueiro utilizando diferentes equipamentos (razão de aquecimento de 10°C/min). Os valores de energia de ativação referente ao evento de gelificação da goma de cajueiro utilizando os modelos de Borchardt & Daniels e Model Free Kinectis foram, respectivamente, 47,80 KJ/mol e 60,3 KJ/mol.

De acordo com Mothé e Rao (1999), a goma de cajueiro brasileira apresenta comportamento não-newtoniano em soluções aquosas com concentrações entre 4 e 50% (p/v), em uma faixa de taxas de cisalhamento de 1 a 300 s^{-1}. A sua viscosidade aparente está intimamente relacionada à concentração da solução. A diferença de comportamento encontrada pelos diferentes pesquisadores pode ser explicada pela faixa de taxas de cisalhamento utilizada, que algumas vezes foi muito pequena (10 a 100 s^{-1}) para a correta determinação do tipo de comportamento de alguns materiais.

Mothé e Rao (1999) estudaram o tamanho de partícula de dispersões aquosas de goma de cajueiro e de goma arábica. A goma de cajueiro apresentou maior diversidade de tamanho de partícula; porém, para as duas gomas, o tamanho de partícula predominante foi de 200 μm. Os autores também fizeram a microscopia óptica das dispersões das gomas e constataram que as moléculas dos polissacarídeos são formadas por círculos de tamanhos similares.

Geralmente, a viscosidade de soluções de polieletrólitos diminui na presença de eletrólitos. Paula e Rodrigues (1995) estudaram o efeito da adição de NaCl, $CaCl_2$ e $AlCl_3$ nas

soluções de goma de cajueiro. Os valores de viscosidade intrínseca decresceram na ordem: NaCl > $CaCl_2$ > $AlCl_3$, sugerindo que as moléculas do polissacarídeo em diluição infinita e na presença de íons alumínio possuem uma conformação mais contraída que na presença de íons cálcio. Os íons sódio foram os que causaram menor contração da cadeia, porém, em soluções mais concentradas da goma de cajueiro (> 0,3 g/dl), interações intermoleculares e intramoleculares começaram a ocorrer, aumentando a viscosidade, sendo os íons alumínio maiores promotores da interação que os íons cálcio. Os íons sódio não promoveram esse tipo de interação.

Segundo Zakaria e Rahman (1996), soluções de goma de cajueiro apresentaram valor de pH na faixa de 4,4 a 4,8 em soluções 5% p/v; e pH menor do que 5 na viscosidade máxima. Em meio alcalino, a viscosidade das soluções foi 50% menor do que em meios ácidos, isto porque na região alcalina, a presença dos álcalis causa um efeito de blindagem nas moléculas, diminuindo a viscosidade. A solubilidade máxima da goma de cajueiro, encontrada pelos autores, foi de 64,2% (p/p). Em concentrações de 64,2% até 77,6% (p/p) houve formação de uma dispersão.

Micrografias de dispersões de goma de cajueiro a 25 e 90°C mostraram que o aumento da temperatura provocou maior absorção de água pelos grânulos, que se tornaram mais inchados. Quando os grãos tornam-se excessivamente inchados, são rompidos e adquirem a forma de anéis escuros (CORREIA, 2002). A temperatura na qual a maior parte dos grãos encontra-se rompida pode ser chamada de temperatura de gelificação (SOUZA; ANDRADE, 2000).

Capítulo 5 – OS ALIMENTOS FUNCIONAIS

5.1 – O QUE SÃO ALIMENTOS FUNCIONAIS?

Nas últimas décadas, o mundo ocidental começou a mudar seu conceito sobre os alimentos, trazendo à tona o princípio de Hipócrates do ano 500 a.C.: *Deixe o seu alimento ser seu medicamento e seu medicamento ser seu alimento*, e seguindo as culturas orientais que atribuem propriedades curativas e terapêuticas aos alimentos (BORDERIAS *et al*., 2005; PIMENTEL *et al*., 2005). Com isso, os cientistas e profissionais de saúde têm ampliado a discussão sobre o potencial protetor da saúde relacionado aos alimentos e aos nutrientes (CÂNDIDO; CAMPOS, 1996).

A expansão dos conhecimentos da atividade fisiológica dos componentes dos alimentos, obtidos a partir de plantas (fitoquímicos) e de animais (zooquímicos), tem mudado o papel da dieta na saúde. O estudo dos “alimentos funcionais” tem evoluído como ciência de alimentos e nutrição, para além das síndromes de deficiências primárias. Os alimentos não são mais avaliados somente em termos dos macro e micronutrientes que possuem; a análise da quantidade de componentes fisiologicamente ativos e a avaliação de seu papel na promoção da saúde também se tornou necessária (ADA REPORTS, 2004).

Apesar das controvérsias e de mecanismos não esclarecidos, a ingestão de alimentos ricos em fibras, pobres em gorduras e alimentação predominantemente rica em verduras e frutas tem sido recomendada. Esta alimentação possuiria os nutrientes e não nutrientes que

são associados com a prevenção e/ou o tratamento de doenças crônicas tais como o câncer, as doenças cardiovasculares, o diabetes, a hipertensão arterial e a osteoporose, dentre outros (CÂNDIDO; CAMPOS, 1996; HAMID; LUAN, 2000; ADA REPORTS, 2004; GIBSON, 2004; PIMENTEL *et al.*, 2005; RODRIGUEZ *et al.*, 2006).

De uma forma geral, as pessoas estão adquirindo hábitos alimentares mais saudáveis e estão mais atentas ao consumo de alimentos promotores da saúde. Segundo Cândido e Campos (1996), o consumo de alimentos contendo substitutos de gorduras e açúcares; o consumo de frutas e verduras; o uso de complementos nutricionais e o uso de outras formas de alimentação alternativas cresceram de forma significativa na década de 90, tanto internacionalmente quanto no Brasil (CÂNDIDO; CAMPOS, 1996; ADA REPORTS, 2004).

Conseqüentemente, como a indústria de alimentos procura responder à demanda dos consumidores por alimentos mais saudáveis, a variedade de alimentos funcionais disponíveis no mercado tem crescido de forma acentuada nas últimas décadas, sendo os produtos funcionais responsáveis por grande parte dos novos produtos alimentícios produzidos (CHARALAMPOPOULOS *et al.*, 2002; RODRIGUEZ *et al.*, 2006). No mercado europeu, os grupos comercialmente mais importantes de alimentos funcionais incluem: bactérias pró-bióticas (*Lactobacillus acidophilus* ou *Bifidibacterium*); enriquecimento de alimentos com vitaminas C, D, cálcio e ferro; alimentos para grupos específicos da população como crianças, idosos e gestantes; e bebidas para atletas. No Japão estão disponíveis no mercado ovos fortificados com vitaminas e minerais; bebidas com cálcio, vitaminas e fibras solúveis; biscoitos enriquecidos com fibra; cereais isentos de glúten; e alimentos contendo microrganismos vivos; dentre outros (CÂNDIDO; CAMPOS, 1996).

Em 1993 o mercado de alimentos funcionais movimentou, somente no Japão, recursos da ordem de três bilhões de dólares, com crescimento anual de 8%. Na União Européia, a previsão de vendas do mercado de produtos nutricionais modificados foi de três bilhões de

dólares, para o ano 2000 (CÂNDIDO; CAMPOS, 1996). Segundo a American Dietetic Association (ADA), o desenvolvimento de produtos contendo alimentos funcionais continuará a crescer através do século 21, pois a demanda dos consumidores por alimentos saudáveis cresce a cada dia. Os fatores que contribuem para esse "remodelamento" do mercado de alimentos incluem: (a) envelhecimento da população, (b) aumento dos custos com tratamento de saúde, (c) autonomia no cuidado com a saúde e desejo pessoal de manter-se saudável, (d) evidências de avanços científicos, (e) mudanças na legislação dos alimentos (ADA REPORTS, 2004).

5.1.1 – Definição

O termo nutracêutico ou alimento funcional é recente, e apesar de não haver uma definição única fornecida pelos órgãos reguladores, eles são normalmente entendidos como alimentos que possuem um potencial de promover a boa saúde ou como ingredientes alimentícios que promovam benefícios à saúde, além dos nutrientes tradicionais que contêm. Existem diversas definições na literatura; a seguir estão relacionadas algumas destas:

❖ Portaria nº 398 de 30/04/99 da Secretaria de Vigilância Sanitária do Ministério de Saúde Brasileiro – Alimento funcional é todo alimento ou ingrediente que, além das funções nutricionais básicas, quando consumido na dieta usual, produz efeitos metabólicos e/ou fisiológicos e/ou efeitos benéficos à saúde, devendo ser seguro para consumo sem supervisão médica (PIMENTEL *et al*., 2005).

❖ American Dietetic Association (ADA) – Alimentos *in natura*, enriquecidos e/ou modificados que possuam efeitos potencialmente benéficos sobre a saúde, quando

consumidos como parte de uma dieta variada em base regular, em níveis efetivos (ADA REPORTS, 2004).

❖ International Life Science Institute of North America (ILSI) – Alimentos que, em virtude de componentes alimentares fisiologicamente ativos, promovem benefícios à saúde além da nutrição básica (ADA REPORTS, 2004).

❖ International Life Science Institute of Europe (ILSI) – Um produto alimentício pode ser considerado como funcional se tiver sido satisfatoriamente comprovado que ele possui um efeito benéfico em uma ou mais funções fisiológicas, além do seu efeito nutricional convencional, sendo relevante para a melhoria da saúde humana e/ou para a redução do risco de sofrer certas doenças (RODRIGUEZ *et al.*, 2006).

❖ Institute of Medicine of National Academy of Sciences – Aqueles alimentos cujas concentrações de um ou mais ingredientes foram modificados ou manipulados para potencializar sua contribuição para uma dieta saudável (ADA REPORTS, 2004).

❖ International Food Information Council (IFIC) – Alimentos que promovem benefícios à saúde além da nutrição básica (ADA REPORTS, 2004).

❖ The Food and Nutrition Board (2000) – Qualquer alimento modificado ou ingrediente alimentar que possa produzir um benefício à saúde além dos ingredientes tradicionais que ele contém (PIMENTEL *et al*., 2005).

❖ Health Canada – Alimento semelhante em aparência ao alimento convencional, consumido como parte da dieta usual, capaz de produzir demonstrados efeitos metabólicos e fisiológicos úteis na manutenção de uma boa saúde física e mental, podendo auxiliar na redução do risco de doenças crônico-degenerativas, além das suas funções nutricionais básicas (ADA REPORTS, 2004).

❖ Um alimento torna-se funcional quando usado como veículo para um nutriente ou um nível de nutriente que não conteria naturalmente (HUGHSON *apud* CÂNDIDO; CAMPOS, 1996).

❖ Aqueles alimentos que proporcionam benefícios médicos ou de saúde, incluindo a prevenção e o tratamento de doenças. O produto que contém, além dos nutrientes conhecidos, compostos capazes de causar efeitos benéficos à saúde (ARAÚJO; ARAÚJO *apud* PIMENTEL *et al*., 2005).

❖ Qualquer alimento, natural ou preparado, que contenha uma ou mais substâncias, classificadas como nutrientes ou como não-nutrientes, capazes de atuar no metabolismo e na fisiologia humana, promovendo efeitos benéficos para a saúde, podendo retardar o estabelecimento de doenças crônico-degenerativas e melhorar a qualidade e a expectativa de vida das pessoas (SGARBIERI; PACHECO *apud* PIMENTEL *et al*., 2005).

❖ Charalampopoulos e colaboradores (2002) – Alimentos ou ingredientes alimentares que exercem um efeito benéfico na saúde do hospedeiro e/ou reduzindo as doenças crônicas além das funções nutricionais básicas.

❖ Rodriguez e colaboradores (2006) – Aqueles alimentos que em adição a atuar como nutriente podem afetar, de forma positiva, funções biológicas específicas, melhorando o estado de saúde geral e/ou reduzindo o risco de sofrer determinadas doenças.

De acordo com as definições supracitadas, alimentos totalmente *in natura* tais como frutas e vegetais representam a forma mais simples de alimentos funcionais. Os brócolis, as cenouras e os tomates, por exemplo, podem ser considerados alimentos funcionais por serem ricos em ácido ascórbico, beta caroteno e licopeno, respectivamente. Alimentos modificados que foram fortificados com nutrientes, fitoquímicos ou botânicos, também são considerados alimentos funcionais (ADA REPORTS, 2004; PIMENTEL *et al*., 2005; RODRIGUEZ *et al*., 2006). Os alimentos funcionais, na quantidade que são normalmente ingeridos na dieta humana, devem manter o valor nutricional junto com a capacidade de produzir efeitos benéficos sobre determinadas funções do organismo (RODRIGUEZ *et al*., 2006).

Alguns exemplos básicos de alimentos funcionais amplamente pesquisados são: os alimentos ricos em fibras solúveis, que estão associados à redução da incidência de problemas cardíacos e à prevenção do câncer colônico; frutas e vegetais, que reduzem o risco de câncer; proteína da soja e esteróis, que reduzem o colesterol e reduzem o risco de doenças cardiovasculares; ácidos graxos n-3 encontrados nos peixes, que reduzem o colesterol; ácido fítico, inibidor de câncer de mama; éster feniletílico encontrado em própolis; alho, que reduz o colesterol; tocoferóis, encontrados nas oleaginosas, por sua ação oxidante (CÂNDIDO; CAMPOS, 1996; ADA REPORTS, 2004).

5.1.2 - Classificação

As substâncias bioativas em alimentos funcionais podem ser organizadas de diversas maneiras, dependendo do interesse específico. A forma mais comum de organização é quanto a sua natureza molecular, que permite categorizá-los de acordo com seu grupo molecular. Nesta classificação os alimentos funcionais são separados em: isoprenóides; compostos fenólicos; proteínas e aminoácidos; carboidratos e derivados; ácidos graxos e lipídeos; minerais; e microbióticos, como mostra o Quadro 6 (PIMENTEL *et al*., 2005).

Quadro 6 – Organização de substâncias bioativas em alimentos funcionais quanto à natureza química e molecular

Natureza química e molecular	Substâncias bioativas
Isoprenóides	Carotenóides, Saponinas, Tocotrienos, Tocoferóis, Terpenos simples
Compostos fenólicos	Cumarinas, Taninos, Lignina, Antocianinas, Isoflavonas, Flavonóides
Proteínas, aminoácidos e afins	Aminoácidos, Compostos Alil-S, Isotiocianatos, Folato, Colina
Carboidratos e derivados	Ácido ascórbico, Oligossacarídeos, Polissacarídeos não amiláceos
Ácidos graxos e lipídeos	PUFA (Ômega-3), MUFA, Esfingolipídeos, Lectina
Minerais	Cálcio, Selênio, Potássio, Cobre, Zinco
Microbióticos	Prebióticos, Probióticos

Fonte: PIMENTEL *et al*. (2005).

As propriedades relacionadas à saúde de alguns alimentos funcionais podem ser provenientes de constituintes normais destes alimentos ou à adição de ingredientes que modificam as propriedades originais destes alimentos. Em 1993, Wrick descreveu alguns alimentos funcionais situando-os na interface droga/alimento sugerindo classificá-los como: 1) produtos regulamentados como alimentos benéficos para a saúde (cereais ricos em fibras, suplementos vitamínico-minerais, etc); 2) ingredientes que afetam as propriedades nutricionais dos alimentos (edulcorantes intensos, substitutos de gorduras, fibras alimentares); 3) constituintes de alimentos com efeito fisiológico (β-glucanas, tocotrienóis, β-caroteno, etc); 4) drogas usadas com finalidades dietético-nutricionais (laxativos, moderadores de apetite, etc) (CÂNDIDO; CAMPOS, 1996).

Em 1995, Wrick classificou novamente os alimentos funcionais como: nutrientes (antioxidantes, ácido fólico, cálcio e niacina) e não nutrientes (compostos químicos em frutas, verduras e grãos, e ácidos graxos de óleo de peixe) (CÂNDIDO; CAMPOS, 1996).

5.2 – CARBOIDRATOS NOS ALIMENTOS

Os carboidratos (ou hidratos de carbono) são definidos, de maneira geral, como sendo poliidroxialdeídos, poliidroxicetonas, poliidroxiálcoois, poliidroxiácidos, e seus derivados simples, e polímeros desses compostos unidos por ligações hemiacetálicas. Os carboidratos simples também são conhecidos como açúcares ou sacarídeos, e seus nomes na maioria das vezes terminam em *–ose* (MORRISON; BOYD, 1993; SOLOMONS; FRYHLE, 2002; BOBBIO; BOBBIO, 2003).

Os carboidratos abrangem um dos maiores grupos de compostos orgânicos encontrados na natureza e representam a mais abundante e econômica fonte de energia para o homem. Além de eles servirem como importante fonte de energia química para os

organismos, nos vegetais e em alguns animais eles formam, juntamente com as proteínas, os constituintes principais destes organismos, como por exemplo, os tecidos de suporte (MORRISON; BOYD, 1993; SOLOMONS; FRYHLE, 2002; BOBBIO; BOBBIO, 2003).

Os carboidratos ocorrem, nos alimentos, como constituintes naturais ou são acrescentados a esses como ingredientes ou aditivos. Os carboidratos adicionados aos alimentos já são produtos normalmente presentes na dieta humana (como por exemplo, sacarose, polióis, lactose, oligossacarídeos, amidos, pectinas, gomas de exsudatos de plantas, gomas de sementes ou polissacarídeos de algas). Muitos carboidratos são produtos de conversão química, como a carboximetilcelulose, a polidextrose, a lactose, o amido modificado por enzimas, ou microbiana como as gomas xantana e gelana (VORAGEN, 1998; CORREIA, 2002).

Eles são adicionados aos alimentos devido às muitas funções tecnológicas que apresentam dentre as quais se destacam: emulsificante, gelificante, umectante, estabilizante, adoçante, espessante, substitutos de gorduras e inibidores de cristalização, dentre outros (CÂNDIDO; CAMPOS, 1996; VORAGEN, 1998; MOTHÉ; RAO, 1999).

5.2.1 – Classificação química

Os carboidratos são, normalmente, classificados de acordo com o tamanho da sua molécula (grau de polimerização) em: monossacarídeos, oligossacarídeos e polissacarídeos. Os monossacarídeos são compostos que não podem ser hidrolisados a compostos mais simples (ex. glicose, frutose). Os oligossacarídeos são carboidratos de cuja hidrólise total resultam até dez unidades de monossacarídeos (ex. maltose, sacarose). Os polissacarídeos são formados por um grande número de monossacarídeos (>10) e possuem alta massa molecular (ex. amido, celulose). Nos alimentos eles se apresentam como uma mistura de substâncias de

tamanhos moleculares distintos que engloba desde açúcares simples até polissacarídeos complexos (VORAGEN, 1998; SOLOMONS; FRYHLE, 2002; BOBBIO; BOBBIO, 2003).

5.2.1.1 - Monossacarídeos

Os monossacarídeos são classificados em aldoses e cetoses, no caso de serem poliidroxialdeídos ou poliidroxicetonas. Tanto as aldoses quanto as cetoses são subdivididas em trioses, tetroses, pentoses, hexoses, etc., de acordo com o número de carbonos na cadeia. Na natureza são encontradas normalmente as aldoses (em sua forma livre ou fazendo parte de um polissacarídeo) com seis átomos de carbono denominadas aldo-hexoses, seguidas pelas aldoses com cinco átomos de carbono denominadas aldo-pentoses. Entre as cetoses, a única amplamente distribuída na natureza é a frutose, uma ceto-hexose (BOBBIO; BOBBIO, 2003).

O monossacarídeo existente em maior quantidade na natureza é a D-glicose, que além de ser encontrado na forma livre, é o único constituinte do amido, da celulose e do glicogênio (MORRISON; BOYD, 1993; BOBBIO; BOBBIO, 2003).

Em 1891, Emílio Fisher propôs as 16 configurações possíveis dos oito pares de enantiômeros da glicose (+). Fisher determinou que a D-glicose teria o radical -OH do centro quiral mais baixo à direita. Assim, todos os monossacarídeos terão designação D ou L de acordo com a configuração à volta do centro quiral mais baixo, ou seja, um monossacarídeo cujo estereocentro de número de ordem mais elevada (o penúltimo carbono) possuir o grupamento hidroxila no lado direito terá designação D, se do lado esquerdo, L. As aldoses de configuração D são mostradas na Figura 12 (MORRISON; BOYD, 1993; SOLOMONS; FRYHLE, 2002).

5.2.1.2 – Oligossacarídeos

De acordo com a nomenclatura IUPAC, oligossacarídeos são definidos como sacarídeos contendo de três a dez unidades de açúcares unidas entre si através de ligações glicosídicas. Alguns autores classificam como oligossacarídeos os carboidratos, cuja hidrólise resulta em duas a dez moléculas de monossacarídeos (SOLOMONS; FRYHLE, 2002). Outras autoridades classificam-nos como sacarídeos contendo de três a dezenove unidades de monossacarídeos. Não existe uma razão fisiológica ou química para serem determinados esses limites (VORAGEN, 1998).

Apenas alguns oligossacarídeos ocorrem na natureza, sendo a maioria destes produzida pela hidrólise de polissacarídeos em unidades menores (BOTELHO, 1999). Um importante grupo de oligossacarídeos é o grupo de não digeríveis (NDOs), como a ilunina ou fruto-oligossacarídeos derivados da sacarose, sacarose-galactosilas derivados da soja e galacto-oligossacarídeos derivados da lactose, xilo-oligossacarídeos e lactulose, que se comportam como prébióticos e cuja adição aos alimentos tem crescido de forma significativa, particularmente nos países da Europa e no Japão (VORAGEN, 1998).

5.2.1.3 - Polissacarídeos

Os polissacarídeos, assim como os oligossacarídeos, são formados por monossacarídeos unidos entre si por ligações glicosídicas que podem ser rompidas através de hidrólise. A diferença está no número de unidades de cada um, os polissacarídeos normalmente são constituídos por centenas ou milhares de unidades de monossacarídeos por molécula. A maioria possui um valor entre 200-300, sendo que a celulose, que possui um dos

maiores índices, possui de 7000 a 15000 unidades de monossacarídeos (MORRISON; BOYD, 1993; BOTELHO *et al.*, 1997; SOLOMONS; FRYHLE, 2002; PIMENTEL *et al.*, 2005).

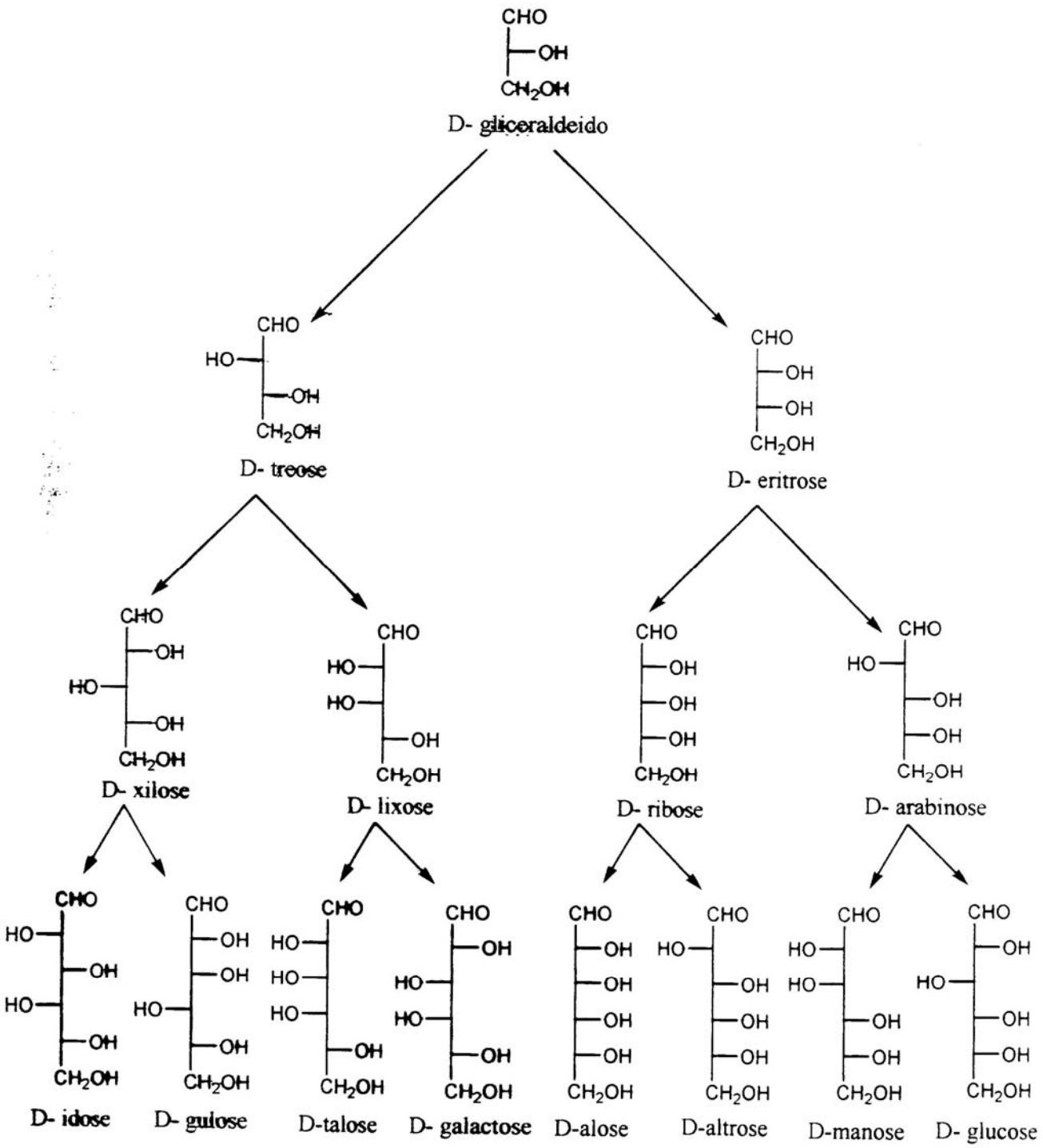


Figura 12 – Fórmula estrutural dos principais monossacarídeos (SOLOMONS; FRYHLE, 2002; BOBBIO; BOBBIO, 2003)

Os polissacarídeos são polímeros naturais e podem ser considerados derivados de aldoses e cetoses por polimerização de condensação. Um polissacarídeo derivado de hexoses, por exemplo, tem fórmula geral $(C_6H_{10}O_5)_n$. Porém esta fórmula diz muito pouco sobre a estrutura e as propriedades do polissacarídeo.

Os polissacarídeos podem ser formados por unidades de um só açúcar (homoglicanos) ou de vários diferentes (heteroglicanos); estes açúcares podem se unir de forma linear (como na celulose ou no amilose) ou ramificada (como na amilopectina), sendo muito diferente de acordo com a quantidade de posições de ramificação e na longitude das cadeias laterais, como é o caso da celulose e do amido (Figura13). O amido, por conter unidades de D-glucopiranoses unidas entre si por ligações glicosídicas $\alpha(1\rightarrow4)$, possui estrutura helicoidal e, por isso, é solúvel e facilmente digerido; enquanto que a celulose é constituída por D-glucopiranoses ligadas em $\beta(1\rightarrow4)$, que podem facilmente se colocar paralelamente umas às outras formando uma estrutura linear estabilizada por ligações de hidrogênio, com baixa solubilidade e baixa reatividade (BOBBIO; BOBBIO, 2003).

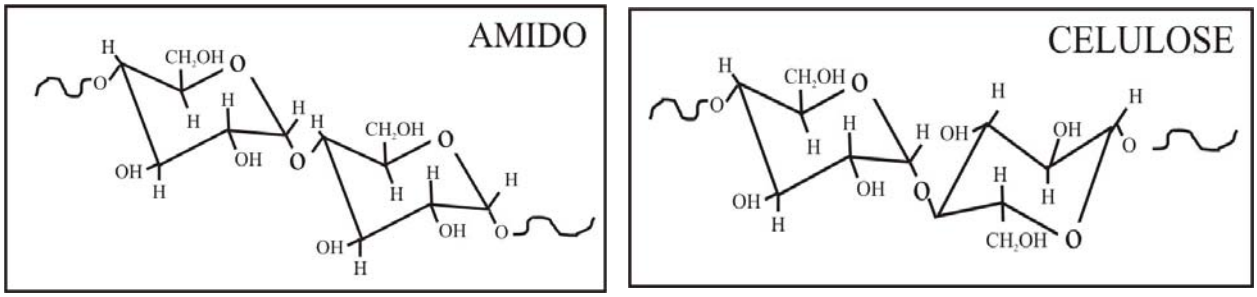


Figura 13 - Estruturas do amido e da celulose: polissacarídeos formados por unidades de glicose dispostas de forma diferenciada no espaço. Fonte: MORRISON e BOYD (1993)

Assim, para relacionar as propriedades e a estrutura de um polissacarídeo necessita-se saber qual a natureza de suas unidades de monossacarídeos, quantas unidades existem em cada molécula, a forma com que elas se unem umas às outras, e se as cadeias gigantes são constituídas por cadeias simples ou ramificadas, enoveladas ou enroladas em hélice. Normalmente, quanto maior for a cadeia, mais alta será a viscosidade da macromolécula e

quanto mais ramificado mais solúvel será o polissacarídeo (Figura 14). As dissoluções que contêm polissacarídeo polissacarídeos ramificados são facilmente reidratáveis, possuindo pequena tendência à precipitação (MORRISON; BOYD, 1993; PIMENTEL *et al*., 2005).

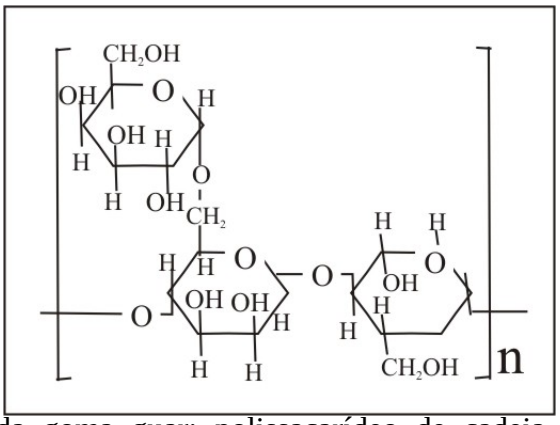


Figura 14 – Estrutura da goma guar: polissacarídeo de cadeia ramificada utilizado na indústria como estabilizante e espessante. Fonte: BOBBIO e BOBBIO (2003)

Considerando a qualidade nutricional dos polissacarídeos, a fonte de energia mais importante para o corpo humano é o amido; isso porque as enzimas do sistema digestivo só conseguem atacar ligações glicosídicas do tipo α-D-(1$\rightarrow$4). Com exceção do amido e seus derivados, a maioria dos polissacarídeos, apesar de sofrer hidrólise ácida e enzimática, passa pelo trato gastrintestinal com pouca ou nenhuma modificação. 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 gastrintestinal capazes de hidrolisar a maioria dos polissacarídeos essencialmente não calóricos (BOTELHO, 1999; CORREIA, 2002).

Nas últimas décadas, um grande número de polissacarídeos foi introduzido em aplicações alimentares. Entretanto, quando se deseja estudar a ação desses carboidratos como alimento funcional, a classificação química, baseada no tamanho das cadeias carbônicas e no tipo de unidades sacarídicas, necessita de uma complementação de acordo com o efeito fisiológico da macromolécula (Quadro 7) (VORAGEN, 1998).

Quadro 7 - Classificação dos principais carboidratos utilizados na dieta segundo o tamanho da sua molécula (grau de polimerização)

Classe (Grau de polimerização)	Sub-grupos (tipos de monossacarídeos e ligações α e β)
Açúcares (1-2)	i – Monossacarídeos: glicose, frutose ii – Dissacarídeos: sacarose, maltose, trealose, lactose iii – Açúcares alcoólicos: sorbitol, manitol, lactitol, xilitol
Oligossacarídeos (3-10)	i – Malto-oligossacarídeos (α – glucanas) ii – Outros oligossacarídeos (não digeríveis): frutooligossacarídeos, galactooligossacarídeos
Polissacarídeos (>10)	i – Amido ii – Polissacarídeos não amiláceos

Fonte: VORAGEN (1998).

A maioria das classificações dos carboidratos do ponto de vista fisiológico está relacionada à sua digestão no intestino delgado. Nos alimentos, os carboidratos podem ainda ser divididos em digeríveis (amido, sacarose, lactose, glicose, frutose e sorbitol) e não digeríveis (amido resistente, pectina, celulose, hemiceluloses, incluindo pentosanas, gomas, frutanas e polissacarídeos de algas). Os carboidratos que não são hidrolisados ou absorvidos na parte superior do trato gastrintestinal são classificados como prebióticos. Atribui-se a eles a capacidade de estimular de forma seletiva o crescimento e/ou a atividade de um determinado número de espécies de bactérias residentes no cólon; além disso, eles podem reprimir a colonização de agentes patogênicos, seu crescimento e/ou sua toxicidade; e induzir efeitos sistêmicos, o que pode ser benéfico para a saúde. A fermentação de carboidratos no cólon causa queda de pH, formação de ácidos graxos de cadeias curtas e, para vários tipos de amido resistentes, uma alta proporção de butiratos. Desta forma, há aumento do bolo fecal, proteção contra câncer de cólon, melhora a tolerância à glicose e diminuição do nível de lipídios do sangue (VORAGEN, 1998; GIBSON, 2004).

5.3 – FIBRAS ALIMENTARES

5.3.1 – Definição

Os botânicos definem fibra como sendo uma parte dos órgãos das plantas; os químicos definem como um grupo de compostos químicos; os consumidores como substância que possui efeito benéfico para a saúde humana; e, para a indústria de alimentos e química, ela é um objeto de *marketing*. Esta ampla diversidade de definições está relacionada, provavelmente, ao fato de que a fibra não é um composto simples e bem definido, e sim uma combinação de substâncias químicas de composições e estruturas distintas (RODRIGUEZ *et al*., 2006).

A maioria das substâncias classificadas como fibras são polissacarídeos não amiláceos. Entretanto, a lignina, também considerada como fibra, encontrada em talos e sementes dos vegetais e na camada externa dos cereais, não é um carboidrato, mas um polímero de álcoois fenilpropil e ácidos (PIMENTEL *et al*., 2005).

Em relação à terminologia, a fibra pode ser crua, vegetal, alimentar ou funcional. A fibra crua é o resíduo obtido após o tratamento dos vegetais com álcalis e ácidos, sendo então um conceito químico e não biológico. A fibra vegetal está relacionada aos elementos fibrosos da parede da célula vegetal (citoesqueleto dos vegetais) e é uma substância indisponível como fonte de energia, pois não é passível de hidrólise pelas enzimas do intestino humano, nem de qualquer mamífero, e que somente pode ser fermentada por determinadas bactérias. A fibra alimentar engloba todo o tipo de substância fibrosa ou não, incluindo assim, a celulose, a lignina, a pectina, as gomas, etc, que possuem uma ação específica para a saúde. As fibras alimentares vegetais, apesar de não serem digeridas pelo homem, são de grande importância para o bom funcionamento do organismo. A fibra funcional consiste de carboidratos não

digeríveis, isolados, que apresentem efeitos fisiológicos benéficos nos humanos. A quantidade de fibra total é a soma da fibra alimentar com a fibra funcional (CÂNDIDO; CAMPOS, 1996; PIMENTEL *et al*., 2005; SLAVIN, 2005; VALENTE, 2005).

O interesse pelas fibras alimentares como componente da dieta surge da associação epidemiológica entre uma elevada ingestão de fibras e a menor incidência de doenças crônicas como o câncer (CÂNDIDO; CAMPOS, 1996; CAPITA; ALONSO-CALLEJA, 2003; VAINIO; MILLER, 2003).

5.3.2 – Classificação

A interrelação entre a estrutura e propriedades físicas e químicas determina o efeito nutricional e as propriedades funcionais das fibras. A maioria das fibras alimentares é composta por polímeros resultantes da interligação de açúcares simples. Contudo, em termos de estrutura química e propriedades químicas estes polímeros se apresentam de forma bastante diversificada. As fibras são diferenciadas em relação à solubilidade em água, viscosidade, gelificação (potencial de retenção de água) e à capacidade de incorporar substâncias moleculares ou minerais (CÂNDIDO; CAMPOS, 1996; PIMENTEL *et al*., 2005).

As fibras são, normalmente, classificadas em solúveis e insolúveis. As fibras solúveis correspondem a aproximadamente um terço das fibras alimentares totais ingeridas com a dieta típica. Elas tendem a formar géis quando entram em contato com a água, aumentando a viscosidade dos alimentos parcialmente digeridos no estômago. Dentre as fibras solúveis pode-se destacar as pectinas, as gomas, as mucilagens, os alginatos, as β-glucanas e algumas hemiceluloses. As fibras insolúveis permanecem praticamente intactas através de todo trato gastrintestinal. Elas são a celulose, a lignina e a maioria das hemiceluloses (CÂNDIDO; CAMPOS, 1996; PIMENTEL *et al*., 2005). Devido às disparidades entre a relação (medida

em ensaios químicos) das fibras solúvel e insolúvel existentes nos alimentos e seus efeitos fisiológicos sobre a saúde humana, a *Academy of Sciences Panel on the Definition of Dietary Fiber* recomenda que os termos fibra solúvel e fibra insolúvel sejam gradativamente substituídos por termos que expressem o efeito fisiológico benéfico da fibra, como por exemplo, viscosidade e capacidade de fermentação (SLAVIN, 2005).

A fibras também podem ser divididas de acordo com a sua estrutura e a função que exercem nas plantas em (a) celulose, principal componente fibrilar da parede celular dos vegetais; (b) polissacarídeos não celulósicos, que englobam as hemiceluloses, pectinas (que dão firmeza às plantas, colando a parede celular), gomas e mucilagens, os quais formam a matriz da parede celular e o material que liga as células; e (c) lignina, substância presente na parede celular para dar firmeza à planta (PIMENTEL *et al*., 2005; SLAVIN, 2005). O Quadro 8 resume a composição química, a estrutura e a solubilidade das principais fibras alimentares.

Quadro 8 – Composição química, estrutura e solubilidade das principais fibras alimentares

Fibra	Cadeia principal	Cadeia secundária	Solubilidade
Celulose	Glicose	x	Insolúvel em álcali e solúvel em ácido
Hemicelulose	Xilose, Manose, Galactose, Glicose	Arabinose, Galactose, Ácido glucurônico	Solúvel em álcali
Pectinas	Ácido galacturônico	Arabinose, Xilose, Frutose	Solúvel em água
Mucilagens	Galacto-manose, Glicose-manose, Arabinose – xilose, Ácido galacturônico	Galactose	Solúvel em água
Gomas	Galactose, Ácido glicurônico-manose, Ácido galacturônico	Xilose, Frutose, Galactose	Solúvel em água
Lignina	Ácido canforado	tridimensional e complexo	Insolúvel em água

Fonte: PIMENTEL *et al*. (2005).

5.3.3 – Funcionalidade tecnológica

a) Capacidade de reter água

Uma das propriedades mais importantes das fibras do ponto de vista tecnológico é a capacidade de reter água. As fibras solúveis tais como as pectinas e as gomas possuem capacidade de capturar água superior à das fibras celulósicas. As fibras celulósicas por ligarem-se à água, quando estão em forma de pó, aumentam algumas vezes a sua massa quando colocadas em solução aquosa; as fibras de algas, por sua vez, podem aumentar até vinte vezes o volume quando colocadas em meios aquosos. Esta capacidade está relacionada ao comprimento e à espessura das partículas da fibra (HAMID; LUAN, 2000; MOTHÉ; RAO, 2000; BORDERIAS *et al*, 2005).

b) Viscosidade

As fibras (tais como as pectinas, as gomas, as beta-glucanas e os polissacarídeos extraídos das algas ou produzidos por microrganismos) formam soluções altamente viscosas. As gomas derivadas de exsudatos de plantas são normalmente usadas como agentes espessantes (BOTELHO *et al*., 1997; MOTHÉ; RAO, 2000; BORDERIAS *et al*, 2005; PIMENTEL *et al*., 2005). No caso dos refrescos, refrigerantes e sucos, a adição de fibras aumenta sua viscosidade e estabilidade, as fibras solúveis são as mais usadas porque elas são mais solúveis em água do que as fibras insolúveis. Alguns exemplos dessas fibras solúveis são as pectinas, as beta-glucanas e a polidextrose (BOTELHO *et al*., 1997; CORREIA, 2002; RODRIGUEZ *et al.*, 2006).

c) Capacidade de se ligar a gorduras e estabilizar emulsões

A capacidade de uma fibra de se ligar a gorduras depende mais da porosidade da fibra do que da sua afinidade molecular. A adição de polissacarídeos em emulsões do tipo óleo/água, além de aumentar a viscosidade da fase aquosa, melhora a textura e estabiliza as gotículas de óleo evitando a coalescência. Por isso, diversas gomas são utilizadas como emulsificantes, podendo estabilizar emulsões tipo maionese. A adição de fibras em sorvetes e iogurtes aumenta a estabilidade das emulsões em leite (HAMID; LUAN, 2000; AZEVEDO *et al.*, 2001; AZEVEDO, 2002; ARAÚJO, 2004; BORDERIAS *et al*, 2005; PIMENTEL *et al*., 2005); RODRIGUEZ *et al.*, 2006).

d) Gelificação (capacidade de formar gel)

Muitas fibras solúveis têm a capacidade de formar gel (associação de unidades poliméricas para formar uma rede na qual solutos são incluídos) e, devido a essa habilidade de formar gel, são usadas como aditivos para conferir textura e propriedades mecânicas adequadas ao produto final, possuindo muitas aplicações em produtos alimentícios, cosméticos e farmacêuticos. A transição sol-gel é um fenômeno físico e a capacidade de formar gel e a propriedade do gel resultante dependerão de vários fatores incluindo temperatura, concentração, presença de íons e pH (MAIA *at al*., 1998; HAMID; LUAN, 2000; BORDERIAS *et al*, 2005). Para fabricação de geléias, as fibras mais comumente adicionadas são as pectinas, que normalmente são obtidas de frutas, responsáveis pela estabilidade do produto final (RODRIGUEZ *et al*., 2006).

e) Capacidade de troca iônica

Alguns tipos de fibra têm a capacidade de realizar troca catiônica. As pectinas, por exemplo, combinam-se com cátions bivalentes de zinco, ferro, cálcio e cobre (BORDERIAS *et al*, 2005).

f) Capacidade fermentativa

As fibras podem fermentar até atingir diferentes estágios de decomposição, dependendo do tipo de fibra e do meio em que se encontra. Enquanto a celulose fermenta muito pouco, as pectinas são totalmente fermentáveis, isto devido à existência de poucos microrganismos com atividade celulolítica comparativamente aos proteolíticos (BOBBIO; BOBBIO, 2003; BORDERIAS *et al*, 2005; PIMENTEL *et al*., 2005).

g) Substituintes de gorduras e açúcares

Na maioria dos produtos de carne bovina e em alguns produtos derivados da indústria pesqueira o uso de fibras pode auxiliar na obtenção de uma boa textura. A aveia, por exemplo, é usada como substituinte de gorduras em alguns produtos derivados de carne conferindo excelente textura ao produto final (HAMID; LUAN, 2000; AZEVEDO *et al*., 2001; BORDERIAS *et al*, 2005). Maia e colaboradores (1997) descrevem o uso de carragenana, extraída de macroalgas (Quadro 5) e goma de cajueiro na fabricação de salsichas. A adição de fibras alimentares aos produtos de panificação também melhora a qualidade nutricional dos produtos finais, já que torna possível diminuir a quantidade de gordura adicionada. As fibras substituem as gorduras sem que haja prejuízo na qualidade final do produto. As fibras isoladas

baseadas em pectinas, celulose, soja, trigo, milho ou arroz podem ser usadas para melhorar a textura de produtos derivados de carne, tais como salsichas, patês e salames, além do que podem ser usadas na formulação de produtos com baixas calorias (*light*). Alguns tipos de fibras solúveis, tais como as pectinas, inulinas, goma guar e carboximetilcelulose, são utilizadas em produtos de laticínio. A goma guar, as pectinas e a inulina são adicionadas durante o processo de fabricação de queijo para diminuir o teor de gordura adicionado, sem que haja perda da textura e do sabor. Na fabricação de chocolates e derivados de baixa caloria são usadas a inulina e a oligofrutose como substituintes do açúcar comum (RODRIGUEZ *et al.*, 2006).

Ainda podem ser citadas outras propriedades das fibras na indústria como: modificar cor e sabor; controlar a cristalização do açúcar; modificar as propriedades de formação de gel e a viscosidade; estabilizar de produtos congelados (HAMID; LUAN, 2000; BORDERIAS *et al*, 2005).

5.3.4 - Funcionalidade fisiológica

O uso de fibras como agente promotor da saúde tem sido motivo de controvérsias e discussões, pois elas são consideradas por alguns estudiosos como subprodutos descartáveis, e por outros como “remédios universais” que melhoram qualquer problema fisiológico no organismo humano. Provavelmente, nem o primeiro nem o segundo ponto de vista pode ser considerado como verdade absoluta, porém muitos estudos mostram que as fibras alimentares possuem um importante papel em muitos processos fisiológicos e na prevenção de diferentes doenças (BORDERIAS *et al*., 2005; PIMENTEL *et al*., 2005; RODRIGUEZ *et al*., 2006; SLAVIN, 2005; VALENTE, 2005; RODRIGUEZ *et al*., 2006).

Embora ainda existam muitos aspectos sobre as propriedades e as funções das fibras alimentares que permanecem obscuros, nos últimos anos houve um crescente interesse pelo papel das fibras alimentares, o que tem resultado em um maior entendimento de suas características químicas, nutricionais e funcionais; ou seja, de como elas atuam em diferentes processos fisiológicos. Assim, as fibras alimentares têm adquirido uma importância adicional relacionada com seu uso como ingrediente funcional.

Na medida em que os estudos avançam, têm sido demonstrado que as fibras alimentares possuem importante papel na melhoria da saúde humana e na prevenção de diversas doenças chamadas "doenças da civilização" como os problemas cardiovasculares, a constipação intestinal, a diverticulose e a diverticulite, as hemorróidas e o câncer de cólon (GIBSON, 2004; BORDERIAS *et al*., 2005; PIMENTEL *et al*., 2005; VALENTE, 2005; RODRIGUEZ *et al*., 2006).

A resposta fisiológica às fibras dependerá do tipo que predomine no alimento consumido. As fibras não são formadas da mesma forma e, portanto, possuem características e comportamentos distintos (SLAVIN, 2005). A capacidade de fermentação das fibras, por exemplo, é dependente de suas propriedades físico-químicas. O tamanho de partícula da fibra e o grau de solubilidade têm um importante efeito sobre a suscetibilidade das fibras à fermentação bacteriana, pois estão diretamente relacionadas com a área de exposição à degradação pelas bactérias (GIBSON, 2004).

a) Redução da hipercolestoremia e modificação da resposta glicêmica

As fibras solúveis se caracterizam por formar géis e pela sua grande capacidade de “capturar” água, formando uma massa gelatinosa que faz aumentar a viscosidade do conteúdo gastrintestinal, atrasando o esvaziamento gástrico e proporcionando maior volume e

lubrificação das fezes. Ao passarem pelo intestino delgado captam sais biliares e triglicerídeos, dificultando a absorção das gorduras, do colesterol e da glicose (BORDERIAS *et al*., 2005; PIMENTEL *et al*., 2005; VALENTE, 2005; RODRIGUEZ *et al*., 2006). Dado que os ácidos biliares vão passar pela corrente sangüínea em menor quantidade, o fígado vê-se forçado a sintetizar mais a partir do colesterol de depósito, diminuindo os níveis plasmáticos de colesterol (BORDERIAS *et al*., 2005). Outra possibilidade de mecanismo de diminuição do colesterol reside na produção de ácido propiônico e de outros gases durante a fermentação colônica; esses compostos quando absorvidos diminuem a formação do colesterol. Resumindo, as fibras contribuem para a diminuição dos níveis de colesterol total e das lipoproteínas do plasma, que estão associadas ao aumento da diluição e excreção dos ácidos biliares.

As fibras hidrossolúveis que aumentam a viscosidade dos alimentos (principalmente as pectinas e gomas) exercem um efeito hipoglicêmico importante por aumentar o seu volume em até sete vezes no estômago. Isto produz retardo do esvaziamento gástrico (devido à liberação de colecistoquinina em resposta à alta ingestão de fibras), diminuição do tempo de trânsito gastrintestinal, atraso na hidrólise do amido, redução na absorção de glicose e, conseqüentemente, diminuição da necessidade de insulina. Este efeito benéfico sobre os níveis circulantes de glicose e insulina no sangue são mais evidentes em indivíduos que apresentam diabetes melittus (BORDERIAS *et al*., 2005; PIMENTEL *et al*., 2005; RODRIGUEZ *et al*., 2006; SLAVIN, 2005; VALENTE, 2005).

Como as frações solúveis da fibra na dieta reduzem o colesterol e o açúcar do sangue, as dietas ricas em grãos e baixas em gorduras saturadas têm sido descritas como redutoras do risco de problemas cardíacos. Miura e Nakagawa (2005) afirmaram em seu estudo de revisão sobre a relação entre a dieta e a hipertensão arterial que os efeitos das fibras alimentares sobre a pressão sangüínea já foram substancialmente comprovados. Capita e Allonso-Calleja (2003)

associaram o aumento das doenças cardiovasculares na Espanha, nas últimas décadas, à diminuição da ingestão de fibras dietéticas (que é 80% menor que a recomendada). Lairon e colaboradores (2005) estudaram o risco de eventos cardiovasculares em adultos franceses e concluíram que, para ambos os sexos, esses riscos são inversamente proporcionais à ingestão de fibras alimentares, que, segundo os autores, foram responsáveis pela diminuição do sobrepeso, da pressão arterial, e dos níveis de colesterol, triacilgliceróis e hemocisteína. Astrup (2003) e Bazzano e colaboradores (2003) afirmam, a partir de dados experimentais, que a alta ingestão de fibras dietéticas é uma das melhores opções para a prevenção das doenças cardiovasculares. Castro e colaboradores (2003) e Brownlee e colaboradores (2005) observaram em pesquisas experimentais com humanos que as fibras dietéticas atuam como diminuidoras dos níveis de colesterol sangüíneo (70 μM/L plasma por grama de fibra). Habib e Butt (2003) exploraram o potencial hipocolesterolêmico e hipoglicêmico de farinhas dietéticas em ratos e observaram diminuições significativas nos valores de glicose sangüínea e colesterol sangüíneo. Segundo os autores essa farinha poderia contribuir para a diminuição do risco de diabetes e doenças cardiovasculares.

Segundo Hodgson (2004), as fibras solúveis podem contribuir para a diminuição do colesterol sangüíneo, reduzir a glicose sangüínea e melhorar a resposta à insulina. Os efeitos sobre o metabolismo da glicose e da insulina podem contribuir para a diminuição da pressão sangüínea e para perda de peso. Ainda segundo o autor, uma suplementação de fibra resulta normalmente na diminuição de 2 mmHg na pressão sangüínea (diastólica e sistólica), o que representaria uma redução de 17% do número de hipertensos na população mundial, diminuição de 15% dos casos de infarto e redução de 6% dos casos de doenças coronarianas. Estudos de King e colaboradores (2005) com 250 indivíduos mostraram que aqueles que consumiram quantidades iguais ou superiores a 20g diárias de fibra dietética apresentaram redução nos níveis de marcadores inflamatórios (responsáveis inclusive pela formação de

aterosclerose), observando ainda que essa diminuição foi menor para os indivíduos que apresentavam diabetes, hipertensão arterial ou obesidade. Whelton e colaboradores (2005) observaram em estudos clínicos uma redução significativa de 3,12 mmHg na pressão sangüínea sistólica e de 2,57 mmHg na diastólica em pacientes hipertensos, após 8 semanas de alta ingestão de fibras dietéticas. Para os indivíduos que apresentavam pressão sangüínea normal, a ingestão de fibras não alterou estatisticamente os níveis de pressão sangüínea. A análise de participantes no estudo de saúde cardiovascular (CHS) da *American Heart Association* mostrou que o consumo de cereais ricos em fibras está associado com a diminuição da incidência de doenças cardiovasculares e corroborou com as recomendações de aumento de ingestão de fibras dietéticas entre as pessoas idosas (THOM *et al*., 2006).

b) Mudanças no funcionamento intestinal

A maioria dos componentes das fibras alimentares são somente parcialmente digerível, já que não são totalmente degradada pelas enzimas presentes no intestino. A extensão desta degradação depende do tipo da microbiota bacteriana existente (BORDERIAS *et al*., 2005; PIMENTEL *et al*., 2005; VALENTE, 2005; RODRIGUEZ *et al*., 2006). Segundo Gibson (2004), muitos carboidratos dietéticos são metabolizados seletivamente pela microbiota do intestino, alterando as populações ali existentes em direção a uma comunidade mais vantajosa, comportando-se como prebióticos.

As fibras solúveis podem ser fermentadas pelas bactérias colônicas dando origem a ácidos graxos de cadeia curta (AGCC), gás, água e energia; os quais por sua vez contribuem para o aumento do volume das fezes. A fermentação das fibras pelas bactérias colônicas propicia um aumento da microbiota, ou seja, estimula a proliferação dos microrganismos no trato intestinal, diminuindo o número de bactérias capazes de produzir substratos

cancerígenos a partir do colesterol e dos ácidos biliares (RODRIGUEZ *et al*., 2006). Como estas fibras são solúveis em água e formam géis, sua fermentação pela microflora intestinal é potencializada pelo aumento da área superficial disponível para o ataque enzimático (FREITAS *et al.*, 2004; GIBSON, 2004).

Estudos mostram que o consumo regular de fibras solúveis aumenta o volume do bolo fecal. O aumento do volume das fezes produz um aumento do tamanho do lúmen intestinal com a conseqüente diminuição da pressão intraluminal, o que dificulta a possibilidade de formação de divertículos. Além disso, o uso de fibras aumenta o número e a atividade das espécies de bactérias sacarolíticas (GIBSON, 2004; RODRIGUEZ *et al*., 2006).

Os gases produzidos pela fermentação das fibras no cólon provocam distensão da parede, aumentando a propulsão do conteúdo colônico e diminuindo o tempo de exposição do intestino às substâncias que podem causar danos ao organismo humano: substâncias mutagênicas e carcinogênicas, compostos tóxicos de nitrogênio, H_2S, etc. Este último efeito pode ainda ser estimulado pela ação dos ácidos carboxílicos, também formados na fermentação, tais como os ácidos propiônico e butírico, que apresentam efeito estimulador contrátil da musculatura. A formação de ácidos na fermentação bacteriana também provoca o abaixamento do pH colônico. Baixos valores de pH impedem o crescimento de certas espécies de bactérias patogênicas enquanto encorajam o crescimento de bifidobactérias e lactobactérias.

As bactérias do cólon também agem em conjunto com os gases e os ácidos provenientes do processo de fermentação transformando os ácidos biliares em substâncias com poder laxativo, tais como o ácido deoxicólico e os hidróxidos (GIBSON, 2004; RODRIGUEZ *et al*., 2006).

As fibras insolúveis não possuem a capacidade de formar géis, portanto a ingestão destes compostos não atrasa o esvaziamento gástrico, nem implica em efeitos metabólicos

semelhantes aos produzidos pelo consumo das fibras solúveis, não atuando sobre a absorção da glicose, nem influenciando o transporte e a absorção dos ácidos biliares e do colesterol. O seu efeito consiste fundamentalmente no aumento do volume fecal e da freqüência dos movimentos intestinais, regulando o tempo de trânsito colônico. Como discutido previamente, ao diminuir o tempo de trânsito intestinal, os carcinogênicos potenciais ficam menos tempo em contato com as paredes intestinais e ao aumentar o volume das fezes, os carcinogênicos ficam mais diluídos.

Desta forma, as fibras em geral são descritas como auxiliares na prevenção do câncer e outras doenças intestinais, tais como as doenças do cólon (constipação, diarréia, diverticulite e câncer colo-retal). A relação inversa entre a ingestão de fibras alimentares e o câncer de cólon, apesar de sua complexidade, está bem discutida na literatura científica (GIBSON, 2004; BORDERIAS *et al*., 2005; PIMENTEL *et al*., 2005; VALENTE, 2005; RODRIGUEZ *et al*., 2006; SLAVIN, 2005). Em 2003, por exemplo, Vainio e Miller constataram que a ingestão de fibras é inversamente proporcional à incidência de câncer de cólon (Quadro 9).

Quadro 9 - Tipos de fibras, principais fontes dietéticas naturais e suas principais ações no organismo

Classificação	**Tipos**	**Fontes naturais**	Ações
Fibras Solúveis	Pectina, Gomas, Mucilagem, Beta glucana, Hemiceluloses (algumas).	Frutas, Verduras, Aveia, Cevada, Leguminosas (feijão, lentilha, soja, grão de bico).	· Retardo na absorção de glicose. · Redução no esvaziamento gástrico (maior saciedade). · Diminuição dos níveis de colesterol sangüíneo e da pressão arterial. · Proteção contra o câncer de intestino.
Fibras Insolúveis	Lignina, Celulose, Hemiceluloses (maioria).	Verduras, Farelo de trigo, Cereais integrais (arroz, pão, torrada).	· Aumento do bolo fecal. · Estímulo ao bom funcionamento intestinal. · Prevenção de constipação intestinal.

Fonte: http://www1.uol.com.br/cyberdiet/colunas/010921_nut_fibra_intestino.htm

c) Redução da disponibilidade de nutrientes

Algumas fibras podem inibir a atividade de algumas enzimas pancreáticas que digerem os carboidratos, lipídeos e proteínas; porém o mecanismo de ação ainda não foi descrito. As fibras de polissacarídeo afetam a absorção de lipídeos, pois elas podem ser inibidoras da lipase pancreática responsável pela hidrólise das gorduras; e as pectinas e as gomas, também diminuem a assimilação de nutrientes (BORDERIAS *et al.*, 2005; SLAVIN, 2005; VALENTE, 2005).

As fibras solúveis que aumentam a viscosidade do conteúdo intestinal, por absorverem água, retardam o processo de digestão e absorção de nutrientes, sendo assim, irá ocorrer maior absorção nas seções finais do intestino delgado, o que influencia na sensação de saciedade e, em decorrência haverá diminuição na ingestão de alimentos. Além de reduzirem a quantidade de calorias absorvidas dos alimentos, diminuírem a biodisponibilidade de nutrientes (como carboidratos e gorduras) e promoverem uma sensação de saciedade, as fibras alimentares não são fontes energéticas, pois não são digeridas pelo organismo e não fornecem energia, por isso o seu uso é extremamente aconselhado nas dietas para emagrecimento. Estudos epidemiológicos mostram que populações que consomem altas quantidades de fibras (frutas e vegetais) na dieta demonstram taxas de obesidade mais baixas.

A única contra-indicação é que o consumo excessivo de fibras solúveis e insolúveis pode provocar perturbações intestinais como gases e diarréias, o que pode resultar na eliminação de alguns princípios nutritivos essenciais e pode interferir negativamente na absorção de minerais, especialmente na de cálcio e de zinco. A redução da absorção de minerais está relacionada, provavelmente, à presença de ácido fítico e outros quelantes presentes nas fibras. Além disso, a ingestão de certas fibras pode produzir fitobenzoatos que

induzem a uma diminuição da digestão e absorção de proteínas (BORDERIAS *et al.*, 2005; VALENTE, 2005; PIMENTEL *et al*., 2005; RODRIGUEZ *et al*., 2006; SLAVIN, 2005).

Devido ao potencial terapêutico das fibras, muitos produtos enriquecidos com fibras têm sido desenvolvidos (HAMID; LUAN, 2000). Assim, a importância das fibras alimentares tem promovido um mercado extenso e promissor voltado aos produtos e ingredientes ricos em fibras, existindo uma tendência para a pesquisa por novas fontes de fibra alimentar que podem ser usadas como ingredientes na indústria de alimentos. Entre os alimentos enriquecidos com fibras, os mais conhecidos e consumidos são os cereais e os produtos de panificação tais como pães e biscoitos integrais, assim como leites e produtos derivados de carne. Entretanto, o consumo de outras reservas de fibras tem sido estimulado, principalmente o de frutas, que apresentam melhor qualidade nutricional, altas quantidades de fibras totais, baixas calorias, alto poder antioxidante e alto grau de "fermentabilidade" e retenção de água. Compostos de fibras, tais como amido resistente e beta-glucanas, também são usados para aumentar a quantidade de fibras em produtos de pastelaria, cereais, etc. (RODRIGUEZ *et al.*, 2006).

5.3.5 - Recomendações de ingestão

Níveis seguros de ingestão de fibras devem ser considerados quando os alimentos funcionais são avaliados no contexto de uma dieta saudável e balanceada.

- Maioria dos países: 20-30 g/dia (PIMENTEL *et al*., 2005).
- VALENTE (2005): 30g/dia
- WHO (World Health Organization): 27-40 g/dia (PIMENTEL *et al*., 2005).
- FDA (Food and Drugs Administration): 25 g de fibra por 2000 calorias ingeridas (PIMENTEL *et al*., 2005).

- AHA (American Heart Association): mais do que 25g/dia (THOM *et al*., 2006).
- ADA (American Dietetic Association): 20-35 g/dia (ADA REPORTS, 2004).
- DRIs (Dietary Reference Intakes): 19-38 g/dia (ADA REPORTS, 2004).
- Instituto Nacional do Câncer/EUA: 30 g/dia (http://www.copacabanarunners.net/fibra.html)
- European Investigations into Cancer and Nutrition (EPIC): 13-35 g/dia (VAINIO; MILLER, 2003).
- Comitê do *National Academy of Sciences Panel*: 38g/dia e 25g/dia para homens e mulheres jovens, respectivamente, baseados nos níveis de ingestão que protejam contra problemas coronarianos.

Capítulo 6 – SISTEMA CARDIOVASCULAR E SANGUE

6.1 – O SISTEMA CARDIOVASCULAR

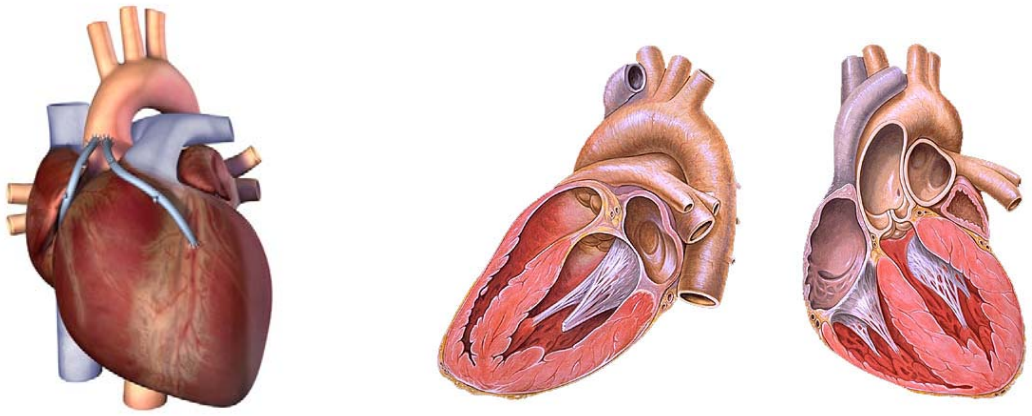
A principal função do sistema cardiovascular é o suprimento sangüíneo aos tecidos, fornecendo nutrientes às células para o metabolismo e removendo os dejetos metabólicos das mesmas. O coração funciona como uma bomba, que ao se contrair (sístole) gera uma pressão que impulsiona o sangue através de uma série de vasos sangüíneos (artérias, veias, arteríolas, vênulas e capilares). O sistema cardiovascular também está envolvido em várias funções homeostáticas: participa da regulação da pressão sangüínea arterial; disponibiliza hormônios reguladores das glândulas endócrinas para os seus locais de ação nos tecidos alvos; participa da regulação da temperatura corpórea; e está envolvido nos ajustes homeostáticos em estados fisiológicos alterados, como a hemorragia, o exercício e as variações na postura (BLOOM; FAWCETT, 1969; WILMORE; COSTILL, 1990; GARTNER; HIATT, 1997; COSTANZO, 2004).

6.1.1 – O coração

O coração é uma porção espessa e muscular do sistema cardiovascular (Figura 15), que se contrai ritmicamente. Ele fica na cavidade torácica, no mediastino médio e, nos mamíferos, consiste de quatro câmaras: átrio direito e esquerdo (com aurículas direita e

esquerda), ventrículo direito e esquerdo (BLOOM; FAWCETT, 1969; GRAY, 2000). No interior da parede muscular cardíaca, entre os átrios e os ventrículos, existe um esqueleto de tecido conjuntivo. O septo interatrial no coração adulto separa por completo os átrios direito e esquerdo, enquanto o septo interventricular separa completamente os ventrículos direito e esquerdo (Figura 16) (GRAY, 2000; MANDARIM-DE-LACERDA, 1990).

As veias cavas, superior e inferior, trazem o sangue venoso do corpo para o átrio direito, do qual passa para o ventrículo direito através da valva tricúspide. Passando pela artéria pulmonar, ele é bombeado para os pulmões onde é oxigenado. Dos pulmões o sangue passa para o átrio esquerdo e, posteriormente, para o ventrículo esquerdo através da valva mitral, de onde é distribuído por todo o corpo, pela aorta e seus ramos (BLOOM; FAWCETT, 1969).



(a) **(b)**

Figura 15 - (a) Vista frontal e (b) seção longitudinal do coração (http://info.med.yale.edu; http://www.zygote.com)

O coração é formado por três camadas principais: o endocárdio, o miocárdio e o epicárdio. O endocárdio é revestido por endotélio comum, apresentando células pavimentosas poliédricas. Diretamente sob o endotélio há uma camada subendotelial que contém fibroblastos, fibras colágenas e poucas fibras elásticas. Externa a essa camada, há uma

camada espessa de tecido conjuntivo que contém inúmeros elementos elásticos (BLOOM; FAWCETT, 1969; GRAY, 2000).

O miocárdio é o músculo do coração, que é formado por células musculares cardíacas (cardiomiócitos). No adulto as fibras miocárdicas são limitadas por tecido conjuntivo dentro de uma massa compacta. Os elementos elásticos são escassos no miocárdio dos ventrículos dos mamíferos adultos, porém no miocárdio dos átrios encontram-se redes de fibras elásticas.

O epicárdio é coberto na sua superfície livre por uma camada de células mesoteliais. Abaixo do mesotélio há uma camada de tecido conjuntivo com redes de fibras elásticas, vasos sangüíneos e muitos nervos. No tecido conjuntivo frouxo, ao longo dos vasos sangüíneos coronários, é encontrada uma grande quantidade de tecido adiposo. A membrana parietal do pericárdio é uma membrana serosa comum recoberta por uma camada de células mesoteliais e composta por tecido conjuntivo, com fibras elásticas e colágenas, fibroblastos e macrófagos fixos (BLOOM; FAWCETT, 1969; GRAY, 2000).

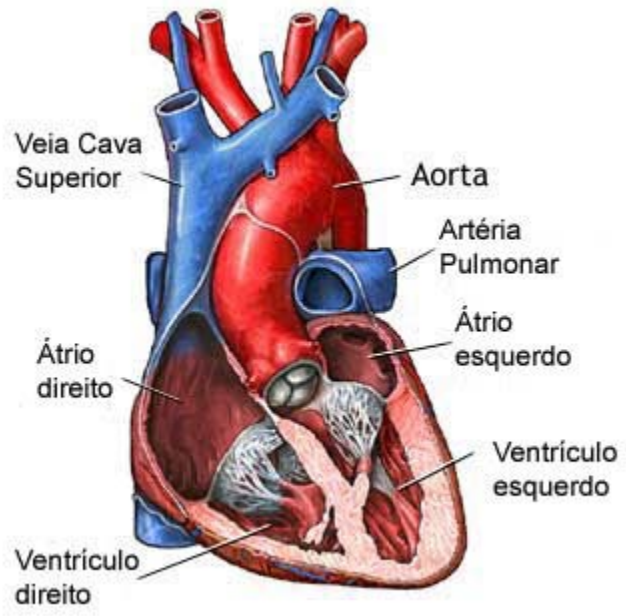


Figura 16 – Vista do interior de um coração: compartimentos cardíacos (átrios e ventrículos) e principais vasos (aorta, artéria pulmonar e veias cava) (http://www.shands.org)

6.1.1.1 - Tecido muscular

O tecido muscular é responsável pelos diversos movimentos que ocorrem no corpo, sejam movimentos do esqueleto, a contração do coração, os movimentos de órgãos ou a contração dos vasos sangüíneos. Além disso, ainda é responsável pelas mudanças de tamanho e forma dos órgãos internos (ROSS *et al.*, 1995; GARTNER; HIATT, 1997). Essas funções do sistema muscular são desempenhadas por três tipos de músculos: 1) músculo liso (involuntário; encontrado na parede da maioria dos vasos sangüíneos e na parede dos órgãos mais internos), 2) músculo cardíaco (involuntário; encontrado apenas no coração), e 3) músculo esquelético (voluntário; a maioria se fixa ao esqueleto e é responsável por seu movimento). Embora existam algumas diferenças estruturais entre os músculos cardíaco, liso e esquelético, seus princípios de ação são similares (WILMORE; COSTILL, 2001).

Este tecido caracteriza-se pela presença de agregados de células especializadas cuja principal função é a contração. Essas células são tipicamente alongadas e organizadas em arranjos paralelos, permitindo eficiência no trabalho do músculo (ROSS *et al.*, 1995; GARTNER; HIATT, 1997).

No sarcômero, unidade contrátil do músculo, filamentos grossos e finos são encontrados intercalados e dispostos conforme mostrado na Figura 17. Os filamentos finos (6-8 nm de diâmetro) são compostos principalmente pela proteína actina e os filamentos grossos (≈ 15 nm de diâmetro) são compostos pela proteína miosina (Figura 18). O arranjo dos miofilamentos é o mesmo em todos os tipos de células de músculo estriado. A diferença principal entre as células musculares esqueléticas e cardíacas está no tamanho, na forma e na sua organização (BLOOM; FAWCETT, 1969; ROSS *et al.*, 1995).

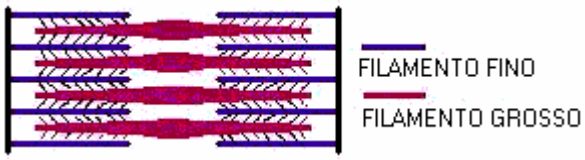
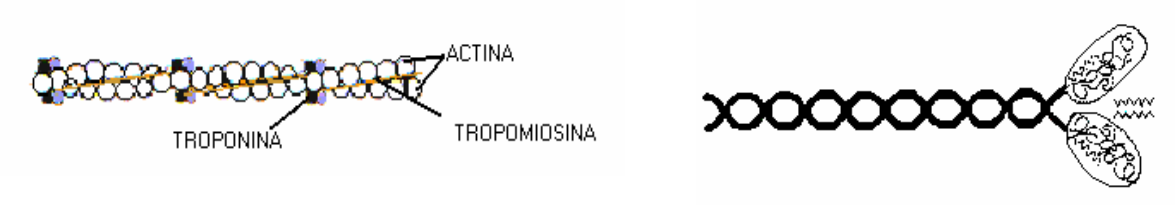


Figura 17 – Diagrama de um sarcômero muscular: o filamento fino (actina) intercalado com o filamento grosso (miosina) (http://www.virtual.unifesp.br)



(a) **(b)**

Figura 18 – Estrutura da (a) actina e da (b) miosina (http://www.virtual.unifesp.br)

As estrias que o músculo exibe são devido aos sarcômeros de miofibrilas adjacentes que estão em contato. Esses dois miofilamentos preenchem parte do citoplasma da célula muscular, que apresenta maior número de miofilamentos do qualquer outro tipo de célula e são utilizados com o único propósito de produzir trabalho mecânico (ROSS *et al.*, 1995).

As células musculares superam todas as outras no que se tange à dependência de ATP como reserva de energia, devido à sua grande demanda por energia para produzir trabalho. A energia estocada como ligações de fosfato de alta energia vem do metabolismo de ácido graxo e glicose. A glicose é o principal substrato na contração muscular, sendo fornecida às células musculares tanto pela circulação geral, como pela quebra de glicogênio, que é normalmente estocado no citoplasma das fibras musculares. Aproximadamente 1% do peso seco dos músculos esquelético e cardíaco é referente ao glicogênio (ROSS *et al.*, 1995).

Estudos com células de músculo estriado esquelético revelaram que a contração muscular está relacionada à presença dos miofilamentos (actina e miosina) no citoplasma das fibras musculares (Figura 19).

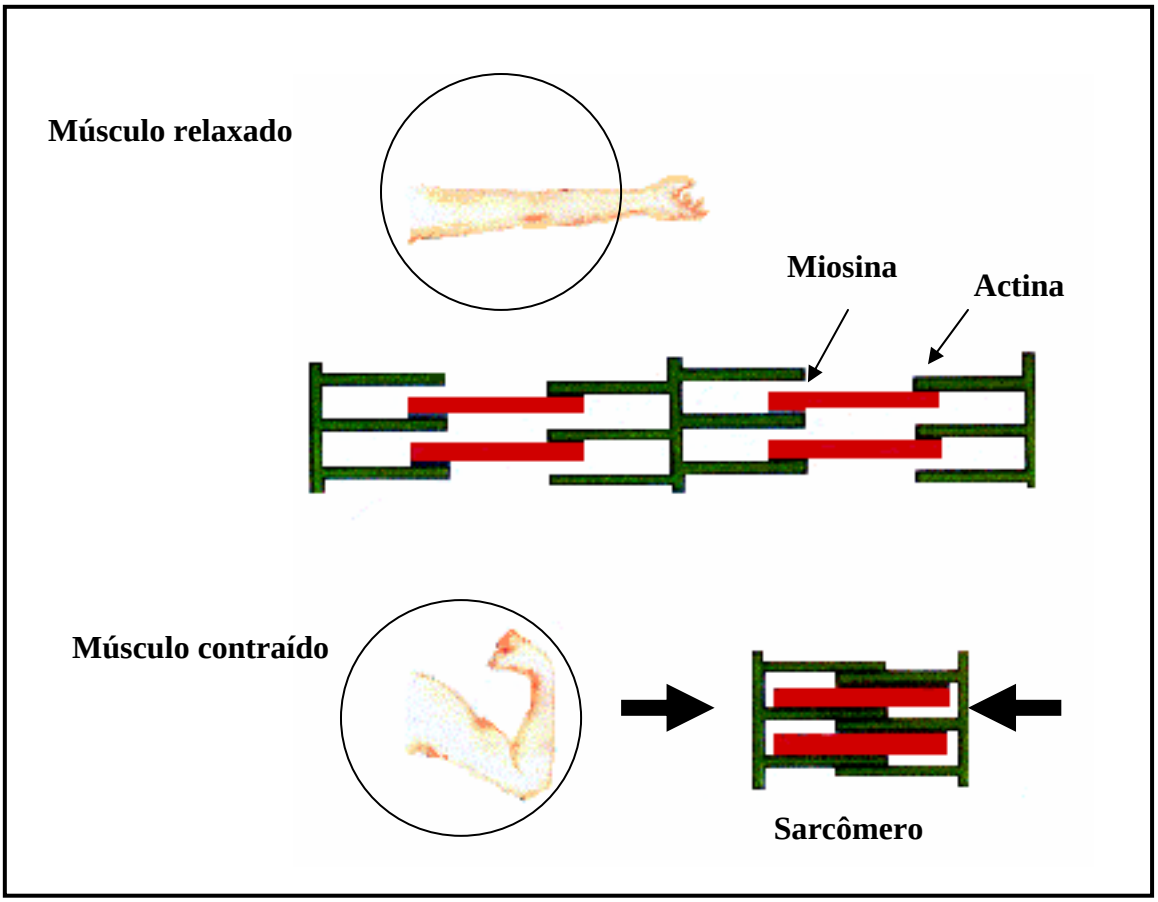


Figura 19 – Esquema da contração muscular - Variações no sarcômero muscular durante a concentração (VILELA, 2004)

Quando a musculatura está relaxada, a troponina e a tropomiosina cobrem a actina impedindo que esta se ligue à miosina, produzindo assim um mecanismo capaz de impedir e desfazer a ligação entre a actina e a miosina. O estímulo para a contração muscular é geralmente um impulso nervoso, que chega à fibra muscular através de um nervo. O impulso nervoso propaga-se pela membrana das fibras musculares (sarcolema) e atinge o retículo sarcoplasmático, fazendo com que o cálcio ali armazenado seja liberado no hialoplasma. Ao entrar em contato com as miofibrilas, o cálcio desbloqueia os sítios de ligação da actina (Figura 20). As cabeças das moléculas de miosina ligam-se, com gasto de ATP, à molécula da proteína actina. A ligação muda a conformação das moléculas de miosina produzindo uma redução no comprimento do filamento. Assim que cessa o estímulo, o cálcio é imediatamente

rebombeado para o interior do retículo sarcoplasmático, o que faz cessar a contração (BLOOM; FAWCETT, 1969, FANÒ, 2004).

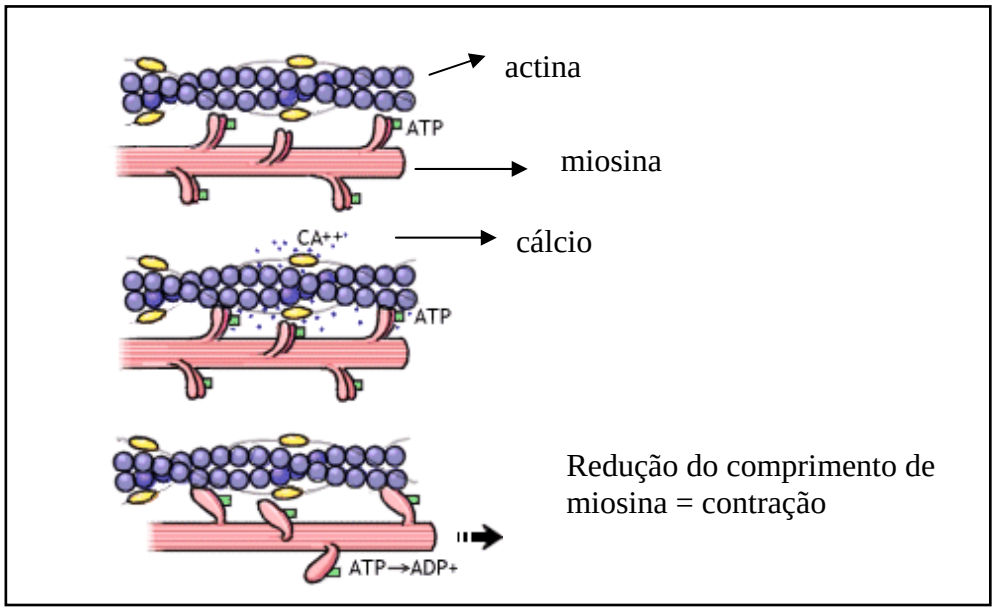


Figura 20 – Esquema do mecanismo de contração muscular (FANÒ, 2004)

Tanto o cálcio intracelular quanto o extracelular estão envolvidos na contração cardíaca. O influxo de cálcio externo age como desencadeador da liberação do cálcio armazenado na luz do retículo sarcoplasmático, provocando a contração ao atingir as miofibrilas e levando ao relaxamento ao serem bombeados de volta para o retículo. A energia para a contração muscular é suprida por moléculas de ATP produzidas durante a respiração celular. O ATP atua tanto na ligação da miosina à actina quanto em sua separação, que ocorre durante o relaxamento muscular. Quando falta ATP, a miosina mantém-se unida à actina, causando enrijecimento muscular (BLOOM; FAWCETT, 1969).

Segundo Vilela (2004), pode-se dizer de forma simplificada que a fibra muscular apresenta os seguintes eventos ao receber um estímulo nervoso: 1) o retículo sarcoplasmático e o sistema T liberam íons Ca^{++} e Mg^{++} para o citoplasma; 2) em presença desses dois íons, a miosina desdobra o ATP, liberando a energia de um radical fosfato; 3) a

energia liberada provoca o deslizamento da actina entre os filamentos de miosina, caracterizando o encurtamento das miofibrilas (Figura 21).

$$ATP \xrightarrow[Ca^{++}/Mg^{++}]{Miosina} ADP + P + Energia$$

Figura 21 – Equação de produção de energia a partir do ATP (VILELA, 2004)

6.1.1.2 Músculo estriado cardíaco

O tecido muscular cardíaco forma o músculo do coração (miocárdio), que constitui as paredes dos átrios e ventrículos. Ele é composto por uma rede de fibras de músculo estriado que apresenta um delicado revestimento de tecido conjuntivo (BLOOM; FAWCETT, 1969).

As fibras são compostas por células que apresentam apenas um ou dois núcleos alongados, em geral situados profundamente no interior da fibra (Figura 22). Estas unidades celulares (alongadas, ramificadas e distintas) são ligadas pelas extremidades por discos intercalares, que são especializações de superfície que se orientam transversalmente na fibra. Apesar de apresentar estas estrias transversais, suas fibras contraem-se de forma involuntária, rápida e rítmica (BLOOM; FAWCETT, 1969).

As fibras cardíacas não são unidades cilíndricas simples, mas bifurcadas, e se ligam com as fibras adjacentes, formando uma complexa rede tridimensional (Figura 23). Portanto, um aspecto fundamental no funcionamento do coração é a interligação das fibras musculares de forma a constituir uma rede. Dessa forma, a contração ocorre rapidamente e de forma global no órgão como um todo (BLOOM; FAWCETT, 1969; GARTNER; HIATT, 1997).

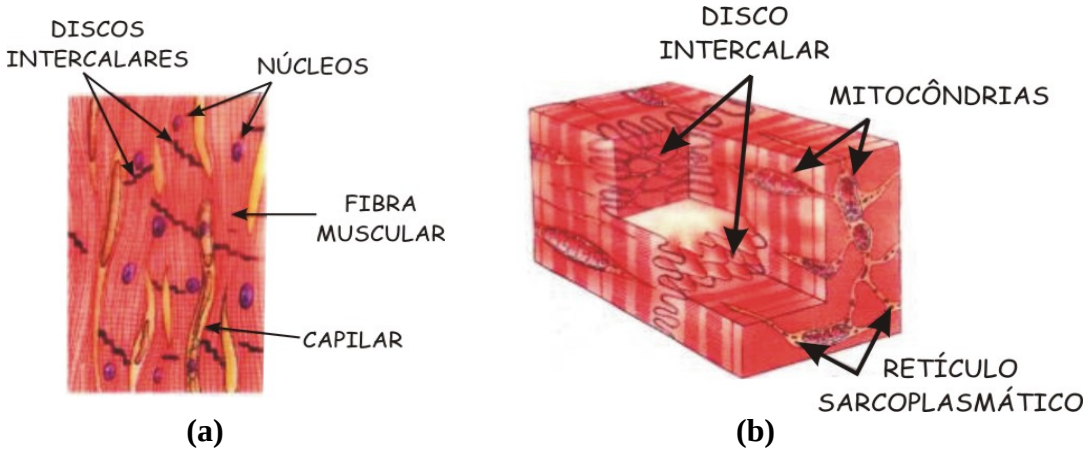


Figura 22 - Organização esquemática do miocárdio **(a)** corte longitudinal da fibra cardíaca **(b)** Esquema da musculatura cardíaca (VILELA, 2004)

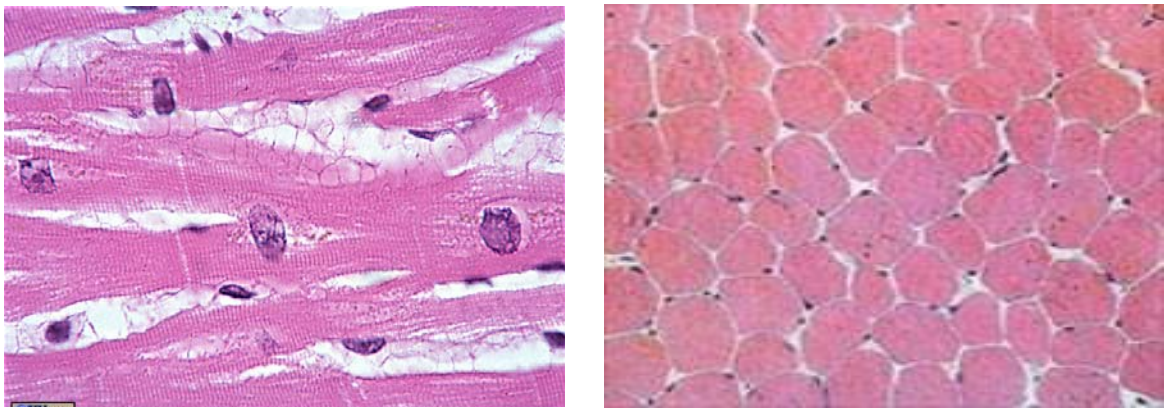
A força da contração cardíaca não se deve à quantidade de fibras ativadas porque o coração não recebe inervação motora do sistema nervoso central, pois possui um sistema especializado de excitabilidade e condutibilidade. A fibra cardíaca é formada por muitas células individuais separadas entre si por discos intercalares que possuem uma resistência elétrica muito baixa em relação à membrana sarcoplasmática normal.

A baixa resistência elétrica permite que o músculo cardíaco se comporte como um sincício onde as células são interligadas, o que implica que uma vez que um potencial de ação tenha chegado à membrana de uma miocélula, este se propague por todas as demais células, e logo todas irão se contrair quase que ao mesmo tempo e com mesma intensidade. Assim, o coração contrai de uma só vez ou simplesmente não contrai (ROSS *et al.*, 1995).

O músculo cardíaco apresenta algumas diferenças em relação ao músculo esquelético. No músculo cardíaco, por exemplo, o retículo sarcoplasmático não é tão desenvolvido quanto no músculo esquelético e não forma cisternas terminais. Ao invés disso, apresenta um arranjo simples de elementos tubulares.

Pequenas expansões terminais do retículo se encontram em alguns pontos estreitamente justapostas à membrana de túbulos T. As estruturas do músculo cardíaco se

associam formando díades, enquanto o músculo esquelético forma tríades (BLOOM; FAWCETT, 1969; GARTNER; HIATT, 1997).



(a) **(b)**

Figura 23 – Cortes do músculo cardíaco – (a) corte longitudinal e (b) transversal (KU MEDICAL CENTER, 2004; VILELA, 2004)

Outra grande diferença consiste em que os íons cálcio (Ca^{2+}) são ativados e transportados do fluido extracelular para as células do músculo cardíaco. Assim, a contração cardíaca é altamente dependente do cálcio extracelular. A sua escassez no meio extracelular cessa a contração do músculo cardíaco em apenas 1 minuto (GARTNER; HIATT, 1997).

Quase a metade do volume de células do músculo cardíaco é ocupada por mitocôndrias, devido ao alto consumo energético deste tecido. O músculo cardíaco apresenta baixa quantidade de glicogênio, por isso, os ácidos graxos armazenados sob a forma de triglicerídeos ou triacilglicerol são a principal fonte de energia do coração.

Apesar de uma pequena porcentagem da produção de energia ser ativada pelo metabolismo anaeróbico, as condições anaeróbicas não podem sustentar as contrações ventriculares. As células do músculo cardíaco consomem uma grande quantidade de oxigênio, por isso elas contêm uma grande reserva de mioglobina (GARTNER; HIATT, 1997).

6.2 - DOENÇAS CARDIOVASCULARES NO MUNDO

Segundo relatório da Organização Mundial de Saúde (WHO, 2003), no ano de 2002, mais da metade (58,6%) do total de mortes no mundo foi causada por doenças não contagiosas (grupo II): 29,2% (16.700.000 pessoas por ano) doenças cardiovasculares (DCVs), 12,5% neoplasias malignas, 6,5% problemas respiratórios, 3,4% problemas digestivos e 1,7% diabetes mellitus. Os problemas classificados como fatores do grupo I foram responsáveis por 32,3% do número total de mortes: doenças contagiosas (19,9%), infecções respiratórias (6,7%), problemas maternos (0,9%), condições pré-natais (4,3%) e deficiências nutricionais (0,8%). O restante das mortes (9,1%) foi provocado por fatores do grupo III: ferimentos ocorridos em guerras (0,3%), por meio da violência (1,0%) e de acidentes de trânsito (2,1%) (Figura 24).

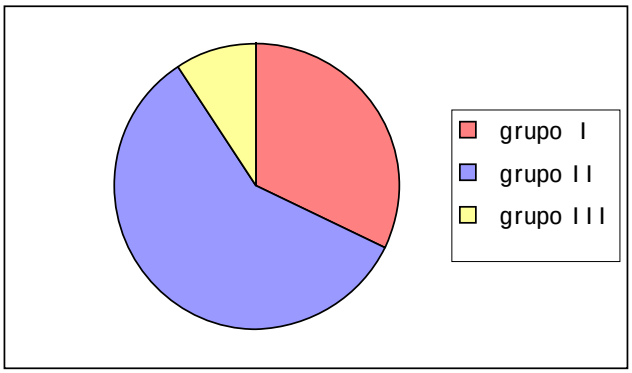


Figura 24 – Mortes no mundo segundo o grupo de causa. Grupo I: Mortes causadas por doenças contagiosas, problemas maternos, condições pré-natais e deficiências nutricionais. Grupo II: Mortes causadas por doenças não contagiosas. Grupo III: Mortes causadas por ferimentos. Fonte: WHO (2003)

Nos países industrializados, as DCVs são a primeira ou a segunda causa de morte de homens e mulheres, e mais de 1/3 destas mortes ocorrem de forma prematura em adultos de meia idade. Na Noruega, por exemplo, os eventos cardiovasculares foram a causa de 40,6% e

39,6% do total de óbitos nos anos de 2001 e 2002, respectivamente (STATISTIK SENTRALBYRA, 2005). Sendo assim, durante décadas as DCVs foram consideradas doenças apenas dos países industrializados estando sempre relacionadas ao estilo de vida urbana. Ainda persiste uma visão de que as DCVs ocorrem preferencialmente entre as pessoas com alto padrão de vida, que ocorrem em decorrência do envelhecimento natural, de processos degenerativos e do estilo de vida, estando completamente sob o controle de decisões individuais. Porém, nos últimos anos, houve um alerta sobre a necessidade de políticas de prevenção das DCVs, inclusive nos países pobres e nos países em desenvolvimento da África, Ásia e América Latina, porque a cada ano o número de DCVs cresce de forma bastante acelerada nesses países. Ao serem comparadas as cinco maiores causas de morte no mundo, torna-se ainda mais explícita a contribuição dos eventos cardiovasculares na mortalidade do homem contemporâneo (Figura 25). As áreas mais pobres do planeta ainda estão bastante suscetíveis à grande incidência de doenças transmissíveis. Mesmo assim, nas estatísticas os eventos cardiovasculares sempre aparecem entre as principais causas de mortes. No ano de 2002, por exemplo, o número de mortes pela Síndrome da Imunodeficiência Adquirida (AIDS) na África foi de aproximadamente 2.200.000, seguidos pelas mortes devido à Malária (1.100.000), pelas infecções respiratórias (1.000.000) e pelas DCVs (946.000) (WHO, 2003).

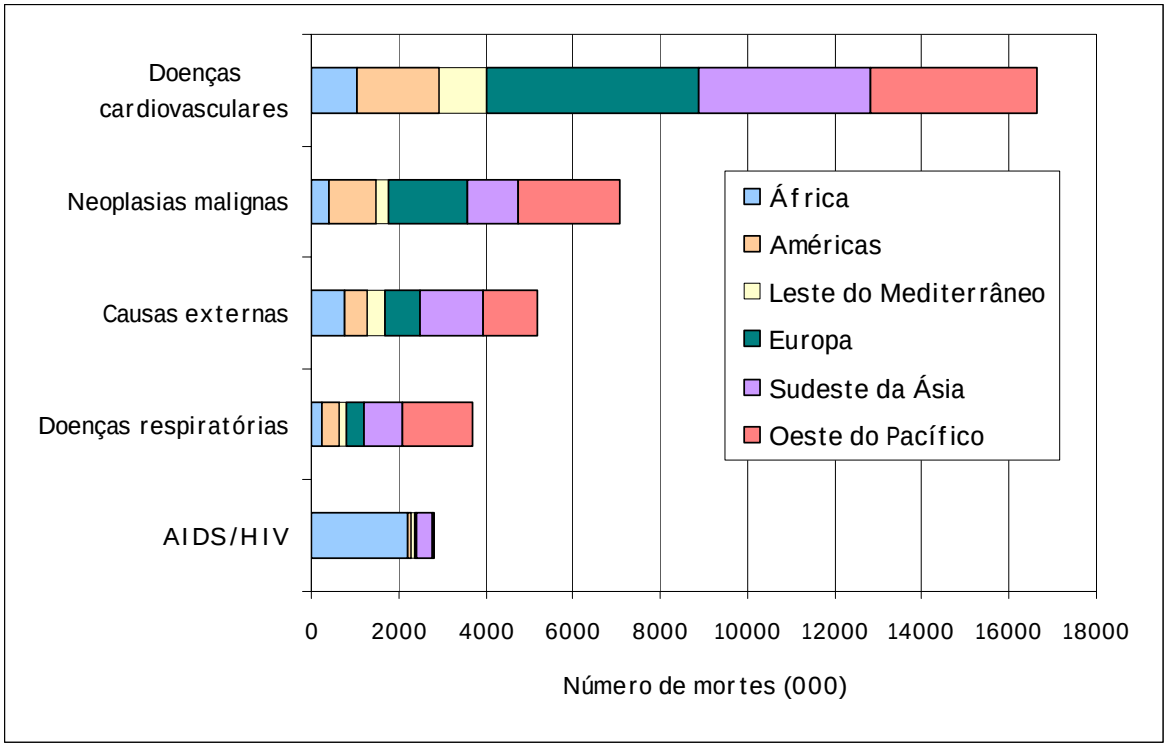


Figura 25 – Principais causas de morte no mundo e o índice de ocorrência segundo a região, no ano de 2002. Fonte: WHO (2003)

No Brasil, no período de 1996 a 2001, o número de óbitos causados por eventos cardiovasculares subiu 6,3% entre os homens e 4,1% entre as mulheres (Figura 26). No ano de 2002, as doenças do aparelho circulatório foram responsáveis por 31,52% do total de mortes, seguidas pelas neoplasias (15,31%), causas externas (14,91%) e doenças do aparelho respiratório (11,17%); isto significa a morte de 250.000 brasileiros em decorrência de eventos cardiovasculares, ou seja, aproximadamente 820 pessoas por dia (SUS, 2006). Em 2005, as DCVs foram responsáveis por 15,2% das internações realizadas no SUS (18% das despesas), na faixa etária entre 30 e 69 anos. No total de casos 17,7% foram relacionadas ao acidente vascular encefálico (AVE) e ao infarto agudo do miocárdio (IAM), onde a hipertensão arterial é um dos principais fatores de risco (MACHADO, 2006).

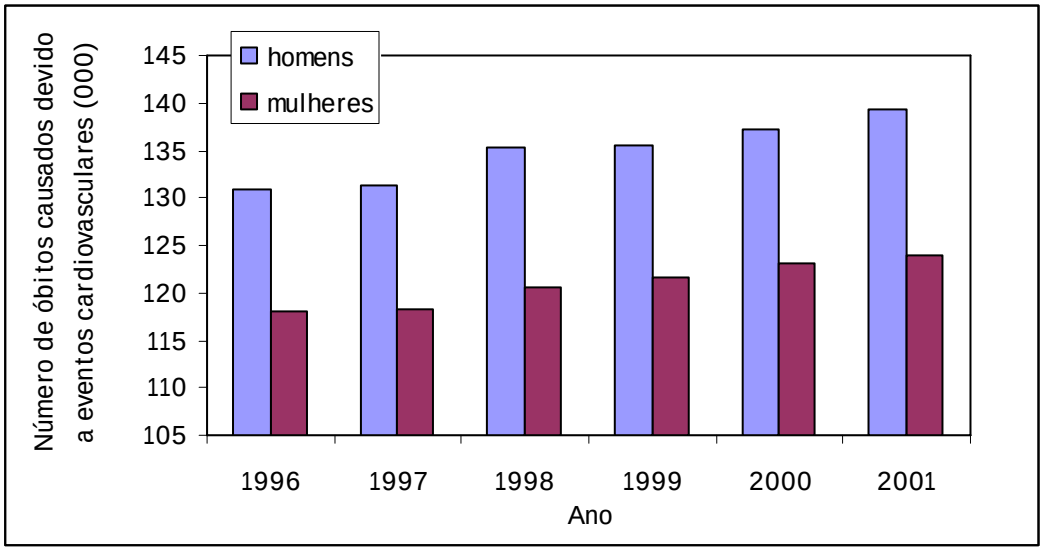


Figura 26 – Número de óbitos no Brasil, por sexo, causados por eventos cardiovasculares. Fonte: SUS (2006)

As doenças do coração também são o principal fator de gastos com saúde nos EUA (8,06%); o câncer encontra-se na quarta posição sendo responsável por 5,36% do total de gastos; e a hipertensão arterial na quinta posição (4,24%). Somente no ano de 2003, 6.821.000 norte-americanos sofreram intervenções cirúrgicas ou procedimentos cardiovasculares, o que representou gastos de US$ 6.800.000,00. Para o ano de 2006, a estimativa do total de custos relacionados com as DCVs é de quatrocentos bilhões de dólares americanos, incluindo as despesas com a saúde (custos diretos – profissionais, hospitais, medicamentos, etc.) e com a perda de produtividade resultante da mortalidade e da morbidade (custos indiretos). Por comparação, em 2004 os gastos com câncer e HIV foram da ordem de cento e noventa bilhões de dólares americanos e de vinte e nove bilhões de dólares americanos, respectivamente (THOM *et al*., 2006).

A representativa incidência de DCVs e seu aumento em todo o mundo podem ser explicados como uma conseqüência do envelhecimento da população mundial, que devido aos avanços médicos e tecnológicos, vem experimentando suave aumento, ao longo dos anos. No

Brasil, particularmente, a esperança de vida passou de 62,7 anos para 68,9; correspondendo a um aumento de 6,2 anos entre 1980 e 2001 (Quadro 10) (IBGE, 2001).

Quadro 10 – Esperança de vida da população brasileira por sexo

Ano	Ambos os sexos	Homens	Mulheres
1980	62	59,6	66
1991	66	62,6	69,8
1998	68,1	64,4	72
1999	68,4	64,6	72,3
2000	68,6	64,8	72,6
2001	68,9	65,1	72,9

Fonte: IBGE (2001).

6.3 – HIPERTENSÃO ARTERIAL

6.3.1 – Definições e considerações

A hipertensão sangüínea é definida, para humanos, como pressão arterial sistólica acima de 140 mmHg ou pressão arterial diástólica maior que 90 mmHg. Atualmente os médicos e cientistas utilizam-se do termo “pré-hipertensão” para pressões sistólicas na faixa de 120 a 139 mmHg ou pressão diastólica de 80 a 89 mmHg (THOM *et al.*, 2006).

A hipertensão arterial é uma doença crônica, multifatorial, de detecção quase sempre tardia, sendo considerada como o principal fator de risco de morbidade e mortalidade cardiovascular. Quando não tratada adequadamente pode acarretar em severas complicações como a insuficiência cardíaca, renal e acidente vascular encefálico, podendo evoluir para morte súbita (JARDIM *et al.*, 2005).

6.3.2 – Ocorrências no mundo

De acordo com a Organização Mundial da Saúde, de cada três adultos um sofre de hipertensão arterial. O Ministério da Saúde Brasileira estima que 15% dos brasileiros com 20 anos ou mais sejam hipertensos, o que evidencia a existência de aproximadamente 12.000.000 de hipertensos no Brasil (JARDIM *et al.*, 2005). Nos EUA, aproximadamente 28% dos maiores de 18 anos possuem "pré-hipertensão" o que representa 59.000.000 de pessoas (THOM *et al*., 2006).

Em um estudo conduzido em 1999/2000 pela Organização Mundial da Saúde nos EUA, 39% das pessoas possuíam pressão sangüínea normal, 31% eram "pré-hipertensas" e 29% eram hipertensas. A incidência de pré-hipertensão foi maior entre os homens adultos (39%) do que nas mulheres adultas (23%). Entre os indivíduos idosos houve maior incidência de hipertensão arterial. Entre indivíduos com menos de 45 anos, houve maior quantidade de homens hipertensos do que de mulheres hipertensas. De 45 a 54 anos de idade a percentagem de mulheres hipertensas superou a de homens, porém, após esta idade, o percentual de hipertensos foi o mesmo entre homens e mulheres (THOM *et al*., 2006).

Estudos do *Framingham Heart Institute/USA* também mostraram que a idade avançada aumenta o risco do desenvolvimento de hipertensão arterial (fator promotor das doenças cardíacas). De acordo com esse estudo, cerca 2/3 das pessoas desenvolvem hipertensão arterial entre os 55 e 65 anos de idade (AHA, 2004). Outros fatores que, normalmente, são desenvolvidos com o envelhecimento, como o sobrepeso e obesidade, a diabetes e o colesterol; aumentam ainda mais o risco de danos ao miocárdio (ÁGUILA*;* MANDARIM-DE-LACERDA, 2003).

A hipertensão arterial foi considerada o principal fator de risco de mortes nos EUA em 2003. De 1993 a 2003, a taxa de mortalidade causada por hipertensão arterial aumentou para

29,3%; e em 2005, o número de mortes provocadas pela hipertensão arterial aumentou para 56,1% (THOM *et al*., 2006). A cada ano, aproximadamente 700.000 pessoas sofrem ataque cardíaco nos EUA, sendo que 47% destas pessoas morrem no seu primeiro ataque cardíaco. Ressalta-se que aproximadamente 69% das pessoas que sofreram um ataque cardíaco, 77% das que sofreram um infarto e 74% das que sofreram um acidente vascular encefálico possuíam pressões arteriais maiores que 140/90 mmHg (AHA, 2004). Segundo Thom e colaboradores (2006), as pessoas que possuem pressão arterial sistólica superior a 160 mmHg têm quatro vezes mais chance de sofrer um infarto do que aquelas que apresentam pressão sangüínea normal.

Nos EUA os custos diretos relacionados à hipertensão arterial foram estimados, para o ano de 2006, em torno de sessenta bilhões de dólares (THOM *et al.*, 2006). De acordo com dados da Organização Mundial da Saúde, divulgados em 2003, 50% dos hipertensos norte-americanos e 41% dos chineses estão em tratamento, enquanto no Brasil, o Ministério da Saúde estima que apenas 15% dos hipertensos estejam sendo tratados, representando, desta forma, um grave problema de saúde pública no Brasil (WHO, 2003).

6.3.3 - Hipertensão arterial e hipertrofia cardíaca

William Osler observou, há aproximadamente 100 anos atrás, que o primeiro efeito de uma grande carga de trabalho sobre coração é o aumento da massa e da geometria do coração (WALSH, 1997). Este processo inicialmente traz benefícios porque ele permite um aumento na capacidade de bombeamento do coração, o que equilibra o efeito da sobrecarga de trabalho. Mas, se a sobrecarga for intensa demais ou se for contínua - como, por exemplo, as sobrecargas causadas por problemas em valvas cardíacas ou por problemas de hipertensão

arterial – a hipertrofia torna-se desequilibrada, enfraquecendo o músculo cardíaco e podendo provocar insuficiência cardíaca.

A sobrecarga mecânica modifica a expressão gênica tanto quantitativamente quanto qualitativamente. Esta sobrecarga conduz a uma hipertrofia ventricular e modifica diversas características fisiológicas do órgão (PEREIRA, 2000). Durante uma hipertrofia cardíaca não existe aumento do número de fibras miocárdicas. Ao invés disso, as células do músculo do coração tornam-se maiores e mais largas em diâmetro. Os danos causados ao coração não resultam em regeneração dos tecidos musculares, mas as células musculares mortas são substituídas por tecido conjuntivo fibroso (remodelamento) (GARTNER; HIATT, 1997).

Os efeitos do envelhecimento do coração conduzem a uma diminuição de arteríolas no miocárdio, o que pode prejudicar a resistência e a reserva coronariana sem alterar a microvascularização capilar e o potencial de oxigenação do coração. A redução do número de miócitos em mamíferos ocorre logo após a maturidade sexual e continua ao longo da vida, mesmo na ausência de arteriosclerose, diabetes, hipertensão arterial e problemas cardíacos. Um rato idoso tem 30% menos número de cardiomiócitos no ventrículo esquerdo do que um rato jovem, como resultado apenas do processo de envelhecimento (AGUILA; MANDARIM-DE-LADERDA, 2001b). O processo de envelhecimento do coração é acelerado pela hipertensão arterial e está associado - além da perda de cardiomiócitos - com a hipertrofia das células remanescentes e com o aumento de tecido conjuntivo intersticial (OLLIVETTI *et al.*, 1995; FORMAN *et. al*, 1997; AGUILA; MANDARIM-DE-LACERDA, 2001a).

6.4 – O SANGUE

O sangue é um fluido espesso e viscoso formado pela suspensão de elementos celulares numa solução aquosa de eletrólitos e alguns outros elementos moleculares (Figura

27), que é classificado como uma forma de tecido conjuntivo especializado (GARTNER; HIATT, 1997).

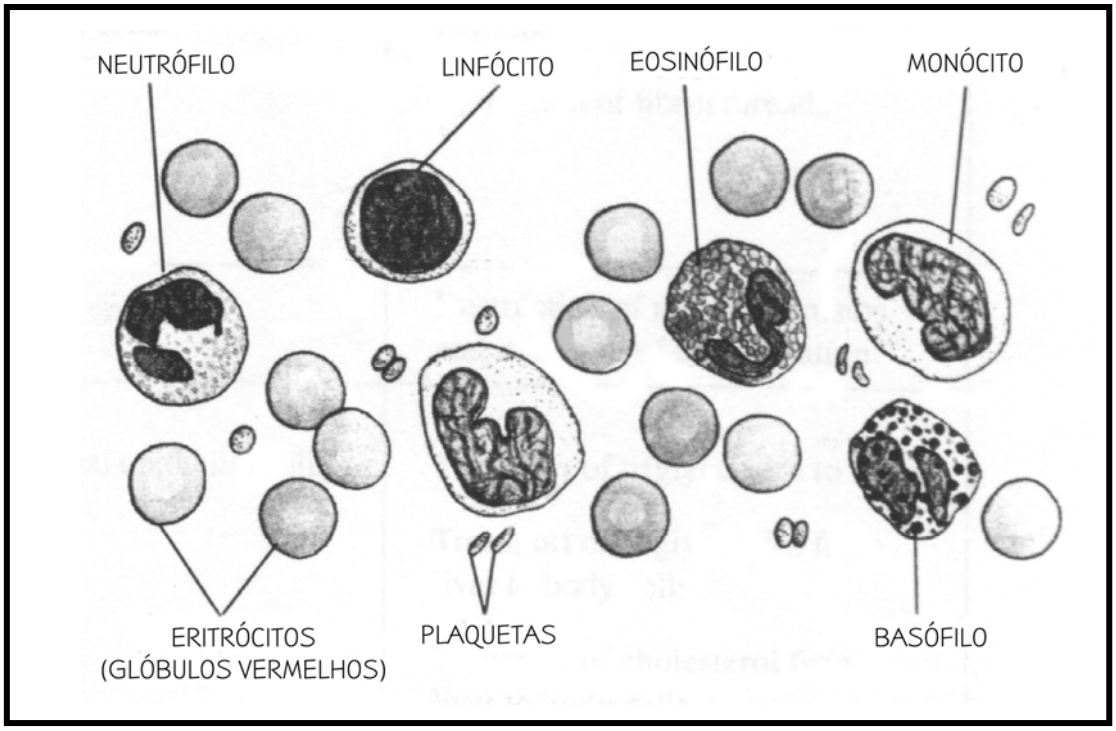


Figura 27 – Células e plaquetas presentes no sangue. Fonte: GARTNER e HIATT (1997)

Dentre as principais funções do sangue estão: 1) a condução dos nutrientes do sistema gastrintestinal para todas as células do corpo e, subseqüentemente, dos produtos do metabolismo celular para os órgãos de excreção; 2) a condução do oxigênio atmosférico existente nos pulmões, através da hemoglobina presente nos eritrócitos, para as células de todos os tecidos do corpo e o transporte de gás carbônico das células para os pulmões; 3) a condução de hormônios e agentes reguladores através dos tecidos do corpo; 4) regulação da temperatura corpórea, do equilíbrio ácido/básico e do balanço osmótico dos fluidos corpóreos. O sangue atua como um caminho para o qual migram os glóbulos brancos, entre os vários tecidos do corpo (BLOOM; FAWCETT, 1969; ROSS *et al*., 1995; GARTNER; HIATT, 1997).

Através da centrifugação do sangue obtêm-se duas fases: uma fase aquosa denominada plasma e uma fase sólida composta por células. Cerca de 90% do volume do plasma é

constituído por água, cujo nível de cloreto de sódio (NaCl) é semelhante ao nível de NaCl do mar (soro fisiológico – 0,9% de NaCl); 7-8% é formado por proteínas plasmáticas como a albumina, o fibrinogênio, a protombina e as globulinas; e o restante é formado por eletrólitos, gases e outros, conforme apresentado no Quadro 11. Em uma pessoa sadia, o volume plasmático é cerca de 55% do volume total do sangue, os outros 45% consistem de eritrócitos (glóbulos vermelhos), leucócitos (glóbulos brancos) e plaquetas (BLOOM; FAWCETT, 1969; ROSS *et al*., 1995).

Um adulto normal possui 35 ml de glóbulos vermelhos por quilo de massa corpórea (ROSS *et al*., 1995). Os glóbulos vermelhos são formados por hemoglobina, que é formada a partir da combinação de quatro moléculas ou radicais heme com uma proteína: a globina. O radical heme é um complexo metálico que contém ferro, no estado ferroso (responsável pela cor do pigmento) e a globina é uma proteína incolor, em cuja superfície fixam-se os quatro pequenos grupos de moléculas dos radicais heme (BLOOM; FAWCETT, 1969).

O sangue também contém um grande número de células incolores denominadas leucócitos, que possuem núcleo e citoplasma (BLOOM; FAWCETT, 1969).

Quadro 11 – Composição química do plasma sanguíneo humano

COMPONENTE	%
Água	91-92
Proteínas (fibrinogênio, globulina, albumina).	7-8
Outros solutos Eletrólitos (Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Cl^-, HCO_3^-, PO_4^{3-}, SO_4^{2-}). Compostos nitrogenados não protéicos (uréia, ácido úrico, creatina, creatinina, sais amoníacos). Nutrientes (glicose, lipídios, aminoácidos). Gases sanguíneos (oxigênio, dióxido de carbono, nitrogênio). Substâncias reguladoras (hormônios, enzimas).	1-2

Fonte: ROSS *et al.* (1995).

Capítulo 7 – MÉTODOS DE CARACTERIZAÇÃO

7.1 - ANÁLISE TÉRMICA

A análise térmica é um conjunto de técnicas que permite medir as mudanças de propriedades física e química de uma substância ou material em função da temperatura ou tempo, enquanto a substância é submetida a uma programação controlada de temperatura (MOTHÉ; AZEVEDO, 2002).

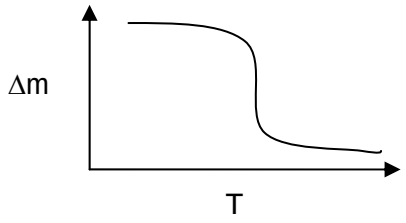
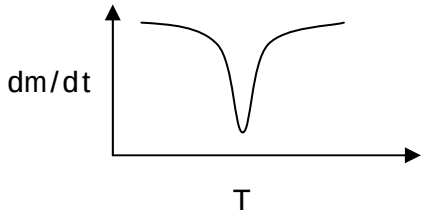
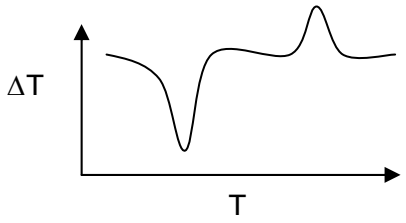
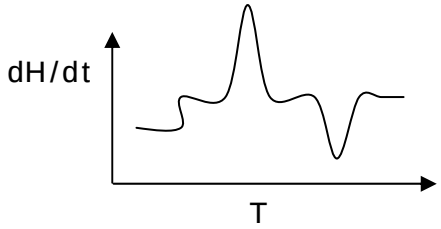
As vantagens da análise térmica são muitas, como por exemplo, a necessidade de poucas quantidades de amostra para a análise, a grande variedade de resultados obtidos em um único gráfico e a possibilidade de utilizar as amostras sem a necessidade de preparo prévio.

Em um sistema de termoanálise, a amostra é colocada em um ambiente no qual é possível observar, direta ou indiretamente, uma modificação em função da temperatura e do tempo. As mudanças ocorridas na amostra são monitoradas por um transdutor apropriado, que produz um sinal elétrico análogo à mudança física ou química. Este sinal é amplificado de modo eletrônico e aplicado a um dispositivo de leitura em um registrador (MOTHÉ; AZEVEDO, 2002).

As técnicas mais utilizadas têm sido: 1) Termogravimetria (TG)/ Termogravimetria Derivada (DTG); 2) Análise Térmica Diferencial (DTA) e 3) Calorimetria Exploratória

Diferencial (DSC). Os parâmetros medidos, os instrumentos utilizados e a curva padrão esperada em cada uma das termoanálises citadas acima estão descritos no Quadro 12.

Quadro 12 – Curvas padrão e informações obtidas pelas técnicas de análise térmica

Técnica	Parâmetro medido	Instrumento	Curva Padrão
TG	Variação de massa (Δm)	Termobalança	
DTG	Variação de massa (dm/dt)	Termobalança	
DTA	Variação de temperatura (ΔT)	Célula de DTA	
DSC	Variação de fluxo de calor (dH/dt)	Calorímetro	

TG: Termogravimetria; DTG: Termogravimetria derivada; DTA: Análise Térmica Diferencial; DSC: Calorimetria Exploratória Diferencial. Fonte: MOTHÉ e AZEVEDO (2002).

7.1.1 - Termogravimetria (TG) e Termogravimetria Derivada (DTG)

A termogravimetria (TG) baseia-se no estudo da variação de massa de uma amostra, resultante de uma transformação física (sublimação, evaporação, condensação) ou química (degradação, decomposição, oxidação) em função da temperatura. Dessa forma, a termogravimetria é um processo contínuo que mede a variação de massa de uma substância ou material como função da temperatura. Em uma curva TG são observadas inflexões devido ao processo de degradação térmica do material, o que depende da sua natureza química, ou seja, da estrutura e da extensão das forças de interação. As curvas DTG detalham o processo de degradação (MOTHÉ; AZEVEDO; 2002).

7.1.2 - Análise Térmica Diferencial (DTA)

A análise Térmica Diferencial (DTA) é uma técnica em que se mede a diferença de temperatura entre a amostra e uma substância inerte (referência), quando ambas são submetidas ao aquecimento ou ao resfriamento. As mudanças na temperatura da amostra são ocasionadas pelas suas transições térmicas, reações exotérmicas ou endotérmicas provocadas devido a mudanças de fase, fusão, sublimação, vaporização, reações de decomposição, oxidação, dentre outras.

Pelas curvas de DTA obtêm-se as informações sobre a estrutura e a ordenação de uma amostra. As curvas possuem picos de transição em função da temperatura. A área do pico é proporcional à mudança de calor envolvido, portanto esta técnica também é útil para determinações quantitativas de calor de reação (MOTHÉ; AZEVEDO; 2002).

7.1.3 - Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

A Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) é uma técnica derivada da DTA que mede as temperaturas e o fluxo de calor associado com as transições dos materiais em função da temperatura e do tempo. Tais medições podem fornecer informações qualitativas e quantitativas sobre mudanças físicas e químicas, que envolvem processos endotérmicos e exotérmicos, ou mudanças na capacidade calorífica.

O DSC pode fornecer informações sobre a transição vítrea de um material, tempo e temperatura de cristalização, ponto de fusão, calor específico, ponto de ebulição, grau e velocidade de cura, e cinética de reação, dentre outros. Nas curvas DSC a área do pico é diretamente proporcional à variação de entalpia, segundo descrito na Equação 1, onde A = aérea do pico de DSC, ΔH_m= variação de entalpia e K = constante independente da temperatura.

$$A = \frac{\Delta Hm}{K} \tag{1}$$

7.1.4 – Estudo cinético pelo método de Bochardt & Daniels

A determinação de parâmetros cinéticos envolve cálculos complicados na aplicação de modelos matemáticos, que possibilitam um estudo o qual pode ir do cálculo da energia de ativação (E) de uma reação química até o tempo máximo de estocagem (*shelf-life)* de um material (MOTHÉ; AZEVEDO, 2002).

Dentre os parâmetros obtidos no estudo cinético, destacam-se a energia de ativação (E) e o fator pré-exponencial (Z). A energia de ativação é a barreira que deve ser transposta para que a reação seja iniciada e o fator pré–exponencial, em reações homogêneas, representa

a freqüência de colisões efetivas entre as moléculas reativas. O seu significado, para reações heterogêneas não está bem definido (PAULA, 2004).

O método de Borchardt & Daniels (1957) permite calcular em uma única curva de DSC a energia de ativação (E) e o fator pré-exponencial (Z), através da divisão da curva em fatias idênticas. A ordem da reação é calculada pelo método de Kissinger (1957).

7.2 - ANÁLISE REOLÓGICA

A palavra reologia origina-se do grego *rhéos*, que significa fluxo ou corrente, e *logia*, estudo. A reologia é a ciência que estuda de que maneira os materiais se deformam quando sofrem ação de uma tensão. Este estudo contribui para o conhecimento da estrutura dos materiais, pois existe relação entre tamanho e forma molecular das substâncias em solução e sua viscosidade (CORREIA, 2002).

Pode-se dizer que o estudo reológico teve seu início oficial em 1687, quando Isaac Newton escreveu o famoso *Principia Mathematica*. Neste ele expressava, entre outras coisas, a idéia básica da viscosidade dos fluidos, descrevendo o comportamento do fluxo de um líquido ideal (MACOSKO, 1994; SCHRAMM, 2000). Segundo Newton a resistência (tensão local), que aumenta com o deslizamento dos planos em um fluido (viscosidade), é proporcional à velocidade com que as partes do fluido são separadas entre si (gradiente de velocidade) (MACOSKO, 1994).

7.2.1 - Fluidos newtonianos

Fluidos newtonianos podem ser definidos como fluidos que exibem um comportamento de acordo com o modelo descrito por Newton sob certas condições de tensão

(τ) e taxa de cisalhamento ($\dot{\gamma}$). O gráfico equivalente a esta equação é uma linha reta que passa pela origem da curva de fluxo (Figura 28), formando um ângulo α com o eixo das abscissas. Por ser uma relação constante entre τ e $\dot{\gamma}$, isto significa que a viscosidade não é afetada pela taxa de cisalhamento (Figura 29). Assim, todos os fluidos para os quais esse comportamento é verificado são considerados fluidos newtonianos.

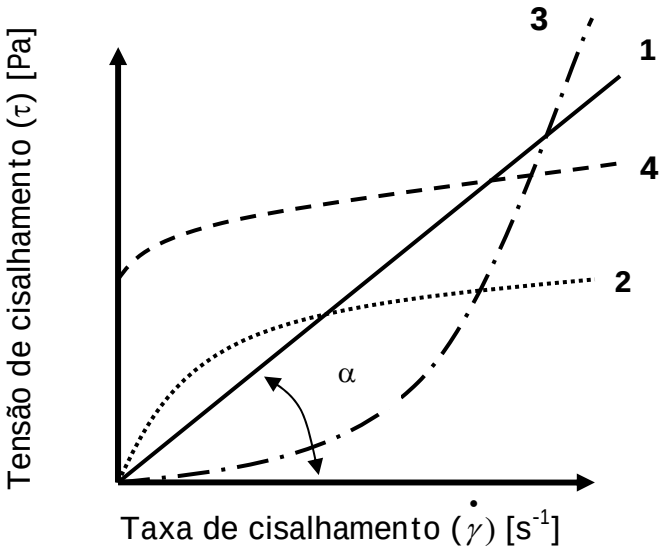


Figura 28 – Curvas de fluxo para diferentes tipos de fluidos. (1) Fluido newtoniano (2) Fluido Pseudoplástico (Power Law), (3) Fluido Dilatante, (4) Fluido pseudoplástico com limite de escoamento (comportamento de líquido plástico) (MOTHÉ, CORREIA, PETRI, GONÇALVES, CARESTIATO, 2006)

7.2.2 - Fluidos não newtonianos

Todos os fluidos que não exibem um comportamento de fluxo ideal, ou, em outras palavras, que não se adequam à equação de Newton, são chamados de fluidos não Newtonianos.

Os fluidos não newtonianos possuem a viscosidade diminuída (pseudoplástico) ou aumentada (dilatante) com o aumento da taxa de cisalhamento e, suas curvas de fluxo, não descrevem retas perfeitas, como pode ser visto nas Figuras 28 e 29 (SCHRAMM, 2000).

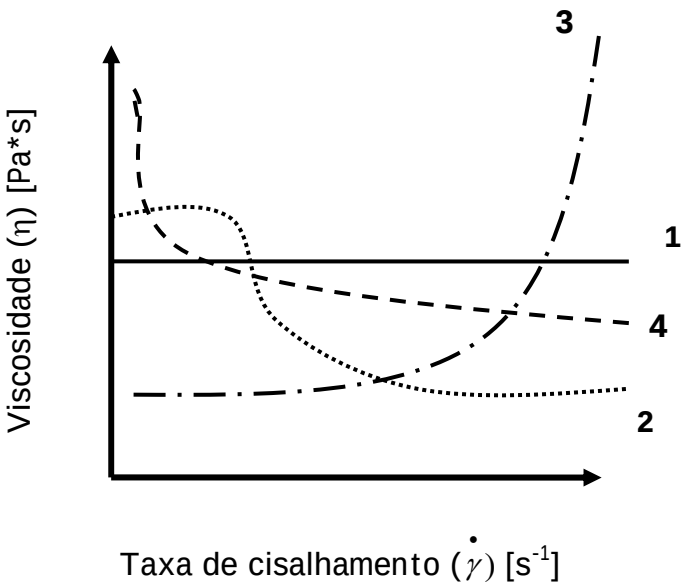


Figura 29 – Curvas de viscosidade para diferentes tipos de fluidos. (1) Fluido newtoniano, (2) Fluido Pseudoplástico (Power Law), (3) Fluido Dilatante, (4) Fluido pseudoplástico com limite de escoamento (comportamento de líquido plástico) (MOTHÉ *et al*., 2006)

7.2.3 - Modelos matemáticos usados em reologia

Para que possa haver comparação quantitativa entre materiais, usando a reologia, é necessário que se faça o ajuste dos dados experimentais a um modelo. Os modelos reológicos são usados porque representam o comportamento mecânico de materiais de maneira facilmente compreensível e facilitam a descrição matemática de seu comportamento (RODRIGUEZ, 1984).

O modelo mais simples é o postulado por Newton (Equação 2), onde a relação entre a tensão (τ) e a taxa de cisalhamento ($\dot{\gamma}$) ou deformação (D) é linear, e a viscosidade (η) é constante.

$$\tau = \eta \times \dot{\gamma} \qquad (2)$$

Para os fluidos que não obedecem ao postulado de Newton (fluidos não newtonianos) são utilizados modelos não lineares para descrever a mudança da viscosidade com a tensão de

cisalhamento. O mais simples deles é o modelo Power Law, adaptado para aplicações em fluidos submetidos a cisalhamento simples, escrito conforme a Equação 3, onde k é o índice de consistência do fluido e n é índice da lei das potências.

$$\eta = k \times \left(\dot{\gamma} \right)^{n-1} \tag{3}$$

Neste modelo se enquadram os fluidos pseudoplásticos e dilatantes. Para fluidos pseudoplásticos n<1 e para fluidos dilatantes n>1. Existem fluidos que necessitam de uma tensão mínima para começar a escoar, neste caso se aplicam os modelos de Bingham, Casson e Herschel-Bulkley, descritos, respectivamente, nas Equações 4, 5 e 6.

$$\tau = \tau_Y + \eta_P \times \dot{\gamma} \tag{4}$$

$$\tau^{\frac{1}{2}} = \tau_0^{\frac{1}{2}} + \eta_\infty^{\frac{1}{2}} \times \dot{\gamma} \tag{5}$$

$$\tau = \tau_Y + k \times \dot{\gamma} \tag{6}$$

O modelo de Bingham prevê o escoamento newtoniano acima de uma tensão crítica (τ_Y). O modelo Casson fornece a tensão crítica (τ_0) e a tensão de cisalhamento no infinito, quando η_∞. O modelo Herschel-Bulkley é uma extensão do modelo Power Law acrescido de uma tensão crítica de cisalhamento (τ_Y) (MOTHÉ, CORREIA, PETRI, GONÇALVES, CARESTIATO, 2006).

7.3 – ESPECTROSCOPIA DE ABSORÇÃO NA REGIÃO DO INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)

A espectrofotometria é o processo instrumental de medição baseado nas propriedades de absorção e emissão de energia eletromagnética dos materiais em alguma região do espectro eletromagnético. A porção do espectro percebida pelo olho humano (região visível) está compreendida entre comprimentos de onda de 380 nm e 780 nm e, acima desse limite, até cerca de 50.000 nm (faixa entre as regiões do visível e das microondas), a radiação é chamada infravermelha (IV), sendo a região do infravermelho médio entre 2,5 μm e 15,0 μm (2.500 nm a 15.000 nm) a de maior interesse para a análise de compostos orgânicos.

O objetivo da espectroscopia de absorção no infravermelho é a determinação dos grupos funcionais de um dado material. Cada grupo absorve em freqüência característica de radiação na região do IV. Assim, um gráfico de intensidade de radiação versus freqüência, o espectro de IV, permite caracterizar os grupos funcionais de um padrão ou de um material desconhecido (CIENFUEGOS, 2006).

Mesmo moléculas das mais simples podem produzir espectros extremamente complexos. Embora o espectro no infravermelho seja característico da molécula como um todo, certos grupos de átomos originam bandas mais ou menos na mesma freqüência, independentemente da estrutura da molécula. É justamente a presença dessas bandas características de grupos funcionais que permite a obtenção de informações úteis para a identificação de estruturas, através de simples exame do espectro e consulta a tabelas. Os espectros de IV, em conjunto com outros dados espectrais, são úteis para a determinação das estruturas de moléculas (CIENFUEGOS, 2006).

7.4 - ESTEROLOGIA

O objetivo do estudo estereológico é interpretar uma estrutura tridimensional com base na análise de cortes estruturais que exibem apenas informações bidimensionais. A fim de atingir esse objetivo, são utilizadas considerações geométricas, de probabilidade e de estatística.

A estereologia utiliza sistemas-teste compostos por pontos-teste e linhas-teste sobre uma área-teste com dimensões conhecidas. A estereologia estima densidades por volume: densidade de volume (V_V), densidade de comprimento (L_V), densidade de superfície (S_V) e densidade numérica (N_V). Densidades por área podem também ser estimadas: densidade de área (A_A) e densidade numérica por área (N_A ou Q_A). A acurácia dos cálculos é baseada em princípios estatísticos (tamanho da amostra, aleatoriedade e isotropia).

O estudo estereológico possui vantagens científicas sobre os estudos qualitativos: os resultados são numéricos e não subjetivos, então podem ser facilmente reproduzidos; permite a comparação entre grupos diferentes (idade, espécie, manipulações, etc.); a rapidez do método com um restrito número de amostras; a teoria é bem estabelecida; e a facilidade do método que permite que pesquisadores sejam treinados em curto espaço de tempo (MANDARIM-DE-LACERDA, 1995 e 2003).

7.4.1 - Determinação do volume do órgão – Ensaio de Scherle

A determinação do volume do órgão inteiro ou de partes é baseada no princípio de Archimedes no qual um determinado volume de líquido é deslocado devido ao volume do órgão e é relacionado à massa submersa deste órgão. Este princípio foi adaptado por Scherle para estimar volumes de pequenos órgãos. O órgão, suspenso por um fio fino, é imerso em um

recipiente contendo uma solução de soro fisiológico colocada sobre uma balança. Nenhuma parte do órgão deve tocar as paredes do recipiente durante a determinação (SCHERLE, 1972; MANDARIM-DE-LACERDA, 2003).

O volume do órgão é obtido através da Equação 4, onde V= volume do órgão, m= massa submersa do órgão, ρ= densidade específica da água salina isotônica = 1,0048.

$$V = \frac{m}{\rho} \tag{4}$$

Segundo Scherle (1972), como ρ≅1,0, a Equação 4 pode ser simplificada como V=m, sem comprometer o resultado final.

7.4.2 – Cortes aleatórios, uniformes e isotrópicos (AUI)

Os órgãos podem apresentar uma estrutura homogênea (isotrópica e não orientada), se não é possível decidir a orientação de uma secção apenas observando um corte histológico, ou uma estrutura heterogênea (anisotrópica e orientada). Para o estudo estereológico, baseado em premissas de probabilidade, é fundamental utilizar cortes AUI (aleatórios, uniformes e isotrópicos).

Em órgãos com estrutura homogênea, como o fígado, por exemplo, cortes AUI são obtidos por cortes simples do tecido, sem qualquer outra preocupação. Porém, em órgãos heterogêneos (como é o caso do coração) é preciso seguir-se uma metodologia de corte para que sejam obtidas secções AUI. Para destruir a estrutura interna de orientação dos órgãos pode-se utilizar o método *orientator*, mostrado por MANDARIM-DE-LACERDA (2003) (Figura 30).

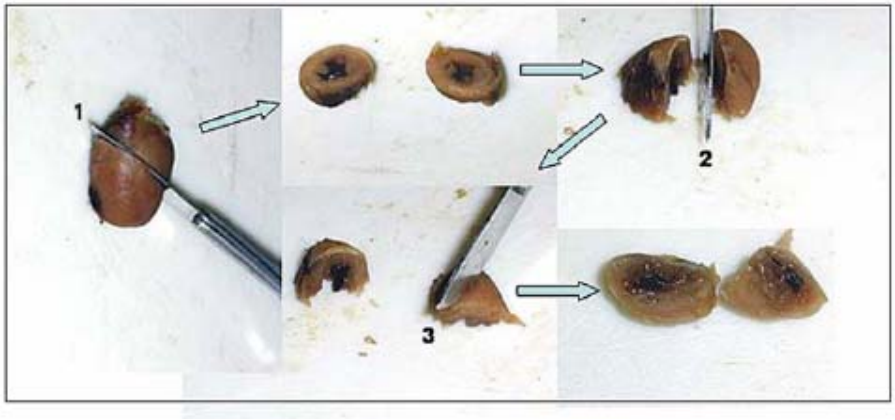


Figura 30 – Método *orientator* na preparação de um coração de rato. (1) O coração é clivado de forma aleatória em duas partes. (2) Depois as faces do corte são voltadas para a superfície e novamente clivadas aleatoriamente. (3) E clivadas novamente. A última face obtida não possui mais informações sobre o arranjo inicial da estrutura e pode ser considerada aleatória, isotrópica e uniforme (MANDARIM-DE-LACERDA, 2003)

7.4.3 - Sistemas-teste e aquisição de dados

O estudo estereológico é baseado no estudo de Buffon, realizado em 1777, estima-se a probabilidade de que uma linha aleatória intercepte um conjunto de linhas paralelas previamente desenhadas (linhas-teste). Sendo assim, este estudo necessita de linhas-teste, pontos-teste e uma área-teste conhecida para gerar informações sobre os cortes estudados.

Toda essa informação junta (pontos, linhas e áreas) compõe o chamado sistema-teste. Normalmente, um sistema-teste tem o comprimento de linha (L_T), o número total de pontos (P_T) e a área-teste (A_T) conhecidos. Desta forma pode-se estimar a densidade de volume (V_V:=P_P/P_T), densidade de comprimento (L_V:=2*Q_A) e a densidade de superfície (S_V:=2*I/L_T).

O sistema-teste é superposto sobre uma imagem, geralmente sobre a tela de um sistema de vídeo-microscopia. Conta-se o número de linhas ou pontos que tocam as estruturas, ou o número de objetos dentro da grade (área-teste), de forma a obter informações suficientes (estatisticamente válidas) para utilizar as fórmulas estereológicas. A Figura 31 mostra um sistema-teste composto por uma área-teste e por 36 pontos.

Além disso, o sistema-teste conta com duas bordas destacadas. Estas linhas são denominadas linhas proibidas e toda estrutura que toque estas linhas são desconsideradas na contagem, de forma a evitar superestimativa dos dados (MANDARIM-DE-LACERDA, 2003).

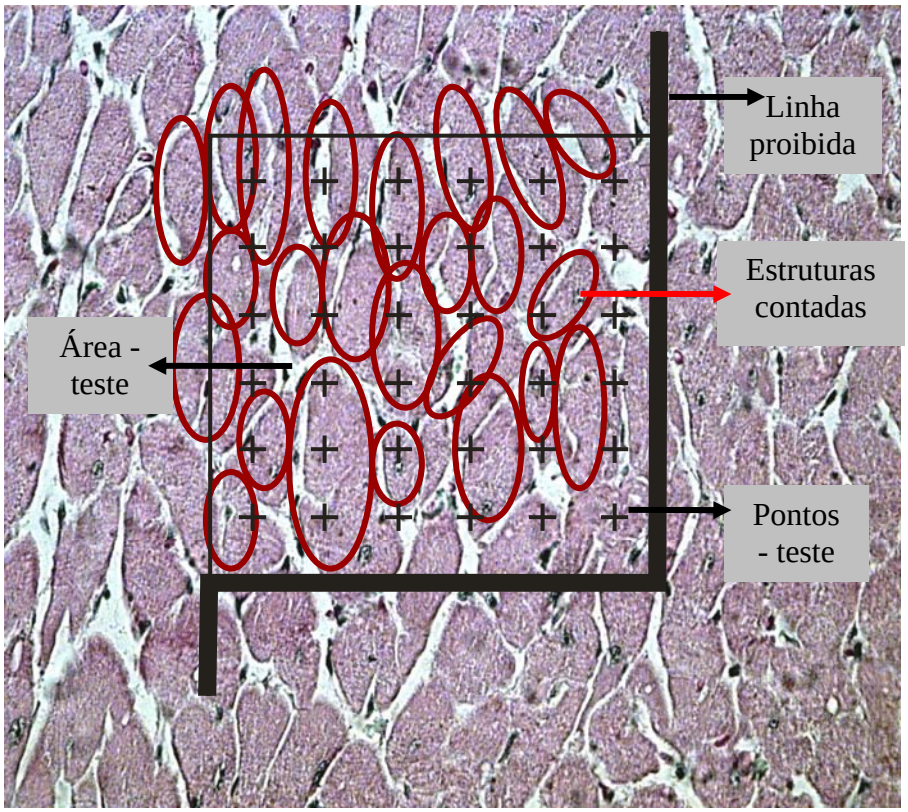


Figura 31 – Sistema-teste com 36 pontos sobre a imagem de uma lâmina do ventrículo esquerdo. Em destaque vermelho as estruturas que serão contadas por estarem contidas na área-teste e não tocarem a linha proibida. As estruturas que tocam nos pontos também são contadas

7.4.4 - Estimativa do número de estruturas – Método Disector

O ideal para a estereologia seria utilizar áreas finas o suficiente para que nenhum elemento fosse superestimado dentro da área ocupada. Na prática, seções de 3μm são utilizadas nos processamentos estereológicos sem comprometimento da análise.

A Figura 32 mostra o princípio básico do método *disector* no qual N_V (estimativa da densidade de volume) é obtida em duas secções paralelas separadas entre si por uma distância conhecida (espessura do corte maior do que 3μm). A fim de evitar uma superestimativa na

contagem, um dos planos é definido como plano proibido (o plano superior ou o inferior). As contagens são realizadas dentro de uma área teste com linhas proibidas, conforme descrito anteriormente. A densidade numérica dos objetos (N_V) pode ser estimada segundo a Equação 5.

$$N_V\,[objeto] = \frac{Q^-}{A_T \times t} \tag{5}$$

onde: Q = média do número de estruturas contadas no disector (em apenas um dos planos); A_T = área teste; t = espessura.

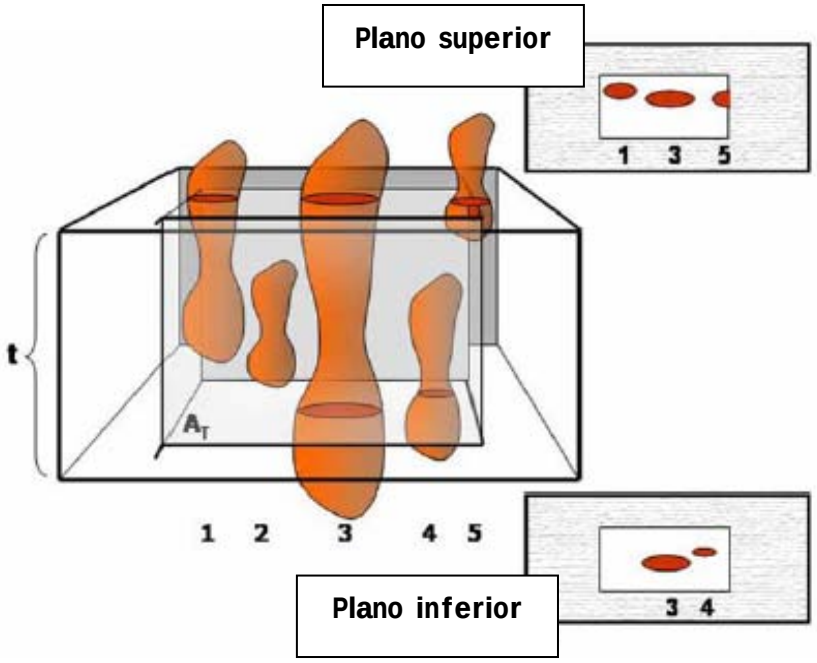


Figura 32 – Representação esquemática do método disector. No volume do disector são considerados a linha proibida e o plano proibido. Todas as partículas que toquem a linha proibida ou o plano proibido são desconsideradas. No exemplo, o plano inferior (look-down) foi considerado o plano proibido. No plano superior as partículas 1, 3 e 5 são observadas e no plano inferior as partículas 3 e 4. No plano superior a partícula 5 toca a linha proibida. Assim, somente a partícula 1 do plano superior será contada (MANDARIM-DE-LACERDA, 2003)

Capítulo 8 – MATERIAIS E MÉTODOS

8.1 - GOMA DE CAJUEIRO

8.1.1 – Origem e purificação

O exsudato de cajueiro foi obtido através da exsudação natural de árvores *Anacardium occidentale L.* do CNPAT – EMBRAPA / Ceará/ Brasil.

O processo de purificação do exsudato de cajueiro baseou-se no processo descrito por Mothé e Rao (1999). O exsudato livre de casca de árvore e impurezas maiores (Figura 33 a) foi triturado em gral, à temperatura ambiente, até obter-se um pó homogêneo. Este pó foi então solubilizado em água destilada, filtrado, centrifugado e precipitado com etanol comercial. O precipitado foi separado do líquido sobrenadante e seco em estufa (50°C). O precipitado seco foi então triturado em gral a fim de se obter um pó bastante fino: a goma de cajueiro (Figura 33 b).

Após a purificação do exsudato de cajueiro, que apresenta coloração amarelada e granulometria grosseira, obteve-se a goma de cajueiro, com cor branca e granulação fina, conforme mostrado na Figura 33.

(a) **(b)**

Figura 33 – **(a)** Exsudato de cajueiro e **(b)** goma de cajueiro purificada

8.1.2 - Fracionamento

A goma foi fracionada através do método de precipitação com solventes, segundo descrito por Calazans (1997). Com este propósito, preparou-se uma solução-mãe de goma de cajueiro em água destilada na concentração de 200 g/l. Para garantir total solubilização da goma de cajueiro, essa solução foi homogeneizada por 2 horas com agitador magnético, em temperatura ambiente. Diferentes volumes (30, 40, 45, 50, 60 e 70 ml) da solução-mãe foram distribuídos avolumadas a 100 ml pela adição de etanol comercial. As soluções de 30, 40, 45, 50, 60 e 70% (v/v) foram deixadas em ambiente refrigerado (aproximadamente 5°C) durante sete dias. Os precipitados foram separados e secos em estufa (50°C) durante 3 dias. A “fração da goma” obtida da solução 30% (v/v) foi então denominada “fração 30% da goma” e assim sucessivamente para todas as outras “frações”.

8.2 - ANIMAIS

Os vinte ratos machos espontaneamente hipertensos (Spontaneous Hypertension Rats - SHR) utilizados neste trabalho foram obtidos, com 2,5 meses de vida, a partir do Biotério Central da Escola Paulista de Medicina (CEDEME), São Paulo, Brasil. Os ratos foram mantidos no Laboratório de Morfometria e Morfologia Cardiovascular da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. O comitê de pesquisa com animais aprovou os protocolos do experimento, que está de acordo com as regras do "*Guide for the Care Use of Laboratory Animals*" publicado pelo Instituto de Saúde Americano (NIH Publication No. 85-23, revisado em 1996).

Os ratos foram mantidos em gaiolas de polipropileno, em ambiente com temperatura ($21\pm1^{o}C$) e umidade ($60\pm10\%$) controladas; submetidos a ciclos claro-escuro de 12 horas (luzes artificiais, de 7 da manhã até 7 da noite) e a ciclos de exaustão de ar (15 min/h). Os animais tiveram acesso *ad libidum* à ração balanceada padrão (Nuvilab^{R}) e à água.

A partir do terceiro mês de vida, os animais foram separados em dois grupos de dez animais cada. Todos os animais foram gavados diariamente: 1) o grupo Goma com 1ml de solução de goma de cajueiro (500 mg/kg animal); e 2) o grupo Controle com 1ml de água potável. O comprimento rostro-anal e a massa dos animais foram medidos semanalmente, assim como a pressão arterial sistólica (PA) que foi aferida tendo os animais conscientes pelo método não invasivo de pletismografia (Figuras 34 e 35).

No fim do experimento, cinco animais de cada grupo foram sacrificados com 7 meses de idade e os restantes com 9 meses de idade, conforme mostrado na Figura 36. Os animais foram anestesiados com injeção intraperitonial de tiopental (sodium pentobarbital) e seus sistemas vasculares foram perfundidos com pressão constante (90 mmHg) através do ventrículo esquerdo, com solução fisiológica, e em seguida com solução de fixação

(formalina: formaldeído 4% m/v em uma solução tampão de fosfato 0.1M - pH 7.2) até que a rigidez do corpo do animal fosse obtida (Figura 37).

(a) **(b)**

Figura 34 – (a) Gavagem e **(b)** comprimento rostro-anal dos animais

(a) **(b)**

Figura 35 – (a) Pesagem e **(b)** aferição da pressão arterial sistólica dos animais

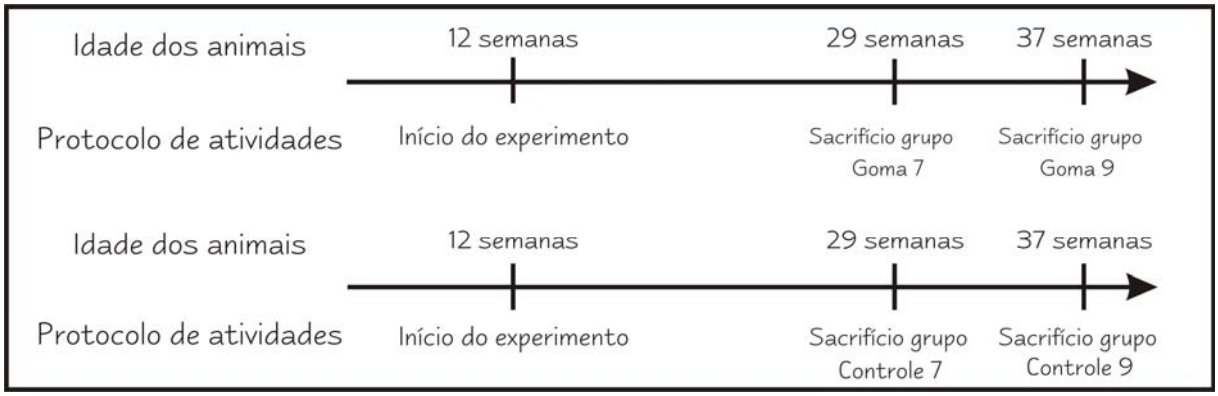


Figura 36 – Protocolo de atividades e nomenclatura dos grupos de ratos machos espontaneamente hipertensos (SHR)

Figura 37 – Perfusão do sistema vascular do animal, através do ventrículo esquerdo

8.3 – ANÁLISE TÉRMICA

O comportamento térmico – Termogravimetria (TG), Termogravimetria Derivada (DTG) e Análise Térmica Diferencial (DTA) – das amostras de goma, das "frações" da goma e dos corações dos ratos, massas de 10 a 11 mg, foi observado em um equipamento *TA Instruments*, modelo SDT 2960, sob uma razão de aquecimento de 10°C/min, em atmosfera de nitrogênio. As amostras de goma e das frações foram aquecidas da temperatura ambiente até 700°C e as amostras dos corações foram aquecidas até 800°C. Para cada rato as amostras do coração foram analisadas em duplicata, totalizando quarenta análises das quais foi obtida uma média com desvio padrão para cada grupo.

As análises de Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) foram realizadas em dois equipamentos: 1) *TA Instruments*, modelo 2010, com faixa de temperatura de 30 a 400°C. 2) Mettler Toledo, modelo 822 E, com faixa de temperatura de -40 a 250°C. As análises em ambos os equipamentos foram realizadas sob razão de aquecimento de 10°C/min em atmosfera de nitrogênio. Os cálculos cinéticos, do principal evento da curva de DSC, foram realizados pelo método de Borchardt & Daniels (1956), onde a ordem de reação foi determinada pelo modelo de Kissinger (1957).

8.4 - ANÁLISE REOLÓGICA

O ensaio reológico das soluções aquosas (20% p/v) da goma e de suas frações foi realizado em viscosímetro *Brookfield*, modelo LV-DVIII, com sensor cone-placa com *spindle* CP52, com taxa de cisalhamento de 100 a 500 s^{-1} e temperatura controlada à 25°C em banho termostatizado *Brookfield* TC501.

8.5 – ESPECTROSCOPIA DE ABSORÇÃO NA REGIÃO DO INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)

Os espectros de absorção na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) do exsudato e da goma de cajueiro foram obtidos em um *Spectrum one FTIR Spectrometer* (Perkin Elmer Co., Norwalk, CT, USA) de 4000 to 650 cm^{-1} com acessório de refletância total (ATR). Os espectros foram analisados pelo *software* padrão do equipamento.

8.6 - ANÁLISE ESTEREOLÓGICA

8.6.1 - Ensaio de Scherle e medição da tíbia

Imediatamente após o sacrifício dos ratos, o coração e a tíbia foram retirados, e parte do sangue foi armazenado. O volume do coração de cada rato foi determinado de acordo com o método de Scherle. O coração foi dissecado e foram separados os átrios dos ventrículos, de modo a determinar também o volume dos ventrículos. A tíbia foi dissecada e seu comprimento foi medido com uso de paquímetro (Figura 38).

8.6.2 – Estereologia

Fragmentos aleatórios e isotrópicos do ventrículo esquerdo dos SHR foram obtidos através de cortes segundo o método *orientator*. Os fragmentos foram colocados em solução de formalina 4%, em temperatura ambiente. Posteriormente, eles foram emblocados em parafina e de cada bloco de parafina foram feitas lâminas de 5 μm de espessura. As lâminas foram

coradas através das técnicas *Tricrômico de Masson*, *Picro-Sirius red* e *Hematoxilina e eosina* que colorem os núcleos das células e tecido conjuntivo.

(a)

(b)

Figura 38 – (a) Ensaio de Scherle do coração e **(b)** Medição do comprimento da tíbia

As análises utilizaram um sistema vídeo-microscópio, composto de um microscópio Leica DMRBE (Welzbar, Alemanha), uma câmera de vídeo Kappa (Glichen, Alemanha) e um monitor Sony Trinitron (Pencoed, Reino Unido). Para cada rato, quinze campos aleatórios foram analisados utilizando-se uma grade com 36 pontos e uma área teste de 4225,0 μm^2.

Para cada campo foi contado: 1) o número de pontos que tocavam nos cardiomiócitos; 2) o número de pontos que tocavam nos vasos; 3) o número de núcleos de cardiomiócito dentro da área teste (que não tocassem na linha proibida); 4) o número de vasos dentro da área teste (que não tocassem na linha proibida). Foram calculados: Q_A[cardiomiócitos], Q_A[vasos], Vv[cardiomiócitos], Vv[vasos], Vv[tecido conjuntivo], L[vasos], A[cardiomiócitos] e N[vasos].

A densidade numérica de cardiomiócitos (Nv) do ventrículo esquerdo foi estimada de acordo com o método *disector*. O *disector* óptico foi construído com duas seções paralelas distantes entre si de 3 μm (esta distância foi controlada automaticamente por uma placa motorizada do microscópio Leica). Os planos *look-up* e *look-down* foram determinados por uma área teste de 2500 μm^2 e todos os cardiomiócitos vistos apenas no plano *look-up*, e que não tocaram a linha proibida, foram contados. O número de cardiomiócitos contados foi dividido pelo volume do *disector* (área teste x espessura do corte) e obteve-se o Nv para cada animal. O número total de cardiomiócitos (N) no ventrículo esquerdo foi estimado multiplicado o Nv pelo volume do ventrículo esquerdo (obtido pelo método de Scherle).

As diferenças entre os grupos foram testadas utilizando-se modelo estatístico de análise entre os grupos one-way ANOVA, seguido por teste de comparação múltipla de Newman-Kewls. As diferenças entre as médias dos grupos foram obtidas pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis (GraphPad Prism versão 4.01, San Diego, EUA). Foram consideradas significativas apenas os valores com $P < 0,05$.

Capítulo 9 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

9.1 – CARACTERIZAÇÃO DA GOMA DE CAJUEIRO

9.1.1 – Análise térmica

O principal estágio de decomposição da goma de cajueiro, relacionado à perda de polissacarídeos, ocorreu em 280°C (T_{onset}), com 65% de perda de massa, conforme apresenta a Figura 39. A curva de termogravimetria (TG) mostrou ainda que até 100°C há outro estágio com 15% perda de massa e em 700°C a goma de cajueiro apresentou, aproximadamente, 15% de resíduos. A curva de termogravimetria derivada (DTG) mostrou três estágios de decomposição e a velocidade máxima de decomposição ocorreu em 310°C. A análise térmica diferencial (DTA) mostrou dois eventos endotérmicos em 70°C e em 310°C, o que confirma a decomposição de solventes e carboidratos.

Ao serem comparadas as curvas de TG da goma de cajueiro com as curvas das "frações" da goma (Figura 40) pode ser observado que para todos os casos a principal decomposição ocorreu em 280°C. Até 280°C a "fração" 60% mostrou maior estabilidade térmica do que as demais "frações" e em 700°C a fração 40% apresentou cerca de 1% a mais de resíduos do que as demais.

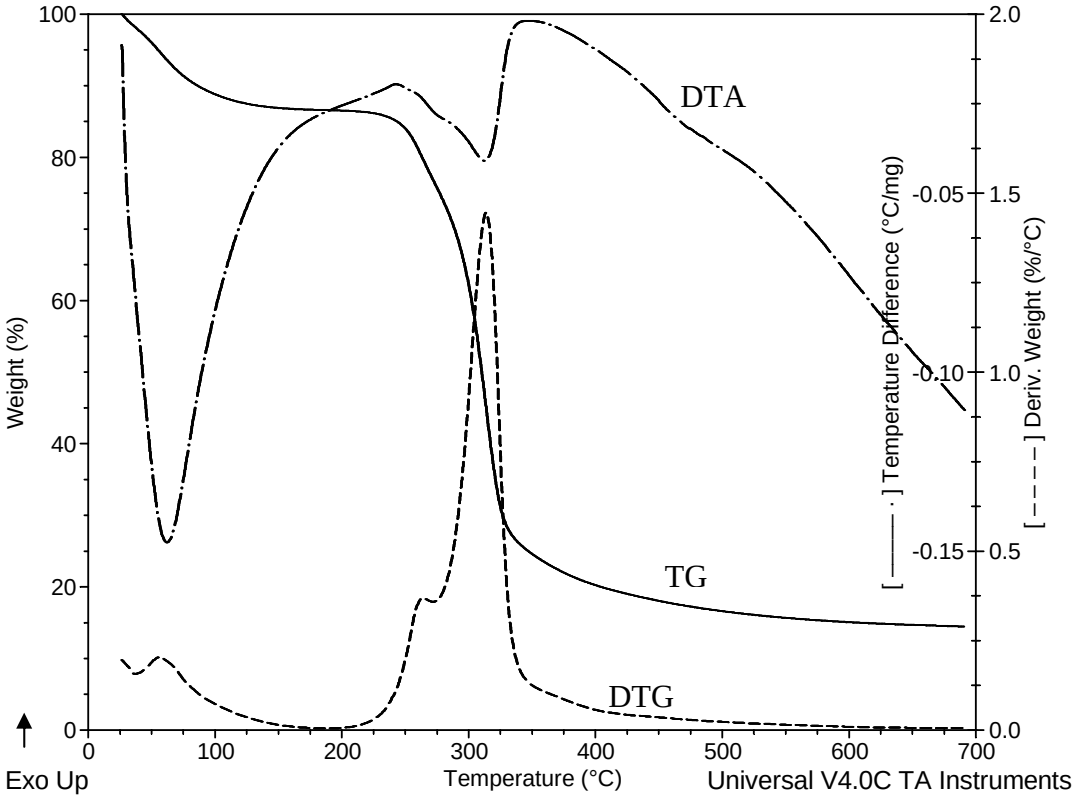


Figura 39 – Curvas de TG, DTG e DTA da goma de cajueiro purificada

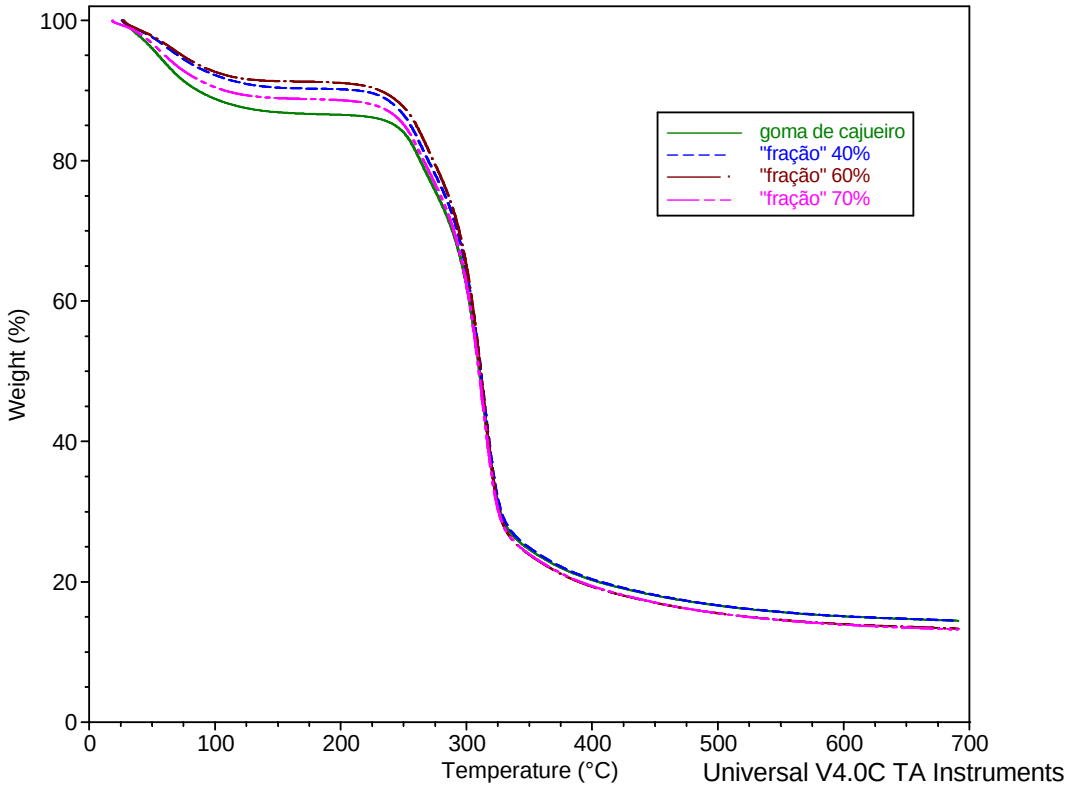


Figura 40 – Sobreposição das curvas de TG da goma de cajueiro e das “frações” da goma

A Figura 41 mostra a sobreposição das curvas de DTA da goma de cajueiro e das "frações" da goma. Pode-se observar que todas as mostras apresentaram dois eventos endotérmicos próximos de 70 e 310°C. A "fração" 70% apresentou, além dos dois picos citados, um pico endotérmico em 241°C.

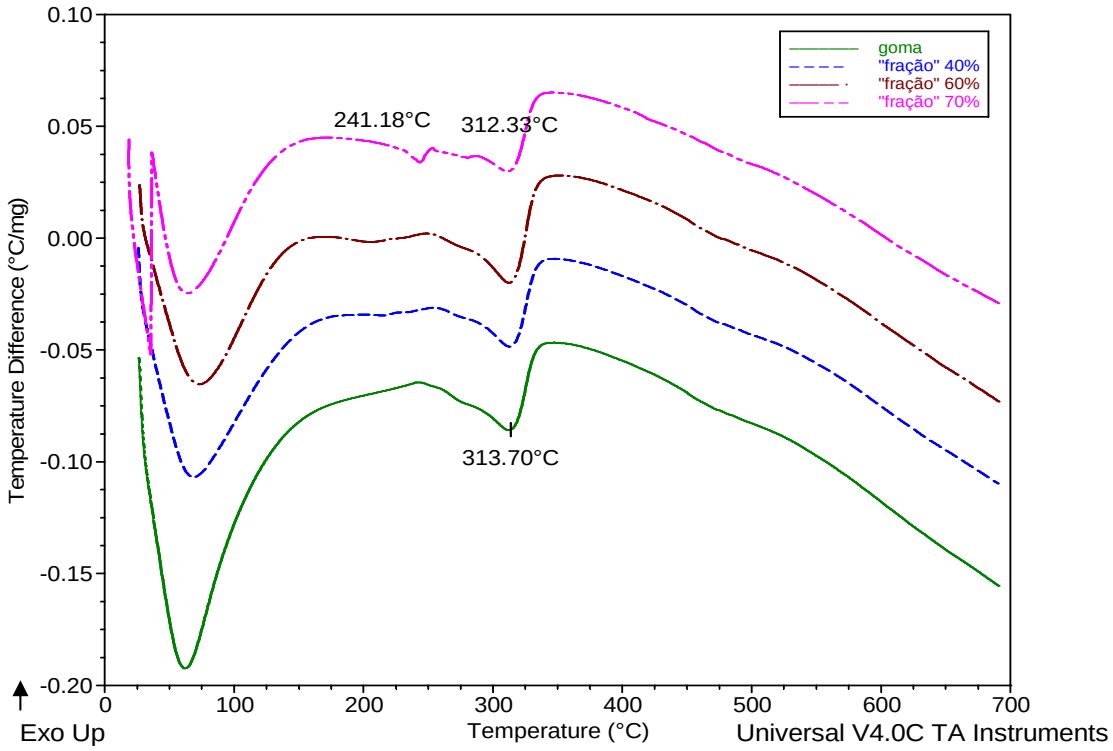


Figura 41 – Sobreposição das curvas de DTA da goma de cajueiro e das "frações" da goma

As curvas de DSC da goma de cajueiro e das "frações" da goma podem ser vistas na Figura 42. Todas as amostras apresentaram apenas um evento endotérmico próximo de 100°C, que é referente aos eventos de gelificação dos polissacarídeos (T_m) (MOTHÉ; AZEVEDO, 2002). As curvas deslocam-se para a direita (maiores temperaturas) à medida que a "fração" apresenta maior concentração de polissacarídeos de maior massa molar.

Assim, enquanto a temperatura do pico para a goma de cajueiro é de 92°C, para a "fração" 70% esta temperatura é de 110°C. O valor da transição de entalpia do evento endotérmico varia de 243 J/g na goma de cajueiro para 201 J/g na "fração" 70%.

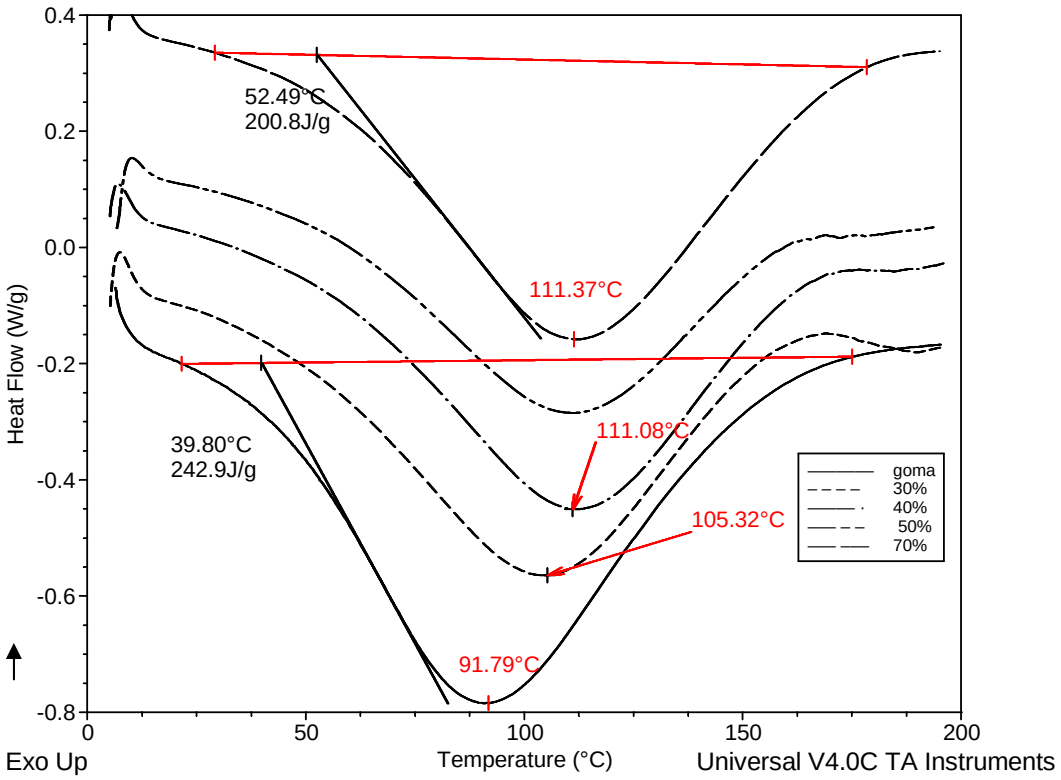


Figura 42 – Sobreposição das curvas de DSC da goma de cajueiro e das "frações" da goma

9.1.2 - Análise reológica

A Figura 43 mostra as curvas da viscosidade em função da taxa de cisalhamento para as soluções de goma de cajueiro e das frações 70, 60, 50, 40 e 30%. As soluções das frações 60% e sobretudo das 70% apresentaram maior viscosidade do que a solução da goma de cajueiro, enquanto que as soluções das frações 50, 40 e 30% possuem viscosidade bastante semelhante à da goma. Tanto a goma quanto suas frações parecem ter comportamento pseudoplástico, pois a viscosidade diminui com o aumento da taxa de cisalhamento; esse comportamento foi mais explícito para a fração 70%. Observou-se que as soluções das frações 50, 40 e 30% apresentaram viscosidade de 10 mPa/s, a fração 60% apresentou viscosidade de 15 mPa/s e a fração 70% viscosidade de 30 a 22 mPa/s. Este comportamento é desejado nos produtos normalmente usados como espessantes, estabilizantes e adesivos.

As curvas de fluxo para a goma de cajueiro e as suas frações são apresentadas na Figura 44, onde pode ser observado que a tensão aumenta com a taxa de cisalhamento e o prolongamento das curvas não passa pela origem, confirmando o comportamento não newtoniano e pseudoplástico desta goma. O comportamento da curva da solução da fração 70% sugere um comportamento de líquido pseudoplástico com limite de escoamento semelhante a um líquido plástico.

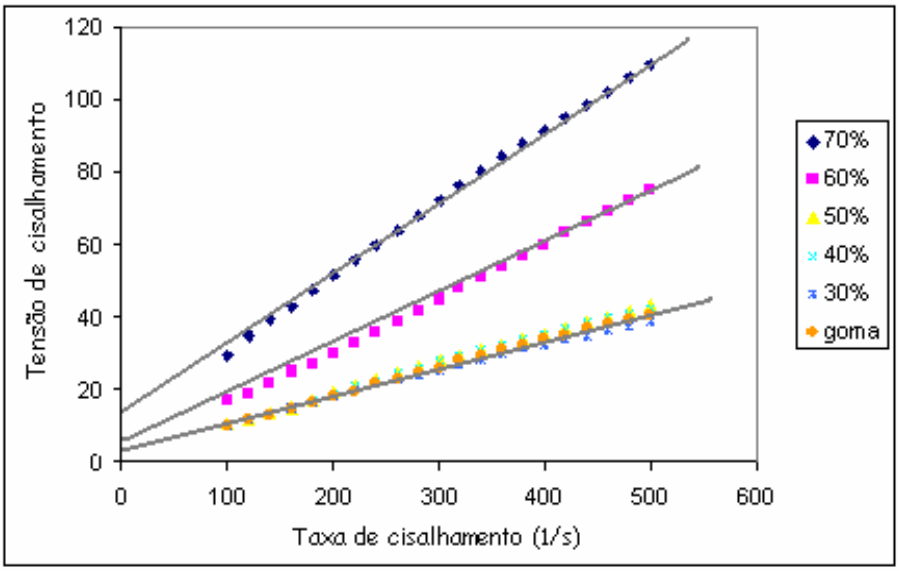


Figura 43 - Curvas de viscosidade de soluções de goma de cajueiro e das frações 70, 60, 50,40 e 30% em 25°C

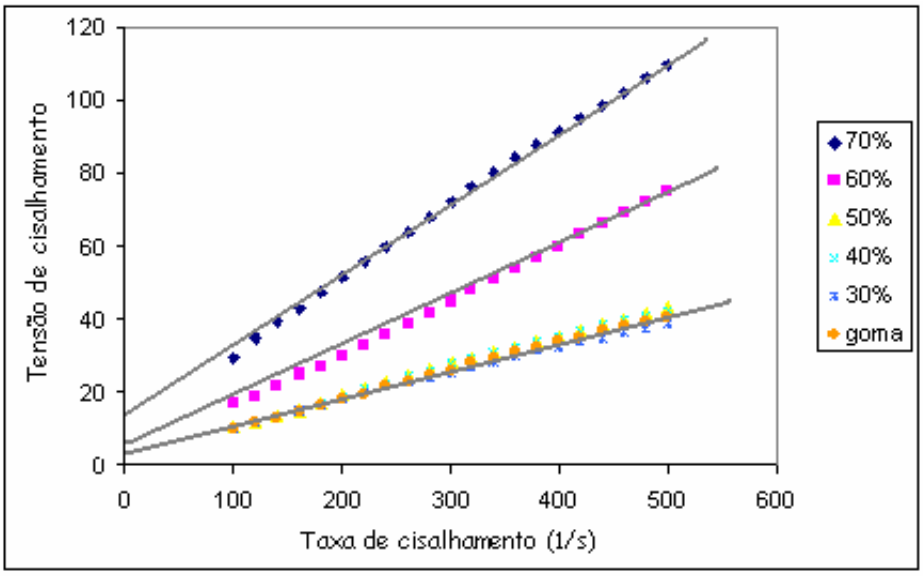


Figura 44 – Curvas de fluxo para as soluções de goma de cajueiro e das frações 70, 60, 50,40 e 30% em 25°C

9.1.3 – Espectroscopia de absorção na região do infravermelho (FTIR)

Os espectros de infravermelho do exsudato e da goma de cajueiro são mostrados na Figura 45. Ambos os espectros apresentaram uma banda larga entre 3100 e 3500 cm^{-1}, correspondente à deformação axial de grupos hidroxila, encontrados em polissacarídeos. A banda em torno de 2920 cm^{-1} se refere à deformação axial da ligação C-H, também encontrada na região entre 3000 e 2840 cm^{-1}. As ligações C-OH (hidroxilas) dos polissacarídeos podem ser observadas na região entre 900 a 1100 cm^{-1} e são mais intensas no exsudato do que na goma de cajueiro. Em 1706 cm^{-1} pode ser observado para o exsudato um pico referente a ligações de carbonila (-C=O) de ácidos carboxílicos, este pico não foi verificado para a goma de cajueiro e estaria, provavelmente, relacionado aos compostos oleosos extraídos durante a etapa de purificação.

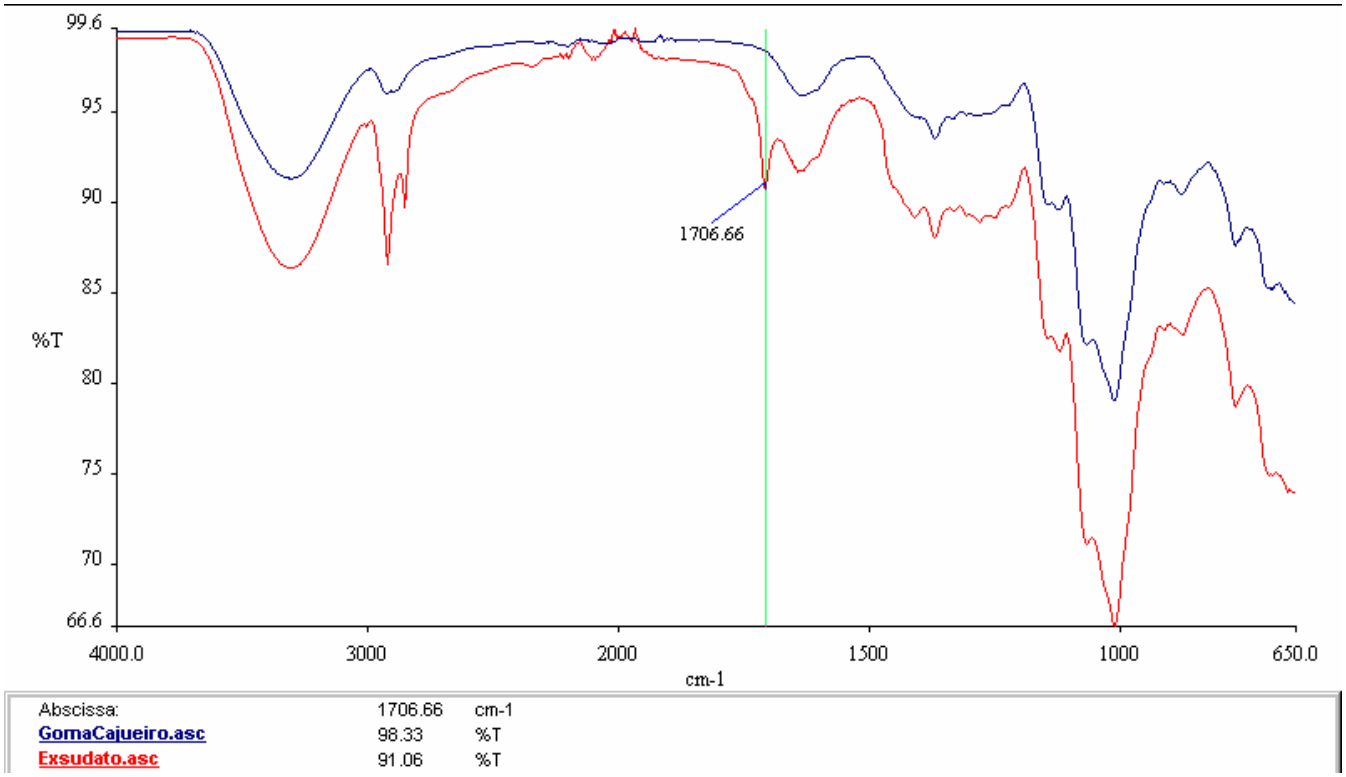


Figura 45 - Espectros de infravermelho (FTIR) do exsudato e goma de cajueiro purificada

9.2 – BIOMETRIA DOS ANIMAIS

9.2.1 - Massa corpórea e comprimento rostro-anal

A relação entre a massa corpórea e o comprimento rostro-anal dos ratos do grupo Goma e do grupo Controle, durante as semanas de experimento, é apresentada na Figura 46. Pode-se observar que não houve diferença significativa entre os perfis das curvas dos grupos e não houve aumento significativo da massa corpórea dos animais ao longo do tempo. Isto significa que a goma de cajueiro na concentração utilizada (500mg/kg) não provocou distúrbios gastrintestinais (diarréia), nem o emagrecimento dos animais.

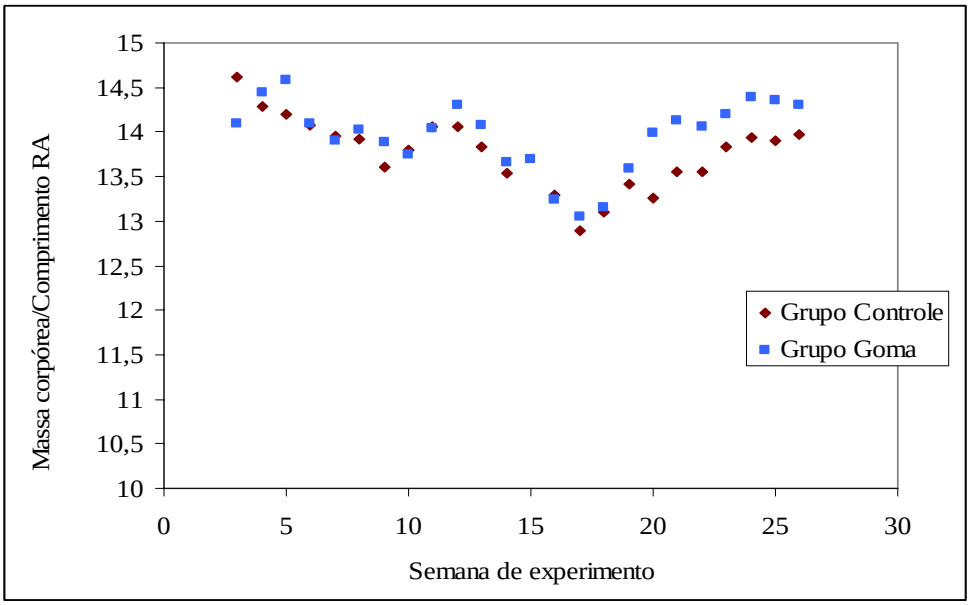


Figura 46 – Relação entre massa corpórea e comprimento rostro-anal dos ratos do grupo Controle e do grupo Goma durante as semanas de experimento

A partir da décima oitava semana os ratos do grupo Goma apresentaram massa ligeiramente maior do que os ratos do grupo Controle. Ao término do experimento os ratos do grupo Goma, com nove meses de vida, apresentaram massa corpórea de 349,2±19,7g e

comprimento rostro-anal de 24,2±0,5cm; e os ratos do grupo Controle 342,3±15,0g e 24,7±0,5cm, respectivamente.

9.2.2 - Pressão arterial sistólica (PA)

Durante as semanas de experimento, a pressão arterial (PA) sistólica dos ratos do grupo Controle manteve-se estável numa faixa de 195 a 205 mmHg, enquanto que a PA dos ratos do grupo Goma mostrou uma redução de 20% (de 200 mmHg no início do experimento para 156 mmHg após 25 semanas de experimento) (Figura 47). A diminuição na PA dos ratos do grupo Goma em relação à pressão inicial só foi observada a partir da décima quarta semana de experimento, quando a PA começou a diminuir gradativamente até atingir 186 mmHg na décima sétima semana (primeiro sacrifício), o que representou uma redução de 5,6%, e 162 mmHg na vigésima segunda semana. Apesar da diminuição da PA não ter sido suficiente para que os ratos do grupo Goma atingissem níveis sistólicos normais (130 mmHg para ratos), esta diminuição sugere que a goma de cajueiro atua como um polissacarídeo dietético funcional hipotensor.

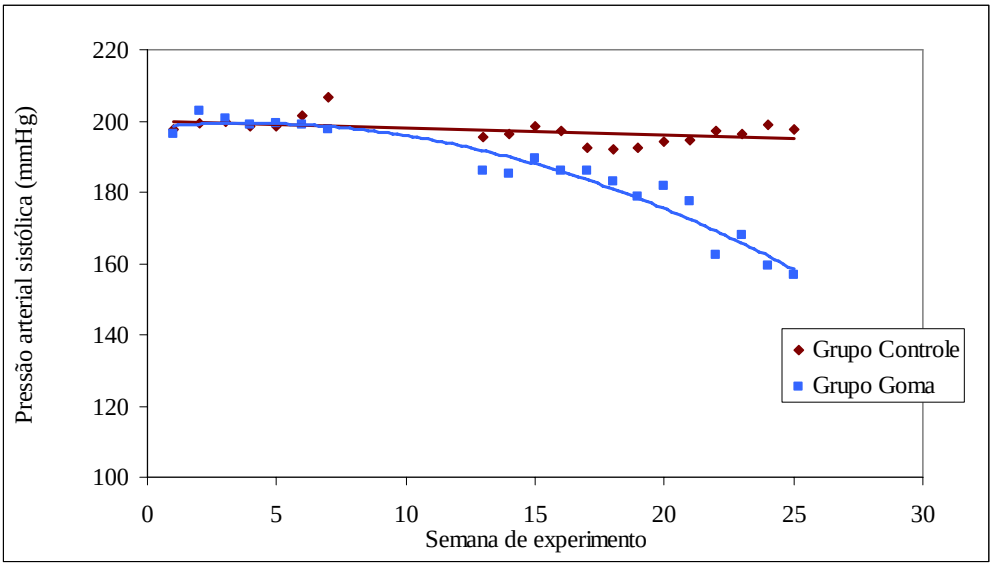


Figura 47 – Pressão arterial sistólica, em mmHg, dos ratos dos grupos Controle e dos grupos Goma durante as semanas de experimento

9.2.3 – Ensaio de Scherle - Volume do ventrículo esquerdo

Normalmente, indivíduos hipertensos apresentam corações com hipertrofia em relação aos indivíduos não hipertensos. Esta hipertrofia pode provocar um enfraquecimento do órgão conduzindo a uma insuficiência cardíaca. Em indivíduos hipertensos, a hipertrofia se manifesta principalmente no ventrículo esquerdo do coração porque é esta secção responsável pelo bombeamento do sangue para todo o corpo (WALSH, 1997). Sendo assim, a relação entre a massa do ventrículo esquerdo e a massa do coração é um importante indicativo dos efeitos da hipertensão arterial sobre o coração, pois indica quanto o ventrículo esquerdo está hipertrofiado.

A Tabela 3 apresenta as médias e respectivos desvios padrão das massas submersas do ventrículo esquerdo (VE) e do coração dos ratos dos grupos Goma e Controle sacrificados com 7 meses (Goma 7 e Controle 7) e com 9 meses (Goma 9 e Controle 9); e as relações entre massa do VE (g) e comprimento da tíbia (cm), e entre a massa do VE (g) e a massa do coração (g). Não foram observadas diferenças significativas entre os grupos, porém quando a Figura 48 é observada, verifica-se que apesar dos ratos do grupo Goma 9 serem mais idosos do que os demais, o coração destes ratos apresenta uma tendência de menor hipertrofia do VE (como hipertensão arterial, por gerar sobrecarga sobre o coração, está intimamente relacionada à hipertrofia do VE), tal fato poderia estar relacionado com a diminuição de 20% da PA observada nas últimas semanas de experimento.

Tabela 3 – Ensaio de Scherle: Massa submersa do coração e do ventrículo esquerdo (VE) e suas relações com comprimento da tíbia, para ratos sacrificados com 7 e 9 meses

	Goma 7	**Controle 7**	**Goma 9**	**Controle 9**
CORAÇÃO (g)	1,48±0,16	1,45±0,11	1,62±0,17	1,59±0,13
VE (g)	1,09±0,11	0,96±0,04	1,11±0,10	1,13±0,12
VE/TÍBIA (g/cm)	0,26±0,02	0,22±0,01	0,26±0,02	0,26±0,02
VE/CORAÇÃO	0,74±0,05	0,68±0,05	0,67±0,04	0,73±0,03

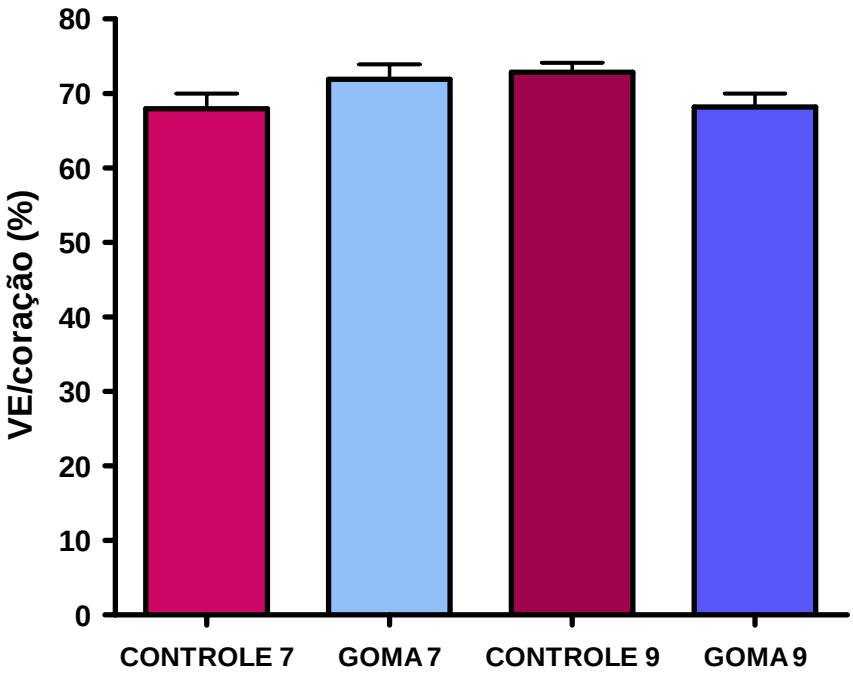


Figura 48 – Relação massa do ventrículo esquerdo por massa do coração (%) para ratos sacrificados com 7 e 9 meses

9.3 – CORAÇÃO

9.3.1 - Análise térmica

9.3.1.1 – Termogravimetria (TG), Termogravimetria Derivada (DTG) e Análise Térmica Diferencial (DTA).

Das quarenta análises de TG, DTG e DTA realizadas neste trabalho, apenas uma análise de cada grupo foi escolhida para ser mostrada a seguir, as outras análises estão disponíveis no Anexo 1 e todas seguem comportamento semelhente.

As curvas de TG, DTG e DTA de amostras do coração de rato do grupo Controle 7 são apresentadas na Figura 49. A curva de TG mostrou dois estágios de perda de massa. O

primeiro estágio teve início em 50°C e fim em 100°C causando 54% de perda de massa, sugerindo evaporação da água, do formaldeído e de plasma sangüíneo residual. O segundo estágio ocorreu de 250°C a 340°C com 12% de perda, que está provavelmente relacionada com a decomposição de substâncias como proteínas e lipídios, dentre outros. O resíduo em 800°C foi de 7,0%, indicando a presença de compostos inorgânicos como ferro, cálcio, magnésio, potássio e sódio. A curva de DTG apresentou três estágios de decomposição de massa com velocidade máxima em 85°C para maior perda de massa. A curva de DTA indica a presença de eventos endotérmicos durante toda a faixa de temperatura investigada (T_{pico1}: 85°C; T_{pico2}: 300°C). O primeiro pico provavelmente está relacionado com a desnaturação de proteínas e o segundo pico com a decomposição de polissacarídeos (CARESTIATO *et al.*, 2005; MOTHÉ *et al.* 2005).

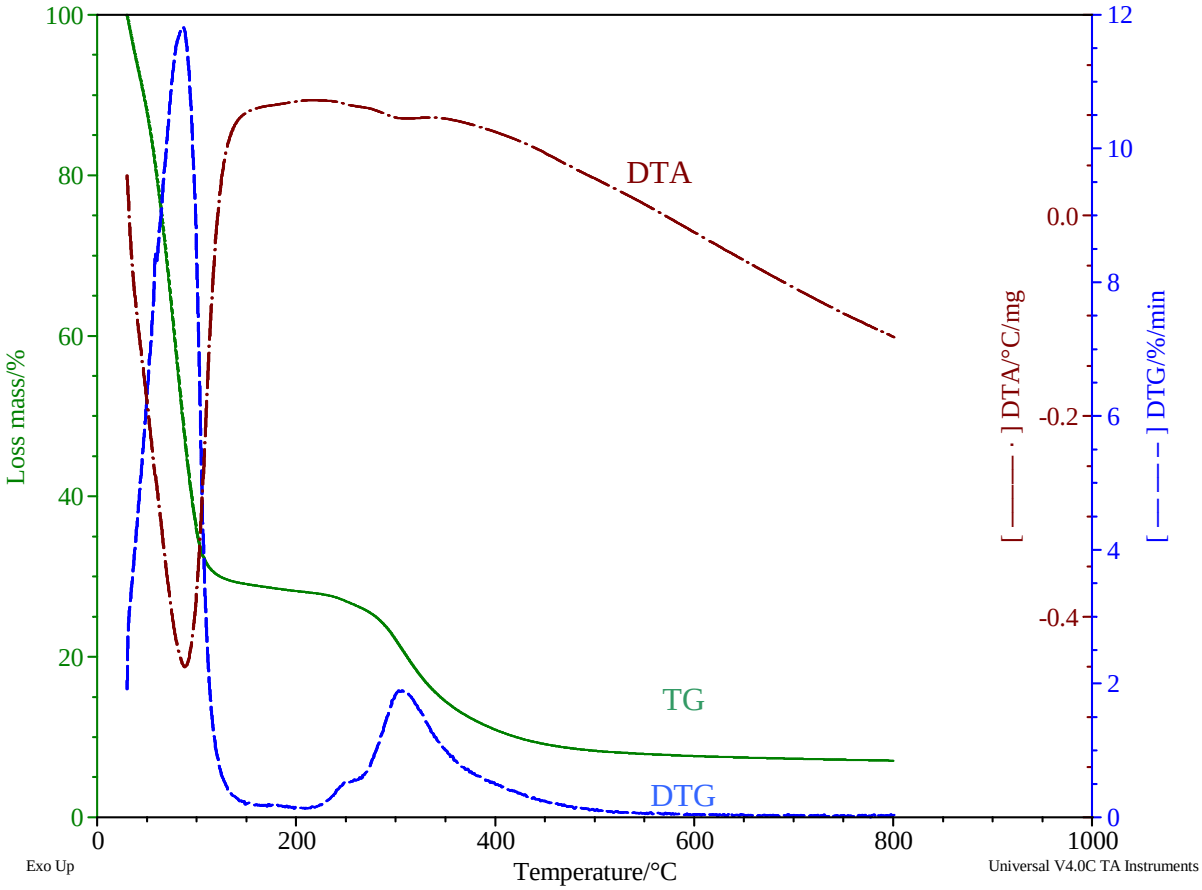


Figura 49 - Curvas TG, DTG e DTA das amostras de coração de rato do grupo Controle 7

A Figura 50 apresenta as curvas de TG, DTG e DTA de amostra de coração de rato do grupo Goma 7. A curva de TG mostrou dois estágios de perda de massa, que apresentaram temperaturas e perdas de massa similares às observadas para o grupo Controle 7. Porém a quantidade de resíduos em 800°C para a amostra do grupo Goma 7 foi de 5,6%. A curva de DTG também apresentou três estágios de decomposição e, analogamente, na curva de DTA foram observados apenas dois eventos endotérmicos em T_{pico1}: 85°C; T_{pico2}: 300°C.

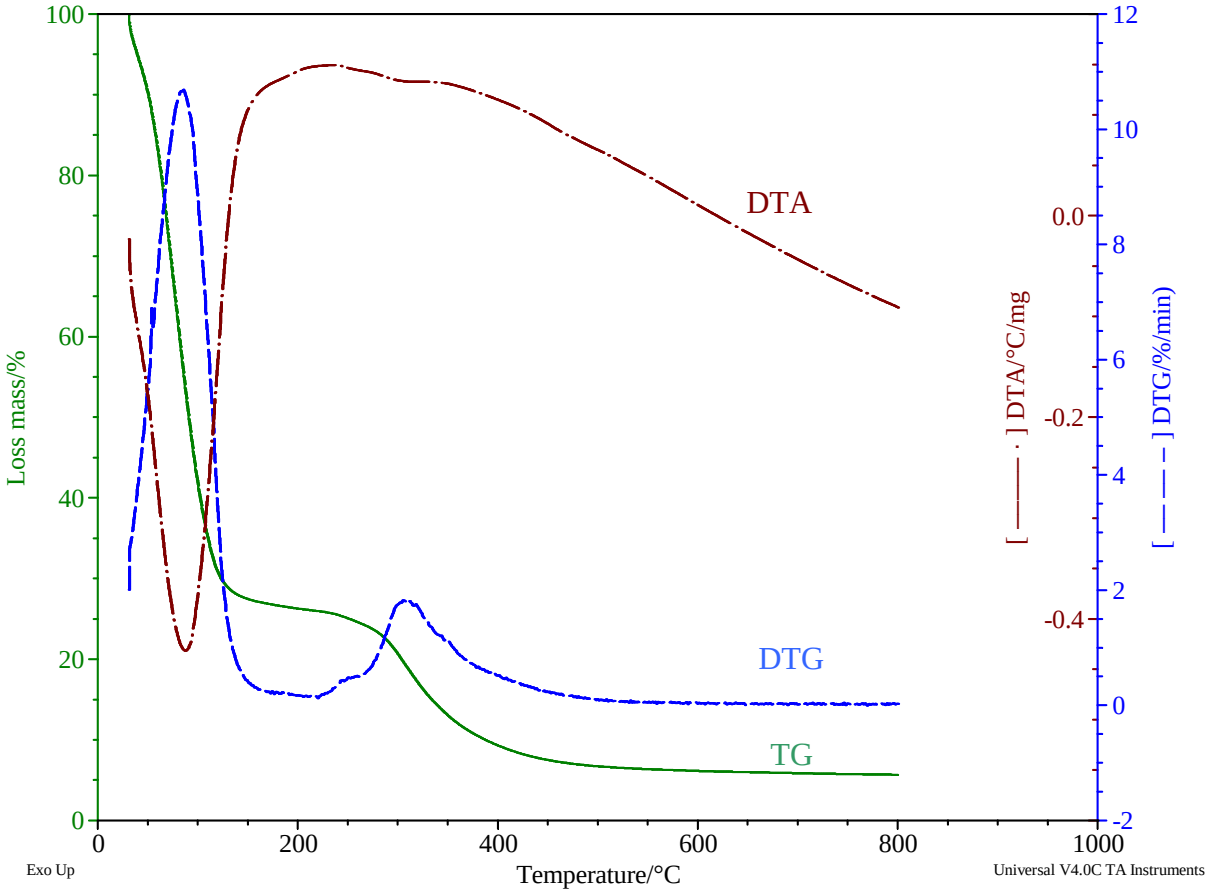


Figura 50 - Curvas TG, DTG e DTA das amostras do coração de rato do grupo Goma 7

As curvas de TG, DTG e DTA de amostra de coração de rato do grupo Controle 9 são apresentadas na Figura 51. A curva de TG também mostrou dois estágios de perda de massa, sendo que o primeiro estágio ocorreu de 50°C a 110°C, com 60% de perda de massa. O segundo estágio ocorreu de 250°C até 340°C com 10% de perda. A quantidade de resíduos em

800°C foi de 7,2 %. A curva de DTG mostrou três estágios de decomposição com velocidade máxima em 82°C. Na curva de DTA foram observados dois eventos endotérmicos em T_{pico1}: 85°C; T_{pico2}: 300°C.

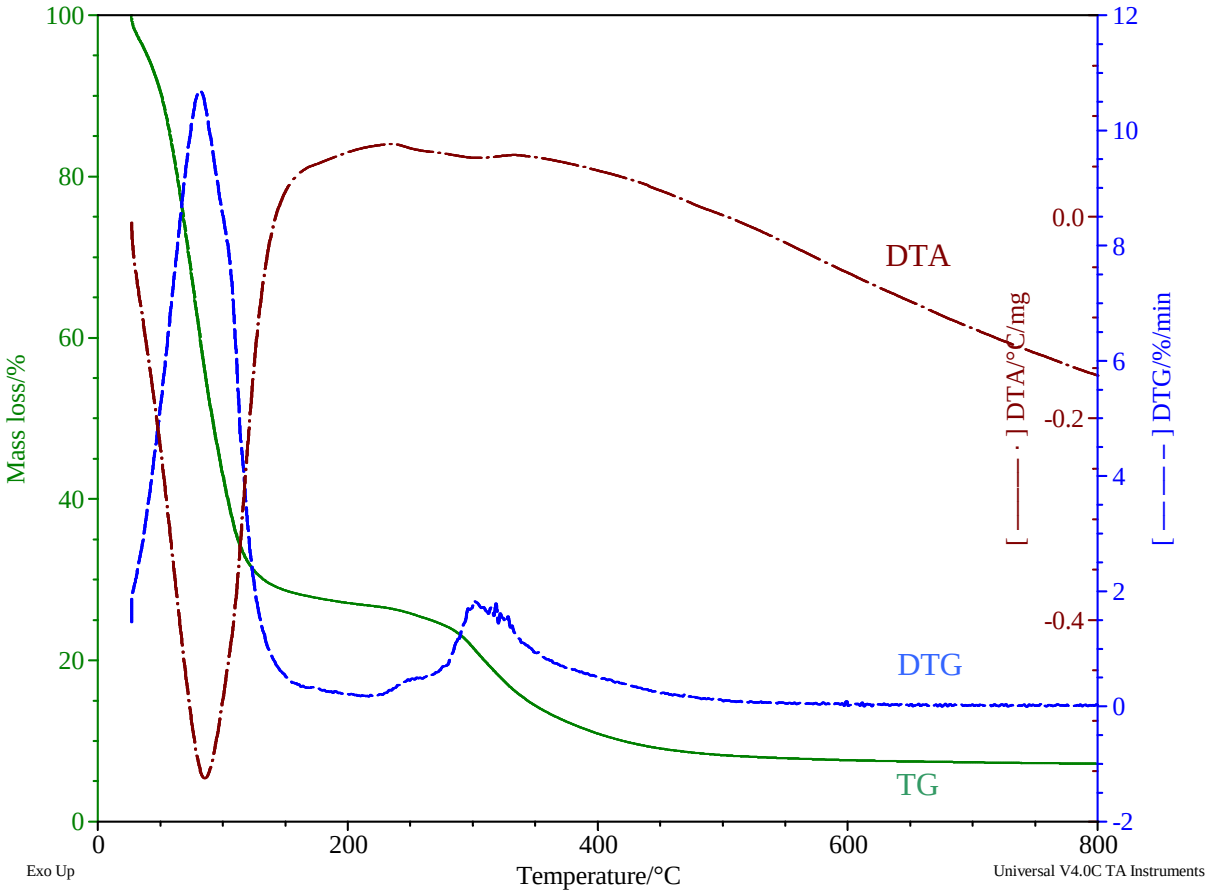


Figura 51 - Curvas TG, DTG e DTA das amostras do coração de rato do grupo Controle 9

As curvas de TG, DTG e DTA de amostra de coração de rato do grupo Goma 9 são apresentadas na Figura 52. A curva de TG também mostrou dois estágios de perda de massa, o primeiro estágio teve início em 55°C e fim em 115°C sendo responsável por 51% de perda de massa, o segundo ocorreu de 250°C a 345°C com 10% de perda e, em 800°C, o resíduo foi de 6,5. A curva de DTG apresentou quatro estágios de decomposição com velocidade máxima em 83°C. Na curva de DTA foram observados eventos endotérmicos em T_{pico1}: 90°C; T_{pico2}:

285°C. As médias dos valores obtidos nas curvas de Termogravimetria (para todas as quarenta amostras analisadas) estão mostradas na Tabela 4.

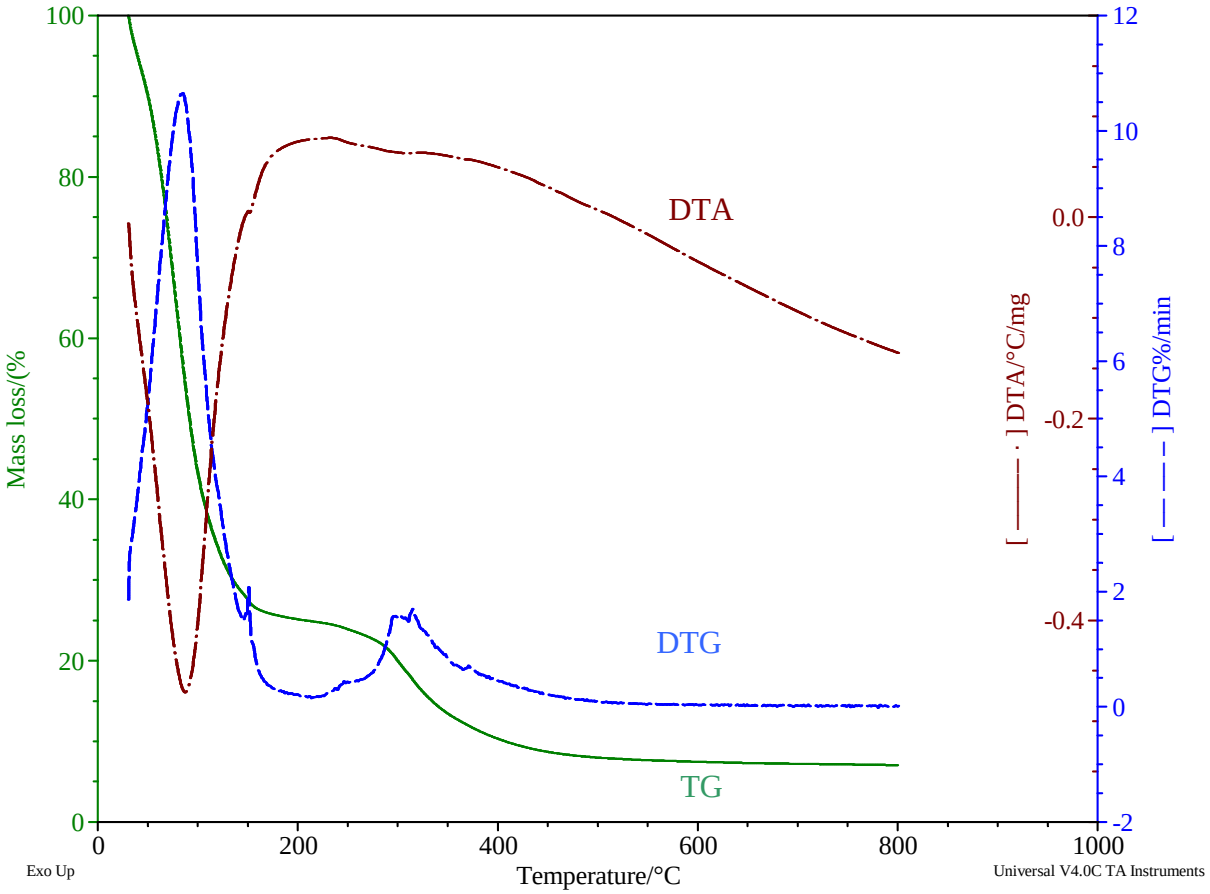


Figura 52 - Curvas TG, DTG e DTA das amostras do coração de rato do grupo Goma 9

Tabela 4 – Valores médios e respectivos desvios padrão obtidos por análises termogravimétricas (TG) para quarenta (40) amostras de coração de ratos sacrificados com 7 meses (Controle 7 e Goma 7) e com 9 meses (Controle 9 e Goma 9)

Experimento	**$T_{inicial}$ do estágio 1 (°C)**	**T_{final} do estágio 1 (°C)**	**Perda de massa no estágio 1(%)**	**$T_{inicial}$ do estágio 2 (°C)**	**T_{final} do estágio 2 (°C)**	**Perda de massa no estágio 2 (%)**	**Resíduos em 800°C (%)**	**"Resíduos corrigidos" (%)**
Controle 7	51,6±1,9	97,0±3,7	49,6±1,9	253,0±2,2	340,9±8,4	9,2±1,2	6,9±0,4	28,1±1,0
Goma 7*	52,5±3,0	99,4±5,6	49,6±3,8	253,0±2,1	338,4±3,4	8,1±0,6	6,3±0,5	26,2±1,6
Controle 9	48,1±4,5	102,5±4,6	52,1±2,5	252,7±2,5	336,5±6,7	7,9±0,6	6,7±0,3	29,4±1,2
Goma 9*	48,97±2,6	100,8±4,2	51,5±2,5	250,0±2,5	341,2±5,2	8,2±0,9	6,0±0,5	28,1±2,8

*Ratos espontaneamente hipertensos tratados diariamente com 500 mg/kg de goma de cajueiro.

Como foram verificadas algumas diferenças, entre os grupos, na quantidade de resíduos finais presentes nas amostras de coração dos ratos, um estudo estatístico foi realizado com modelo one-way ANOVA (GrapPad Prism versão 4.01), conforme mostrado na Figura 53. As diferenças foram estatisticamente significativas entre os grupos Goma 7 e Controle 7, e entre os grupos Goma 7 e Controle 9 (P<0,05), indicando menores quantidades de resíduos nas amostras de coração dos ratos dos grupos que geriram goma de cajueiro. O que foi uma contribuição inédita desta tese para a literatura, pois não havia dados até o momento sobre comparação de análise térmica de coração de ratos hipertensos.

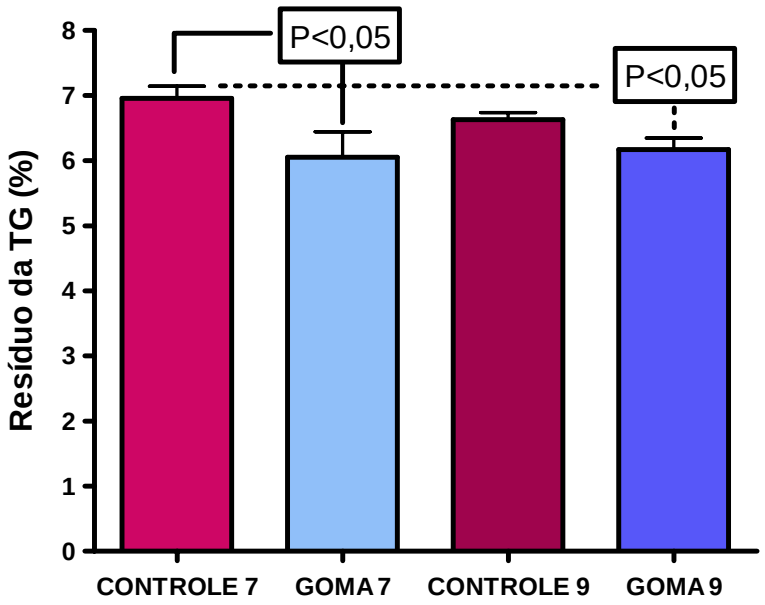


Figura 53 - Quantidade de resíduos da termogravimetria (TG) remanescente, em 800°C, nas amostras de coração de ratos

Com o objetivo de diminuir a influência da quantidade de formalina presente inicialmente na amostra, também foi calculada a quantidade de resíduos finais em relação à massa existente no início da segunda perda de massa ("resíduos corrigidos"). Observou-se que o grupo Goma 7 apresentou menor quantidade de resíduos (26,2±1,6%) e o grupo Controle 9 apresentou a maior quantidade de resíduos (29,4±1,2%), sendo que os grupos que ingeriram goma de cajueiro apresentaram as menores quantidades de resíduos no coração. Esta

constatação está em consonância com os resultados reportados por Mothé *et al.* (2005), que mostraram haver uma tendência de menor quantidade de resíduos nas amostras de coração dos ratos que possuíam menores índices sistólicos.

9.3.1.2 - Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

A curva de DSC da amostra de coração de rato do grupo Controle 7 (Figura 54) mostra dois eventos endotérmicos: o primeiro em $T_{pico1}=0^oC$ e o segundo (mais intenso) em $T_{pico}=122^oC$, com entalpia de 1041,02 J/g. Estes eventos estão relacionados com a desnaturação das proteínas (que corresponde a uma mudança irreversível na estrutura terciária com a quebra de ligações de hidrogênio, porém sem ser acompanhada de quebra da cadeia polipeptídica) e com a gelificação dos polissacarídeos.

Mothé *et al.* (2005) mostraram que quando a curva de DSC de coração de ratos é estudada mais minuciosamente, pode-se perceber ainda outros eventos endotérmicos na faixa de 60 até 80^oC e em aproximadamente 310^oC, que podem estar relacionados com a presença de lipídeos e gorduras no coração dos ratos, como mostrado no Anexo 2.

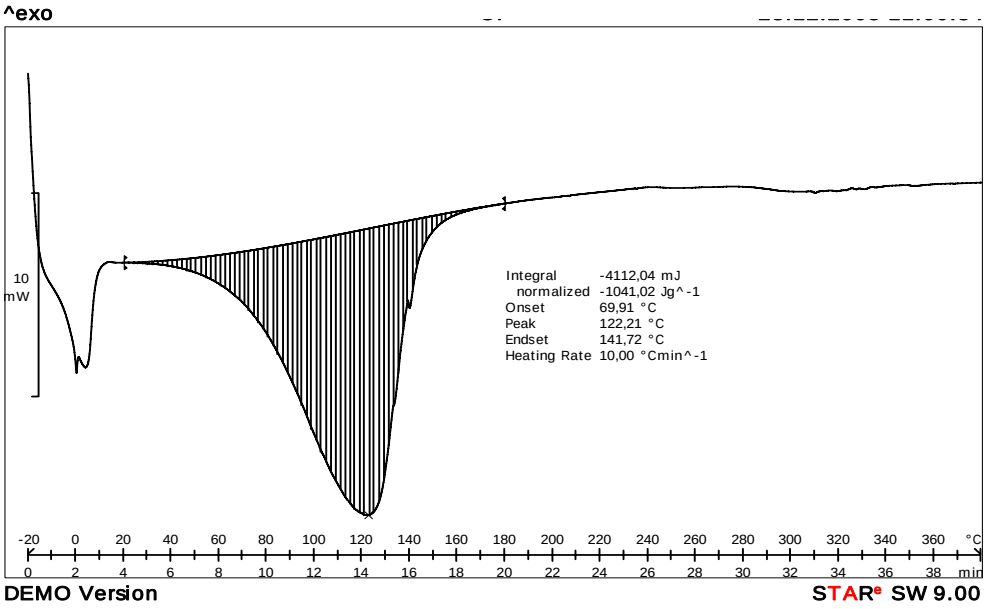


Figura 54 – Curva de DSC de amostra de coração de rato espontaneamente hipertenso sacrificado com 7 meses (Controle 7)

A curva de DSC da amostra de coração de rato do grupo Goma 7 (Figura 55) apresenta um perfil diferenciado, mostrando a presença de três eventos endotérmicos. O evento endotérmico mais intenso foi observado em T_{pico2}=77,5°C, o que mostra a integridade das proteínas que normalmente sofrem desnaturação entre 70-80 °C, com entalpia de 95,35 J/g e os outros eventos foram observados ainda em T_{pico1}=25°C e T_{pico3}=172°C.

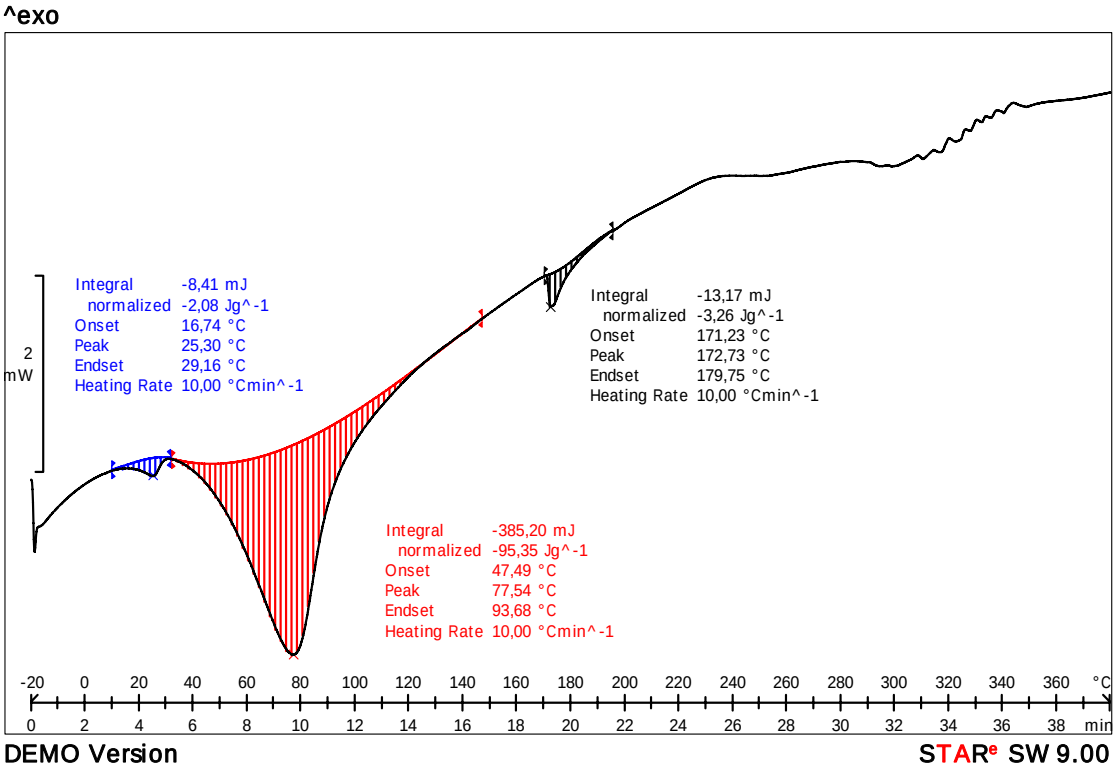


Figura 55 – Curva de DSC de amostra de coração de rato espontaneamente hipertenso tratado com goma de cajueiro e sacrificado com 7 meses (Goma 7)

A amostra de coração de rato do grupo Controle 9 apresenta um evento endotérmico intenso em T_{pico}=118,0°C, com entalpia de 1021,20 J/g, e outros pequenos eventos endotérmicos em T_{pico1}=0°C e T_{pico3}=150°C (Figura 56).

A curva de DSC da amostra de coração de rato do grupo Goma 9 (Figura 57) mostra a presença de quatro eventos endotérmicos, o evento mais intenso ocorre em T_{pico2}=120,6°C, com entalpia de 1044,44 J/g. Outros picos foram observados em T_{pico1}=0°C, T_{pico3}=140°C e T_{pico4}=158°C.

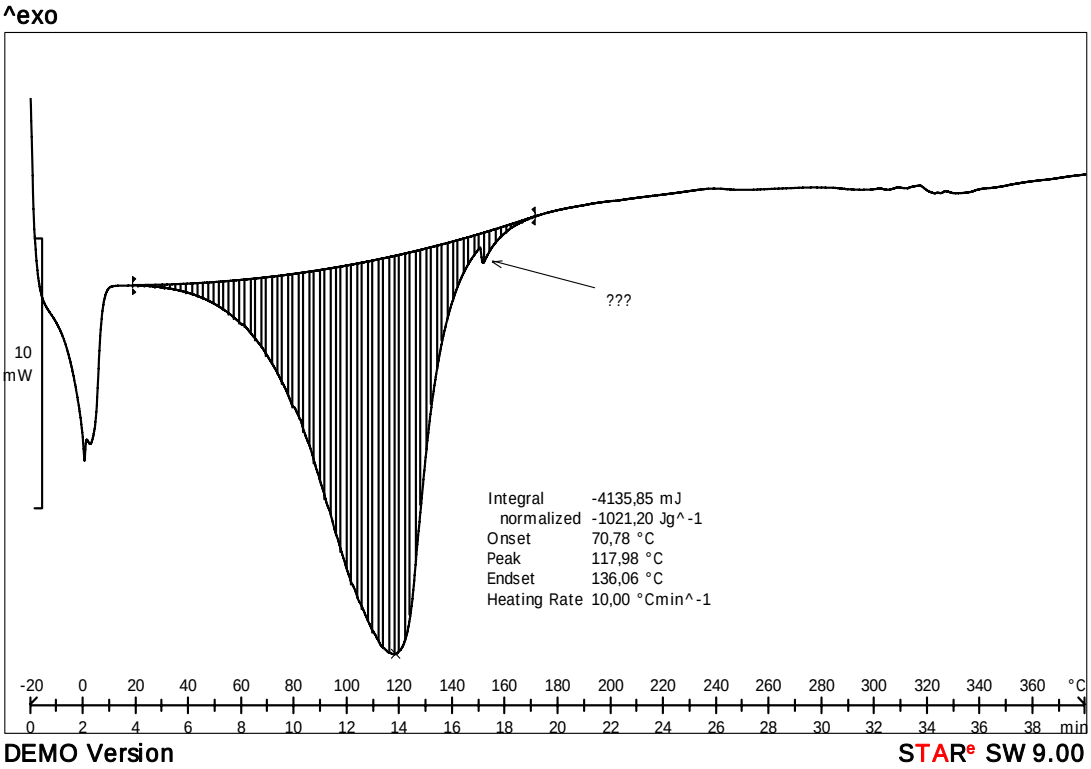


Figura 56 – Curva de DSC de amostra de coração de rato espontaneamente hipertenso sacrificado com 9 meses (Controle 9)

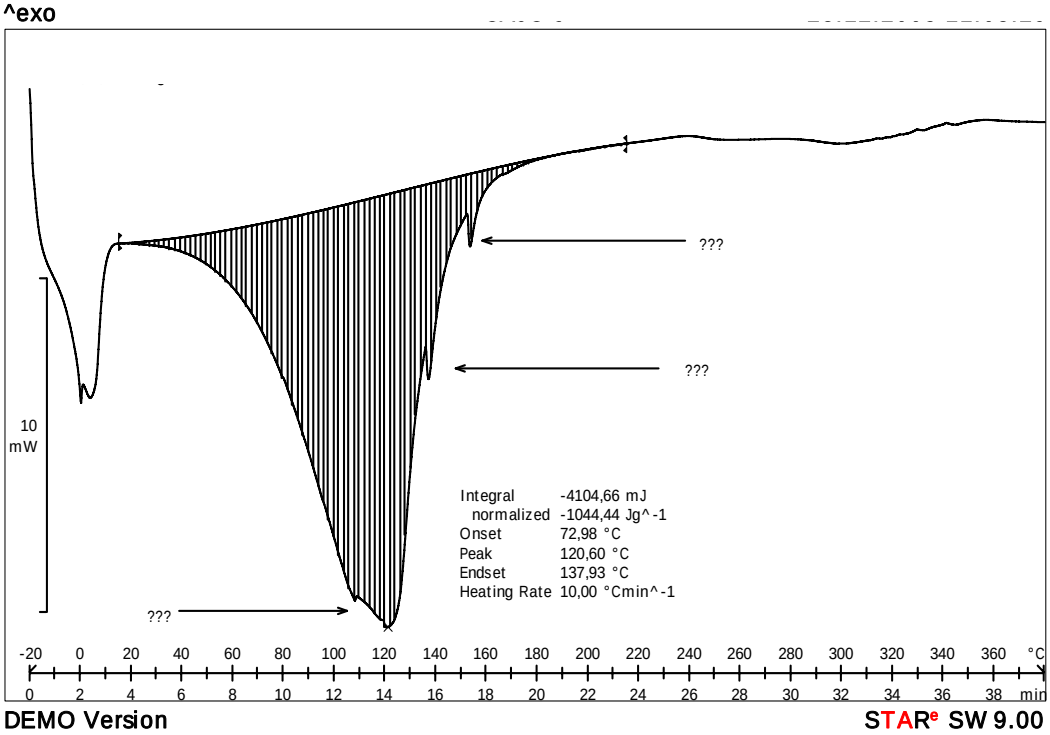


Figura 57 – Curva de DSC de amostra de coração de rato espontaneamente hipertenso tratado com goma de cajueiro e sacrificado com 9 meses (Goma 9).

9.3.1.3 – Estudo cinético de transição térmica por análise térmica

Como todas as curvas de DSC (Figuras 54 até 57), mostradas anteriormente, apresentaram um evento endotérmico em torno de 120°C, este evento foi utilizado para o estudo cinético de transição térmica por análise térmica. Com base no modelo de Borchardt & Daniels (1956), os parâmetros cinéticos foram determinados. A ordem da reação (n) foi obtida pelo método de Kissinger (1957). A partir dos dados cinéticos mostrados nas Tabelas 5 a 8; foram traçadas as curvas de ln k(T) versus T^{-1}, referentes à decomposição de amostras de coração de ratos (Figuras 58 a 61).

A energia de ativação (E) e o fator pré-exponencial (Z) foram calculados pela linearização da equação de Arrhenius (Equação 6).

$$\ln k = \mathbf{\ln Z - (E/R)}*(1/T) \qquad (6)$$

A amostra de coração do rato do grupo Controle 7 apresentou ordem de reação 0,94; energia de ativação 61,4 kJ/mol (R^2=0,9843) e fator pré-exponencial (ln Z) igual a 14,475; conforme mostrado na Tabela 5 e na Figura 58.

Tabela 5 – Dados cinéticos referentes ao evento endotérmico de transição térmica do coração de ratos do grupo Controle 7 (*), conforme o modelo de Borchardt & Daniels (1956)

T^{-1} (K^{-1})	ΔH_P (J)	$(1-\alpha)^{0,94(*)}$	dH/dt (J/s)	k(T)	ln k(T)
0,00294	X	1,0000	0,0023	0,0006	-7,4909
0,00291	0,0496	0,9886	0,0038	0,0009	-6,9830
0,00287	0,1851	0,9574	0,0052	0,0013	-6,6207
0,00284	0,2790	0,9358	0,0062	0,0016	-6,4260
0,00281	0,4923	0,8865	0,0074	0,0020	-6,2028
0,00278	0,6250	0,8557	0,0089	0,0025	-5,9852
0,00274	0,9268	0,7856	0,0103	0,0032	-5,7455
0,00271	1,1079	0,7433	0,0118	0,0039	-5,5567
0,00268	1,5022	0,6508	0,0128	0,0048	-5,3437
0,00266	1,7155	0,6004	0,0133	0,0054	-5,2254
0,00263	2,1554	0,4957	0,0139	0,0068	-4,9855

(*) De acordo com o modelo de Kissinger (1957), n = 0,94.
Dados: T= temperatura (K); ΔH_P = entalpia parcial; α = conversão; k = taxa reacional.

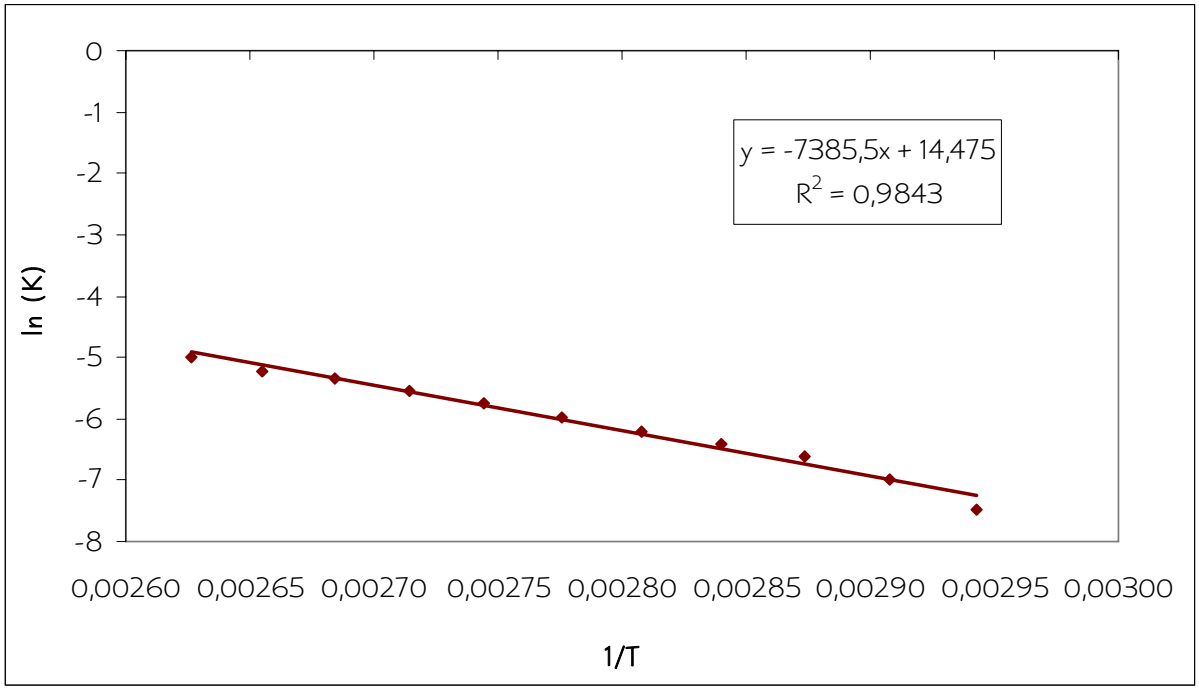


Figura 58 – Curva da cinética da decomposição de amostra de coração de rato do grupo Controle 7, obtida pelo método de Borchardt & Daniels (1957)

A Tabela 6 e a Figura 59 apresentam os valores obtidos pelo método de Borchardt & Daniels (1957) para o cálculo da energia de ativação da amostra de coração de rato do grupo Goma 7. A energia de ativação foi de 72,1 kJ/mol (R^2=0,9974), o fator pré-exponencial 20,027 e a ordem de reação 0,71.

Tabela 6 – Dados cinéticos referentes ao evento endotérmico de transição térmica do coração de ratos do grupo Goma 7 (*), conforme o modelo de Borchardt & Daniels (1956)

T^{-1} (K^{-1})	ΔH_P (J)	$(1-\alpha)^{0,71(*)}$	dH/dt (J/s)	k(T)	ln k(T)
0,00305	X	1,0000	0,0006	0,00158	-6,4502
0,00302	0,0085	0,9843	0,0008	0,00206	-6,1831
0,00300	0,0286	0,9465	0,0010	0,00262	-5,9433
0,00297	0,0416	0,9219	0,0012	0,00331	-5,7121
0,00294	0,0720	0,8629	0,0015	0,00445	-5,4155
0,00292	0,0910	0,8252	0,0017	0,00520	-5,2595
0,00289	0,1326	0,7403	0,0019	0,00656	-5,0274
0,00286	0,1567	0,6893	0,0021	0,00786	-4,8460

(*) De acordo com o modelo de Kissinger (1957), n=0,71.
Dados: T= temperatura (K); ΔH_P=entalpia parcial; $d\alpha/dt$=taxa de conversão; k=taxa reacional.

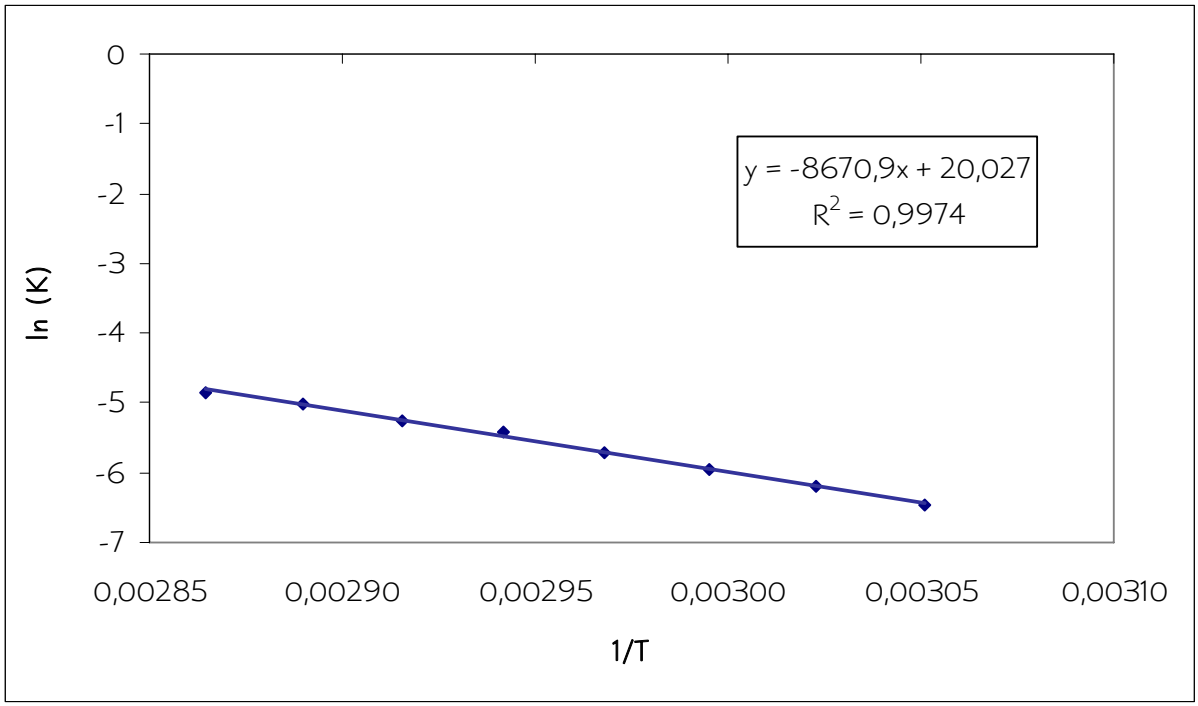


Figura 59 – Curva da cinética da transição térmica de amostra de coração de rato do grupo Goma 7, obtida pelo método de Borchardt & Daniels (1956)

A amostra de coração de rato do grupo Controle 9 apresentou ordem de reação 0,96, energia de ativação de 60,8 kJ/mol (R^2=0,993) e o fator pré-exponencial 13,993 (Tabela 7 e Figura 60).

Tabela 7 – Dados cinéticos referentes ao evento endotérmico de transição térmica do coração de ratos do grupo Controle 9 (*), conforme o modelo de Borchardt & Daniels (1956)

T^{-1} (K^{-1})	ΔH_P (J)	$(1-\alpha)^{0,96(*)}$	dH/dt (J/s)	k(T)	ln k(T)
0,00286	0,0492	0,98862	0,0036	0,00088	-7,03681
0,00282	0,1927	0,95542	0,0052	0,00130	-6,64164
0,00279	0,2995	0,93065	0,0067	0,00175	-6,35068
0,00275	0,5555	0,87121	0,0083	0,00230	-6,07558
0,00272	0,7158	0,83388	0,0095	0,00276	-5,89121
0,00269	1,0730	0,75042	0,0111	0,00357	-5,63395
0,00266	1,2853	0,70061	0,0125	0,00431	-5,44592
0,00262	1,7452	0,59216	0,0136	0,00555	-5,19386
0,00259	1,9969	0,53241	0,0144	0,00653	-5,03162

(*) De acordo com o modelo de Kissinger (1957), n=0,96.
Dados: T= temperatura (K); ΔH_P=entalpia parcial; $d\alpha/dt$=taxa de conversão; k=taxa reacional.

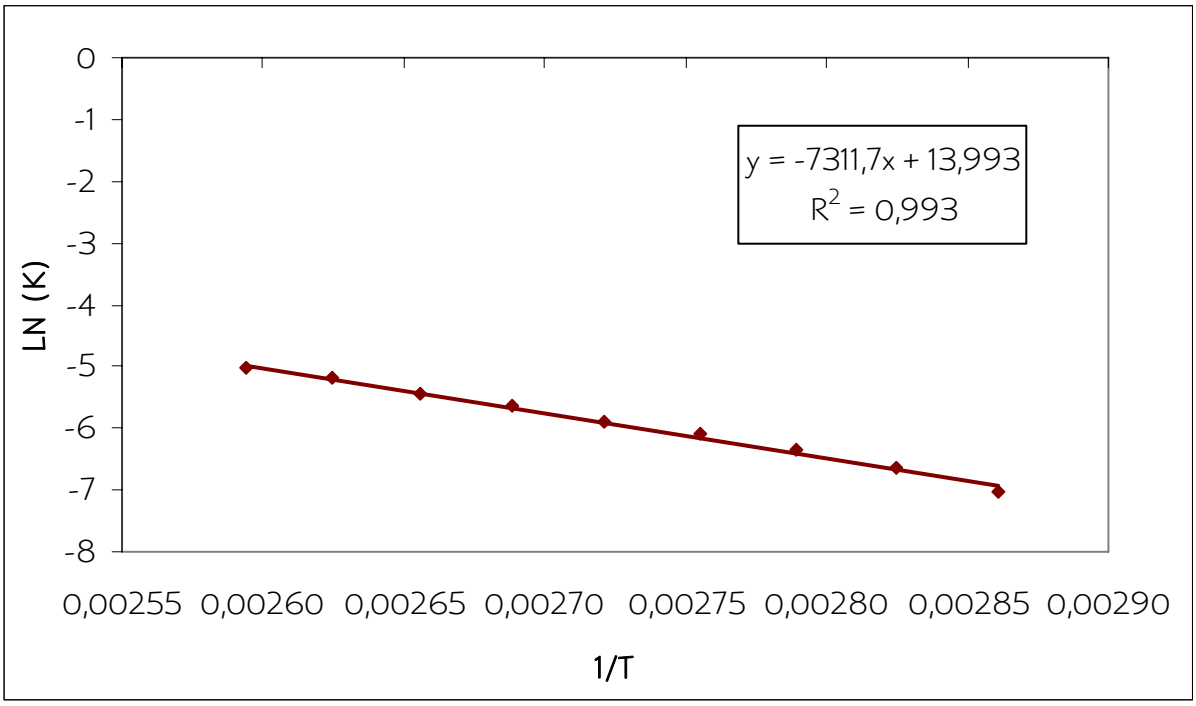


Figura 60 – Curva da cinética da transição térmica de amostra de coração de rato do grupo Controle 9, obtida pelo método de Borchardt & Daniels (1956)

Para o grupo Goma 9 a energia de ativação foi de 62,0 kJ/mol (R^2=0,9715), o fator pré-exponencial de 14,245 e ordem de reação 0,67 (Tabela 8 e Figura 61).

Tabela 8 – Dados cinéticos referentes ao evento endotérmico de transição térmica do coração de ratos do grupo Goma 9 (*), conforme o modelo de Borchardt & Daniels (1956)

T^{-1} (K^{-1})	ΔH_P (J)	$(1-\alpha)^{0,67(*)}$	dH/dt (J/s)	k(T)	ln k(T)
0,00292	X	1,00000	0,00181	0,00044	-7,72808
0,00288	0,04381	0,99280	0,00301	0,00074	-7,21003
0,00284	0,16320	0,97305	0,00410	0,00103	-6,88245
0,00281	0,25082	0,95843	0,00554	0,00141	-6,56503
0,00277	0,46221	0,92270	0,00663	0,00175	-6,34834
0,00274	0,59255	0,90033	0,00771	0,00209	-6,17225
0,00270	0,88390	0,84933	0,00892	0,00256	-5,96875
0,00267	1,05805	0,81812	0,01024	0,00305	-5,79273

(*) De acordo com o modelo de Kissinger (1957), n=0,67.
Dados: T= temperatura (K); ΔH_P=entalpia parcial; $d\alpha/dt$=taxa de conversão; k=taxa reacional.

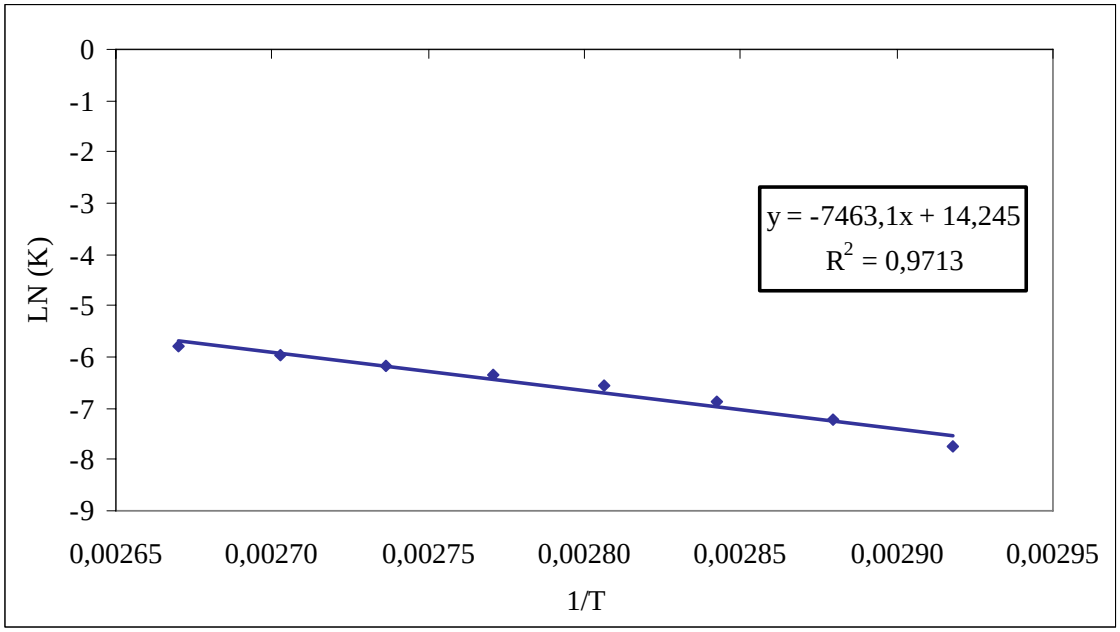


Figura 61 – Curva da cinética da transição térmica de amostra de coração de rato do grupo Goma 9, obtida pelo método de Borchardt & Daniels (1956)

As amostras dos corações dos ratos dos grupos Goma 7 e Goma 9 apresentaram maior energia de ativação do que a dos ratos dos grupos Controle 7 e Controle 9 (Tabela 9). Provavelmente, tal fato está associado à menor quantidade de resíduos, à menor rigidez do tecido muscular cardíaco e à maior quantidade de cardiomiócitos apresentada pelo coração dos ratos do grupo que ingeriram fibra alimentar durante o experimento relacionado com presentes neste tecido. Devido às estruturas dos cardiomiócitos, estes poderiam apresentar maior energia de ativação do que o tecido conjuntivo. Outra possibilidade, para a maior energia de ativação nas amostras destes grupos, poderia estar relacionada à presença de maior quantidade de vasos intramiocárdicos no coração destes ratos.

Assim, uma maior energia de ativação no tecido cardíaco poderia estar relacionada com a melhor integridade do tecido dificultando sua decomposição pelo calor. Neste caso, a goma de cajueiro pode ter sido responsável pelo processo de desaceleração do “envelhecimento” do coração.

Tabela 9 – Energia potencial das amostras de coração dos ratos estudados

Grupo	Energia Potencial (kJ/mol)
Controle 7	61,403
Goma 7	72,089
Controle 9	60,789
Goma 9	62,048

9.3.2 – Estereologia

9.3.2.1 - Número de núcleos de cardiomiócitos no ventrículo esquerdo

A média do N[cardiomiócitos] no VE foi 37% maior no grupo Goma 7 do que no grupo Controle 7, e 33% maior no grupo Goma 9 do que no grupo Controle 9 (Figura 62), ou seja, os ratos que ingeriram goma de cajueiro tiveram o número de cardiomiócitos preservado em relação ao grupo controle, mesmo com o envelhecimento.

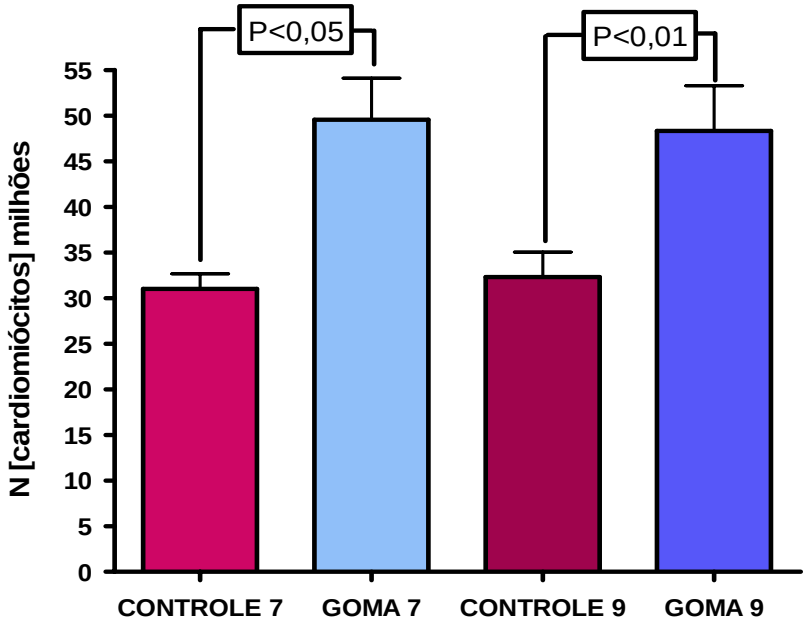


Figura 62 – Média do número de núcleos de cardiomiócitos (em milhões) presentes no ventrículo esquerdo dos animais estudados. As relações onde P<0,05 são estatisticamente significativas

A regressão linear entre o número de cardiomiócitos e a PA sistólica dos ratos dos grupos Goma 7 e Controle 7 apresentou coeficiente de determinação R^2=0,8184 (Figura 63); para grupos Goma 9 e Controle 9 apresentou coeficiente de determinação R^2=0,8402 (Figura 64), o que representa uma boa correlação (R ≈ 0,9) entre os grupos.

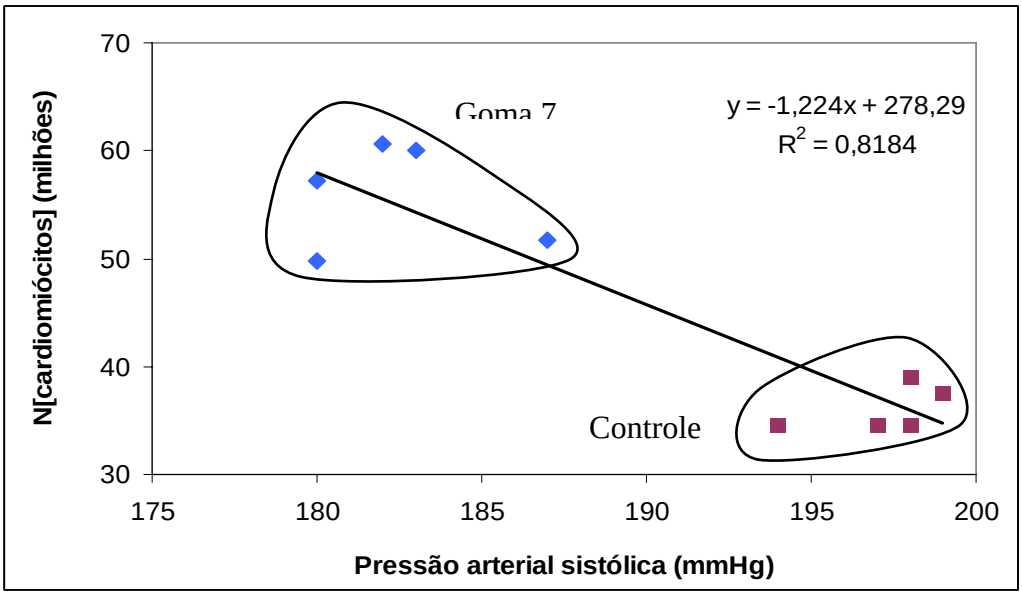


Figura 63 – Regressão linear do número de cardiomiócitos no ventrículo esquerdo N[cardiomiócitos] versus a pressão arterial sistólica dos ratos com sete meses de vida; o coeficiente de determinação R^2, a equação e os grupos estão identificados (R=0,9)

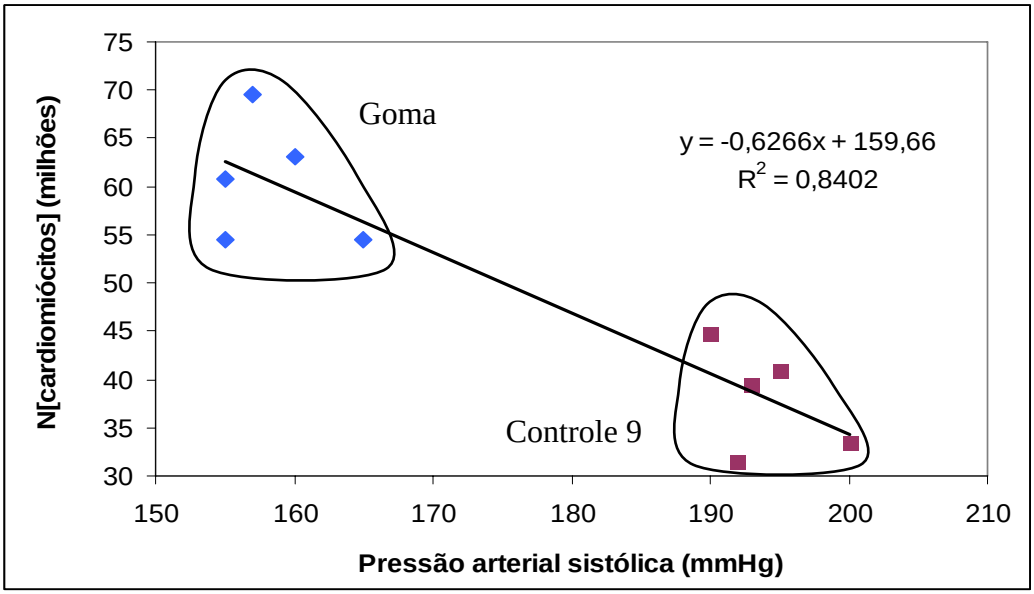


Figura 64 – Regressão linear do número de cardiomiócitos no ventrículo esquerdo N[cardiomiócitos] versus a pressão arterial sistólica dos ratos com nove meses de vida; o coeficiente de determinação R^2, a equação e os grupos estão identificados (R=0,92)

A perda de miócitos cardíacos e a conseqüente diminuição da potência cardíaca são um fenômeno natural durante o envelhecimento, principalmente no miocárdio ventricular, e a hipertensão arterial atua como acelerador deste processo (AGUILA; MANDARIM-DE-LACERDA, 2001a e 2003). Em ambas relações (dos grupos Goma e seus respectivos controles) observou-se que com o aumento da pressão arterial houve diminuição do número de cardiomiócitos, ou seja, os ratos alimentados por longos tempos com goma de cajueiro mostraram menores níveis de PA e maiores N[cardiomiócitos], o que são efeitos desejáveis para o sistema cardiovascular (AGUILA *et al*., 2005). Desta forma, a perda de cardiomiócitos foi, possivelmente, atenuada pela ingestão de goma de cajueiro, a qual modificou a tendência natural de aumento da PA e decréscimo do número de cardiomiócitos nos SHR, o que é um resultado promissor.

9.3.2.2 – Hipertrofia ventricular e remodelamento cardíaco

A hipertrofia cardíaca é geralmente considerada um ajuste compensatório quando o coração é exposto a um aumento de pressão arterial. Os indicadores morfológicos desta hipertrofia do miocárdio são a dilatação da parede do ventrículo e ou da cavidade ventricular.

A hipertrofia ventricular, causada pela hipertensão arterial, é caracterizada pela perda de cardiomiócitos e remodelamento cardíaco. A redução do número de células cardíacas no ventrículo esquerdo indica a redução do potencial do órgão, pois a célula cardíaca uma vez “destruída” não se regenera e as células mortas são substituídas por tecido fibroso, podendo constituir uma variável crítica no desenvolvimento da disfunção ventricular e insuficiência cardíaca (GARTNER; HIATT, 1997; AGUILA; MANDARIM-DE-LACERDA, 2003). Em outras palavras, a redução do número de células cardíacas está freqüentemente associada a uma hipertrofia das células remanescentes e ao aumento de tecido conjuntivo intersticial; os quais prejudicam a função cardíaca.

A Figura 65 mostra a média da área transversal dos cardiomiócitos. Pode-se constatar que a área dos cardiomiócitos tornou-se maior com avanço da idade, assim os grupos com nove meses de vida apresentaram maior hipertrofia das células cardíacas do que os grupos com sete meses de vida (aumento de 25% para o grupo Controle e de 36% para o grupo Goma). Entre os animais com a mesma idade, os animais que receberam goma de cajueiro apresentaram células aproximadamente 20% menores do que os animais do grupo controle, sugerindo novamente o possível efeito benéfico da ingestão de goma de cajueiro.

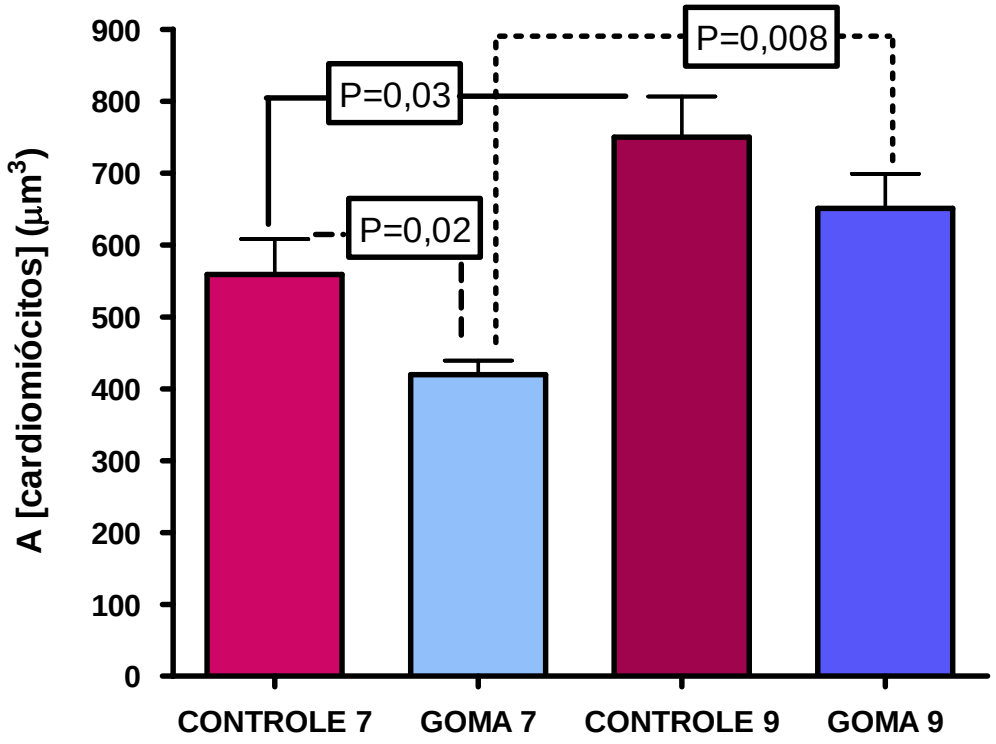


Figura 65 – Média da área transversal dos cardiomiócitos (μm^2) do ventrículo esquerdo dos animais estudados

A Figura 66 apresenta a densidade de volume (%) de tecido conjuntivo presente no ventrículo esquerdo dos SHR. Observa-se que enquanto o Grupo Goma 7 apresentou 7,0% de tecido conjuntivo (fibrose) no VE, o grupo controle correspondente apresentou 10,2%. Com o avanço da idade a quantidade de fibrose encontrada no VE dos animais aumentou de 2,0 a

3,0%, indicando que o envelhecimento afetou o miocárdio. Apesar da diferença entre os grupos Goma 9 e Controle 9 não ter sido significativa, o grupo Goma apresentou uma tendência de ter o miocárdio mais preservado (com 10,0% de fibrose contra 11,7% do grupo controle).

O grupo que ingeriu goma de cajueiro apresentou, aos nove meses de vida, quantidade de tecido conjuntivo semelhante à quantidade dos ratos do grupo controle com sete meses de vida; assim, em relação à quantidade de tecido conjuntivo presente no VE, poder-se-ia afirmar que a goma de cajueiro atuou como agente de desaceleração do processo de fibrose intramiocárdica que ocorre durante o envelhecimento, retardando o aparecimento dos efeitos degenerativos em aproximadamente dois meses (o que equivaleria a aproximadamente 15 anos em humanos).

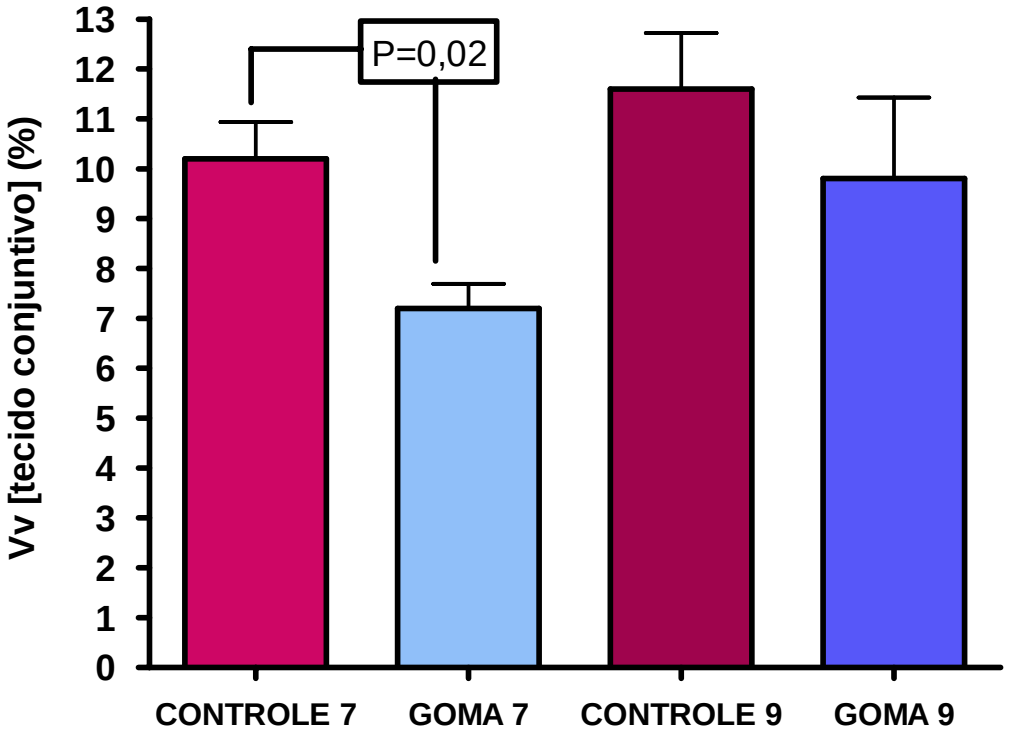


Figura 66 – Densidade de volume de tecido conjuntivo do ventrículo esquerdo dos ratos estudados. Médias entre diferentes idades apresentaram P<0,05

9.3.2.3 – Vasos sangüíneos

O miocárdio demanda grande quantidade de energia para manter sua atividade. Por isso, deve ser altamente vascularizado de forma que o sangue supra suas necessidades (fornecendo O_2 e nutrientes e retirando CO_2 e dejetos celulares) de forma eficiente (GARTNER; HIATT, 1997). Assim, a vascularização do miocárdio é outro indicativo do quanto o órgão é saudável, já que quanto menos vascularizada é a região, maior a probabilidade de suas células morrerem.

A Figura 67 apresenta a densidade de área de vasos intramiocárdicos do VE e pode ser observado que o miocárdio dos ratos do grupo Goma 7 apresentaram maior quantidade de vasos, confirmando assim o potencial benéfico da goma de cajueiro para o sistema cardiovascular. Com o envelhecimento (nove meses) o efeito da goma sobre os vasos não foi verificado, e o grupo Goma 9 apresentou reduções de aproximadamente 30%.

A diferença de densidade de volume de vasos intramiocárdicos do ventrículo esquerdo dos ratos é mostrada na Figura 68. Não houve diferença entre os grupos de mesma idade, mas os animais com nove meses de idade apresentaram a quantidade de vasos 20% menor do que os com sete meses de idade.

A diminuição da densidade de comprimento dos vasos intramiocárdicos também é observada em animais mais idosos, conforme mostrado na Figura 69. Para os grupos que ingeriram goma de cajueiro o comprimento dos vasos foi sempre maior do que o de seus respectivos grupos controle.

A Figura 70 apresenta a relação vasos intramiocárdicose a densidade de volume de cardiomiócitos presente no VE dos ratos. As diferenças são significativas apenas entre os animais de idades diferentes.

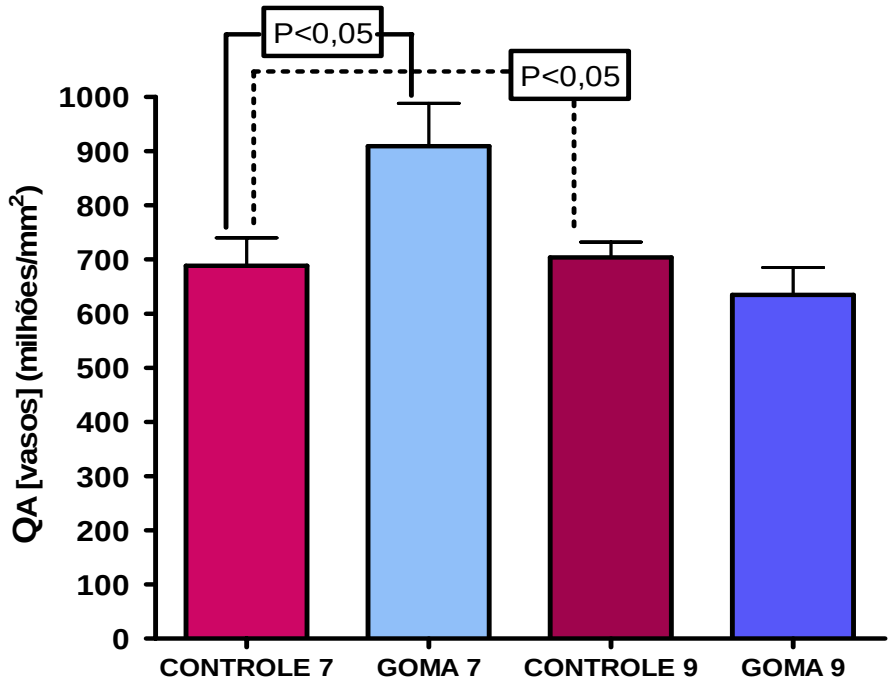


Figura 67 – Densidade de área de vasos intramiocárdicos do ventrículo esquerdo dos ratos estudados

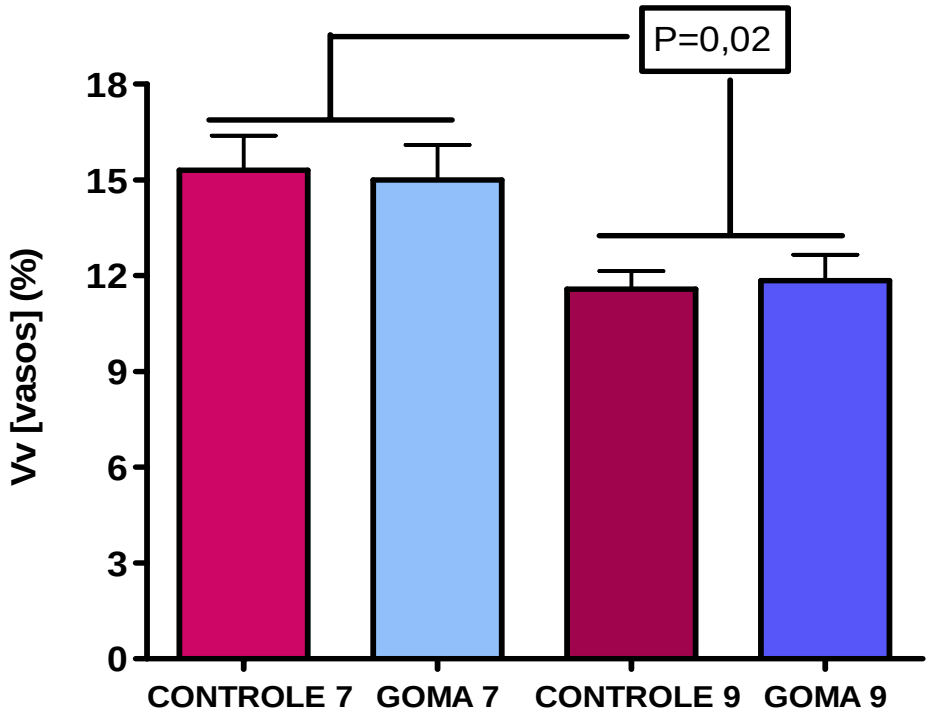


Figura 68 – Densidade de volume dos vasos intramiocárdicos do ventrículo esquerdo dos ratos estudados

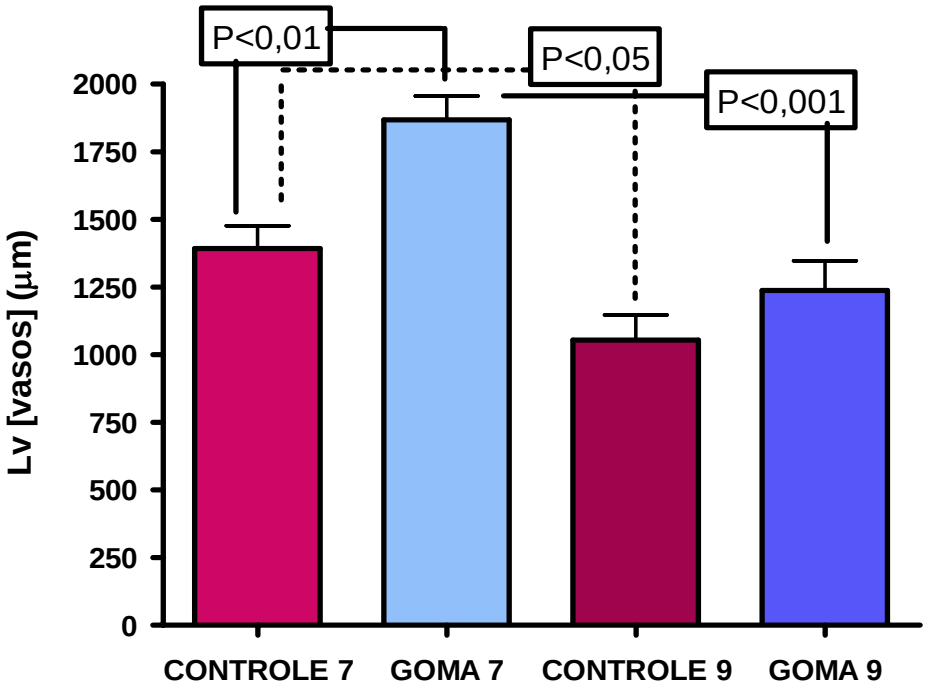


Figura 69 – Densidade de comprimento dos vasos intramiocárdicos do ventrículo esquerdo dos ratos estudados

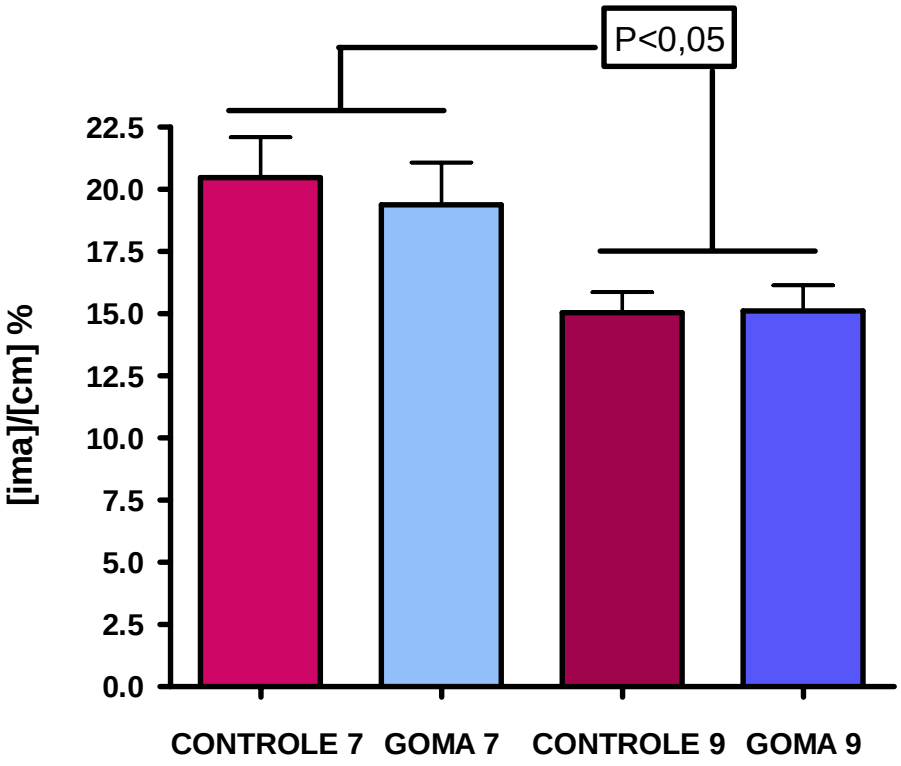


Figura 70 – Relação entre vasos intramiocárdicos / densidade de volume de cardiomiócitos de ventrículo esquerdo dos ratos estudados

9.3.4 – Fotomicrografias

As fotomicrografias dos cortes transversais do miocárdio ventricular esquerdo de ratos, apresentadas na Figura 71, mostram que os ratos dos grupos Controle 7 (Figura 71 (a)) e Controle 9 (Figura 71 (c)) apresentaram os cardiomiócitos hipertrofiados, característica de uma resposta da hipertensão arterial crônica (AGUILA *et al*., 2004; MEDEIROS *et al*., 2005). Além disso, nos animais do grupo Controle 9, mais idosos, cardiomiócitos estavam freqüentemente hipertrofiados e apresentavam fibrose intersticial, conforme reportado por Aguila e Mandarim-de-Lacerda (2003).

A estrutura do miocárdio do grupo dos ratos que receberam goma de cajueiro durante quatro meses (grupo Goma 7) possuiu aspecto normal com miócitos pouco hipertrofiados e com pouca fibrose intersticial e presença de capilares (Figura 71 (b)). Assim como os ratos do grupo Goma 9, que apesar de serem mais idosos, também apresentaram pouca hipertrofia e ligações finas de colágeno ao redor dos miócitos e com a vascularização preservada (Figura 71 (d)).

As fotomicrografias dos cortes longitudinais (Figura 72) confirmam o que foi verificado nos cortes transversais. Ao comparar-se as fotomicrografias do miocárdio ventricular dos ratos do grupo Controle 7 (Figura 72 (a)) com a do grupo Goma 7 (Figura 7 (b)), verificam-se cardiomiócitos mais hipertrofiados e processo inflamatório discreto no grupo Controle 7.

No grupo Controle 9 (Figura 72 (c)) os cardiomiócitos estavam bastante hipertrofiados, apresentando fibrose intersticial, exibindo inclusive processo inflamatório importante em alguns campos microscópicos. O grupo Goma 9 (Figura 72 (d)) apresentou cardiomiócitos mais hipertrofiados do que o grupo Goma 7, mas apesar disto, não foi detectada fibrose intersticial no miocárdio.

Outra diferença importante entre os grupos estudados foi a estrutura das artérias intramiocárdicas. As artérias intramiocárdicas apresentaram hipertrofia da túnica média nos ratos do grupo Controle 7 (Figura 73 (a)) e mostraram aspecto normal sem hipertrofia da parede dos vasos nos ratos do grupo Goma 7 (Figura 73 (b)).

Nos ratos do grupo Controle 9 (Figura 73 (c)) as artérias intramiocárdicas apresentaram espessamento da parede devido principalmente à hipertrofia da túnica média, à fibrose perivascular da túnica adventícia e túnica íntima.

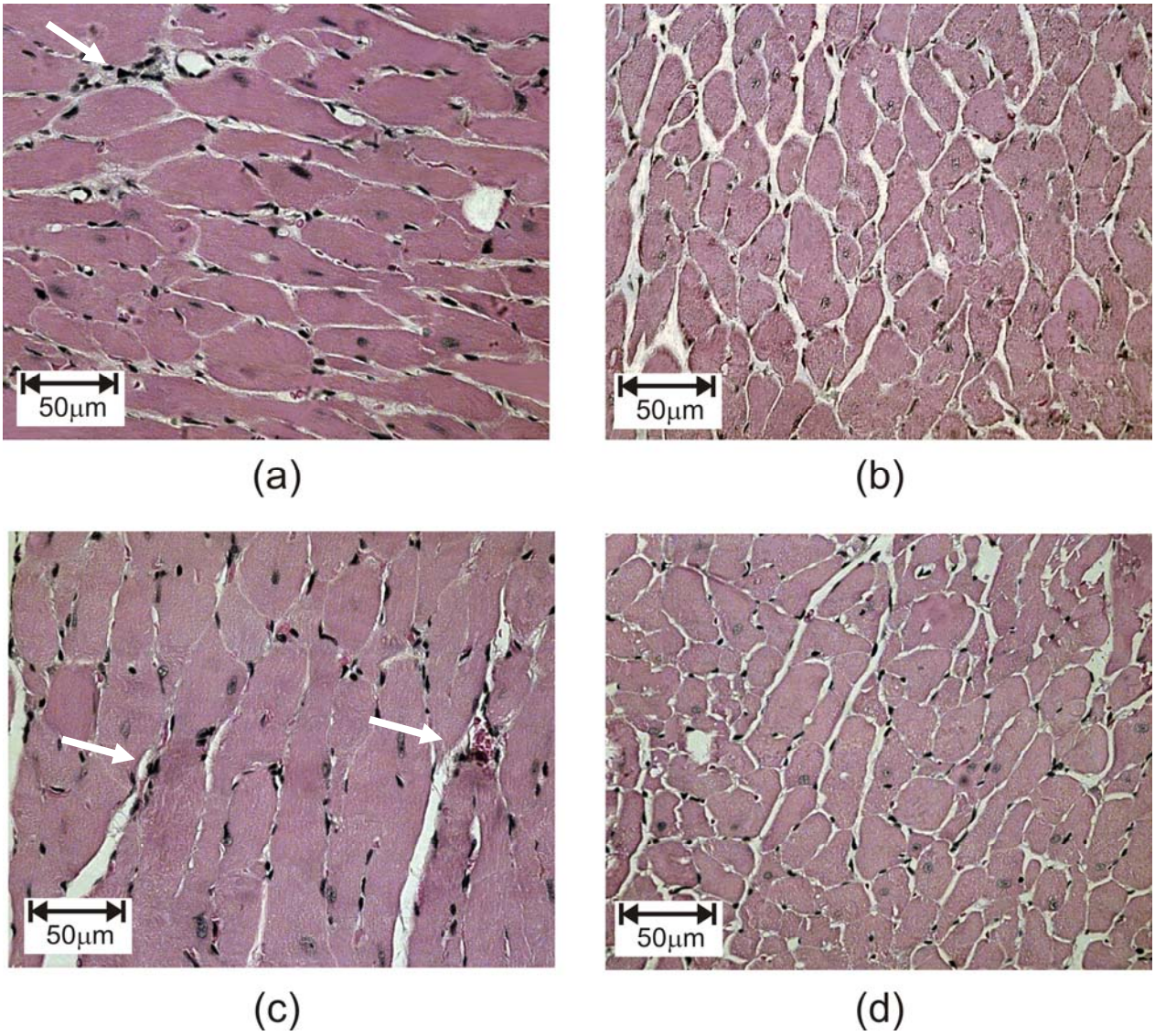


Figura 71 – Fotomicrografias de cortes transversais do miocárdio do ventrículo esquerdo de SHR. Os cortes foram corados com hematoxilina e eosina. Todas as fotomicrografias tiveram o mesmo aumento. (a) Grupo Controle 7; (b) Grupo Goma 7; (c) Grupo Controle 9; (d) Grupo Goma 9. As setas brancas indicam locais com fibrose intramiocárdica

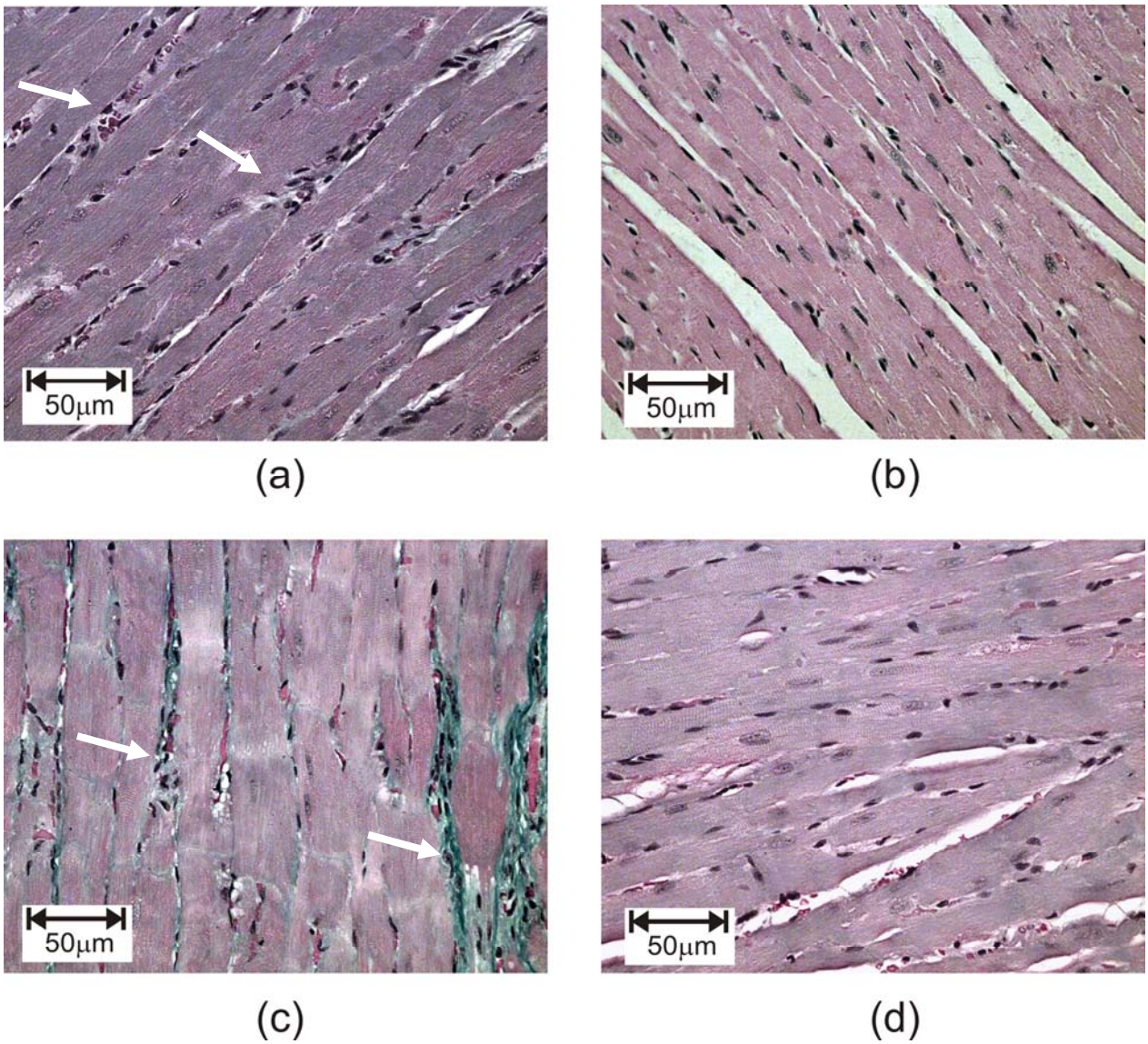


Figura 72 – Fotomicrografias de cortes longitudinais do miocárdio do ventrículo esquerdo de SHR. Os cortes foram corados com coloração de Masson. Todas as fotomicrografias tiveram o mesmo aumento. (a) Grupo Controle 7; (b) Grupo Goma 7; (c) Grupo Controle 9; (d) Grupo Goma 9. As setas brancas indicam locais com fibrose intramiocárdica

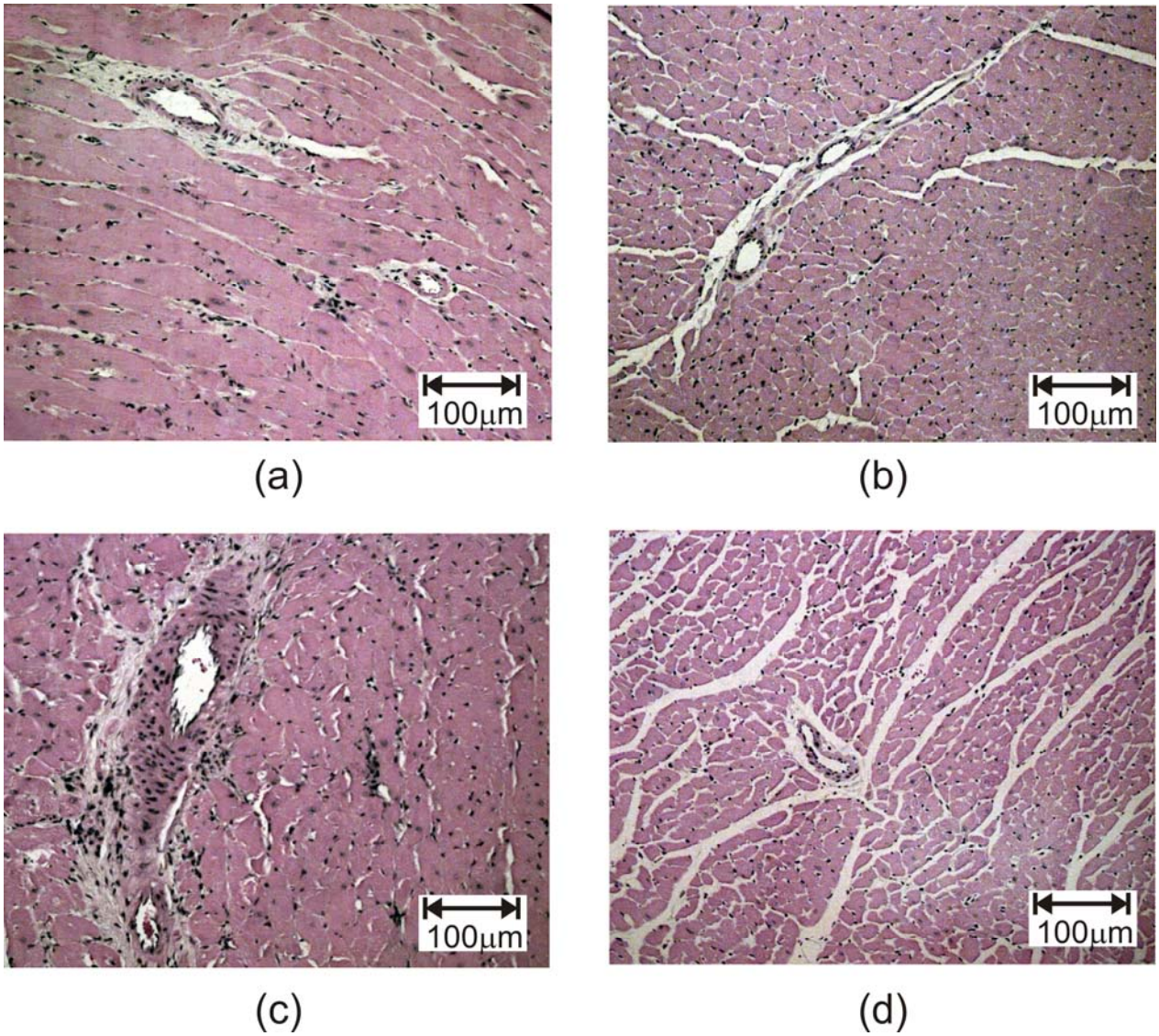


Figura 73 – Fotomicrografias do miocárdio do ventrículo esquerdo de SHR. Os cortes foram corados com hematoxilina e eosina. Todas as fotomicrografias tiveram o mesmo aumento. (a) Artérias intramiocárdicas dos ratos do grupo Controle 7; (b) Artérias intramiocárdicas dos ratos do grupo Goma 7; (c) Artérias intramiocárdicas dos ratos do grupo Controle 9; (d) Artérias intramiocárdicas dos ratos do grupo Goma 9

9.4 - SANGUE

9.4.1 - Análise Térmica

A curva TG do sangue dos ratos do grupo Goma 7 mostrou dois estágios de decomposição, conforme apresentado na Figura 74. O primeiro estágio com aproximadamente 75% de perda de massa ocorreu até 140°C sugere a presença de água com eletrólitos. No segundo estágio, verificou-se 9% de perda de massa em Tonset=290°C, sugerindo a presença de carboidratos e de proteínas plasmáticas. O sangue dos ratos do grupo Controle 7 também apresentou dois eventos endotérmicos: o primeiro estágio com 80% de perda de massa até 120°C, e o segundo com Tonset=270^{0}C. O grupo Goma 7 apresentou um sangue mais estável do que do grupo Controle 7. Ambas as curvas apresentaram, em 700°C, 4,7% de resíduos.

A sobreposição das curvas DTG, mostrada na Figura 75, mostra que sangue dos ratos do grupo Goma 7 apresentou três estágios de degradação em T_{pico1}=75°C, T_{pico2}=120°C e T_{pico3}=320°C, enquanto que o grupo Controle 7 apresentou apenas dois em T_{pico1}=85°C e T_{pico2}=320°C. A degradação de massa com velocidade máxima ocorreu em torno de 80°C, para ambos os grupos e pode-se observar que o pico referente aos eletrólitos (T_{pico}=120°C) não aparece no grupo controle.

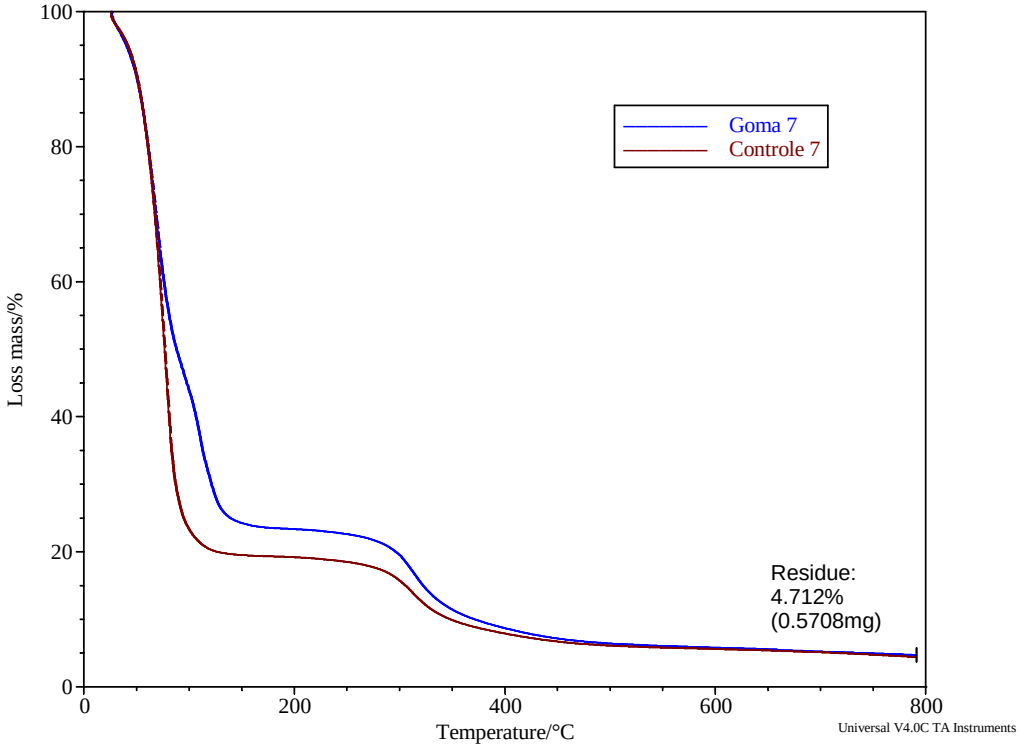


Figura 74 – Sobreposição das curvas de TG do sangue de ratos do grupo Goma 7 e do grupo Controle 7

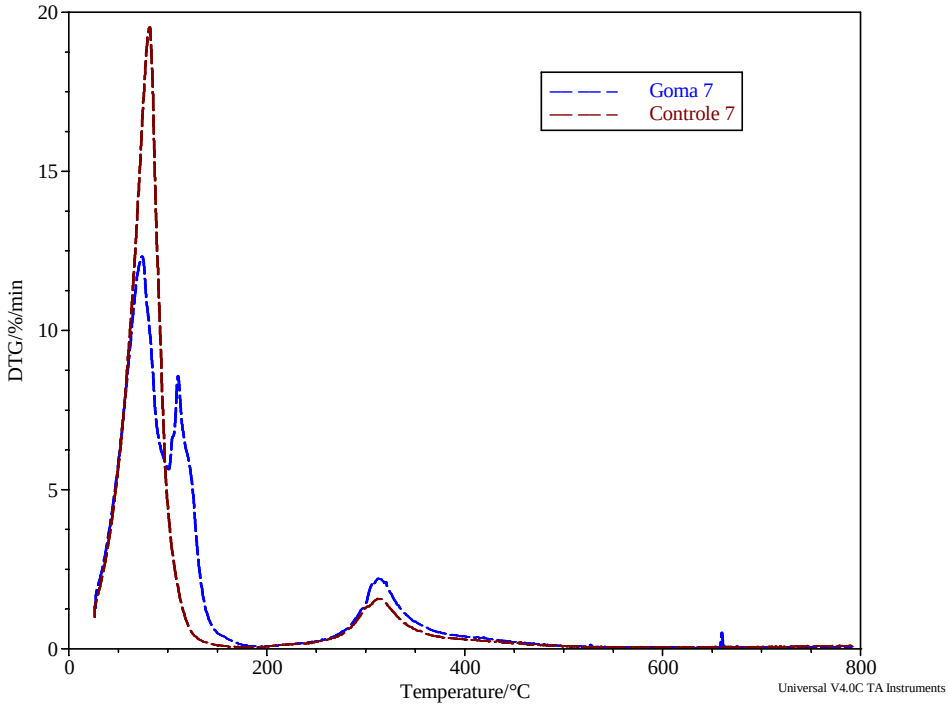


Figura 75 – Sobreposição das curvas de DTG do sangue de ratos do grupo Goma 7 e do grupo Controle 7

Capítulo 10 – CONCLUSÕES

1) A goma de cajueiro utilizada neste estudo é um heteropolissacarídeo formado por um conjunto de polissacarídeos de diferentes massas molares, que podem ser fracionados por simples precipitação em álcool etílico.

2) A goma e as frações de diferentes massas apresentam o principal estágio de decomposição em 280°C (T_{onset}), característico dos polissacarídeos. Porém, os comportamentos térmicos são diferenciados em relação à quantidade de resíduos remanescentes em 700°C, à temperatura dos eventos endotérmicos (T_m) e às entalpias.

3) A goma de cajueiro e as frações da goma apresentam comportamento não newtoniano. A viscosidade para as frações de menor massa molar (40 e 50%) foi de 10 mPa/s, para a fração 60% foram de 15 mPa/s e para a fração 70% foram de 22 a 30 mPa/s.

4) Foi possível observar grupamentos característicos dos polissacarídeos em espectroscopia na região do infravermelho (FTIR) e a ausência de grupamentos presentes nos óleos e gorduras.

5) Na concentração utilizada (500 mg/kg) neste trabalho, a goma de cajueiro não provocou distúrbios gastrintestinais (diarréia), nem o emagrecimento nos SHR.

6) A variação da pressão arterial (PA) sistólica com a ingestão de goma de cajueiro foi tempo-dependente. A pressão arterial diminui lentamente, até que no fim da vigésima quinta semana de experimento, o grupo que ingeriu goma de cajueiro apresentou níveis de PA 20% menores do que o grupo controle. Esta da diminuição da pressão arterial não foi suficiente para que fossem atingidos níveis sistólicos normais (130 mmHg para ratos), porém sugere o potencial da goma de cajueiro como um polissacarídeo dietético hipotensor arterial e promotor do sistema cardiovascular.

7) A análise térmica mostrou-se uma ferramenta interessante na avaliação do coração dos ratos SHR. Os resultados mostraram diferenças significativas no teor de resíduos presentes (em 800°C) no miocárdio do ventrículo esquerdo dos ratos de diferentes grupos. Houve também diferenças entre a quantidade de resíduos presentes no coração de indivíduos com diferentes idades, sendo que os indivíduos mais idosos apresentaram maior quantidade de resíduos no miocárdio ventricular.

8) O miocárdio ventricular esquerdo dos ratos que ingeriram goma de cajueiro por um longo tempo apresentaram maiores energias de ativação e ordens de reação menores do que a dos ratos dos grupos controle.

9) Neste estudo a pressão arterial, o volume do ventrículo esquerdo e o número de cardiomiócitos foram significativamente afetados pela ingestão de goma de cajueiro, considerado uma fibra dietética. Os resultados obtidos sugerem o possível efeito benéfico da goma de cajueiro relativo à diminuição da PA e ao retardamento da hipertrofia cardíaca em ratos espontaneamente hipertensos (SHR).

10) As fotomicrografias dos miocárdios ventriculares dos ratos SHR mostraram maior remodelamento cardíaco nos ratos do grupo controle, que apresentaram células alongadas ricas em fibrose intramiocárdica, havendo inclusive necrose em alguns casos. As células dos ratos gavados com goma de cajueiro apresentaram estrutura com pouca hipertrofia e finas camadas de colágeno intramiocárdico, indicando o efeito positivo da goma em relação à preservação da estrutura do miocárdio.

11) A análise térmica também mostrou ser uma ferramenta interessante na análise do sangue dos ratos. Os sangues dos ratos que apresentaram menores valores de PA mostraram-se ligeiramente mais estáveis.

Capítulo 11 – SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

1) Fracionar ainda mais a goma de cajueiro e caracterizar as frações.

2) Analisar o efeito da goma de cajueiro sobre a aorta, as carótidas comuns e outros vasos periféricos de SHR.

3) Analisar o efeito da goma de cajueiro sobre os rins de SHR.

4) Estudar os efeitos da ingestão de concentrações maiores de goma de cajueiro em SHR.

5) Estudar os efeitos da ingestão de apenas certas frações da goma em SHR e avaliar a relação entre massa molar da fração e efeito terapêutico.

6) Fazer testes de laboratório para analisar mudanças na resposta glicêmica.

7) Estudar as proteínas do coração por Ressonância Magnética Nuclear.

8) Testar a goma em culturas *in vitro*.

9) Iniciar o estudo em ratos espontaneamente hipertensos logo após o desmame.

Capítulo 12 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADA REPORTS. **Position of the American Dietetic Association: Functional Foods.** Journal of the American Dietetic Association, 104, p.814-826, 2004.

AGUIAR, G. M. **Estudo de Problemas Brasileiros. Universidade Federal do Pernambuco.** 1971. Imprensa Universitária. Recife. p.161-166.

AGUIAR, L. P.; ALVES, R. E.; LIMA, D. P. *et al.* **Carotenóides totais em pedúnculos de clones de caju anão precoce (*Anacardium occidentale L.* var. *nanum*).** XVII Congresso Brasileiro de Ciências e Tecnologia de Alimentos. Fortaleza – CE, p. 555, 2000.

AGUILA, M.B.; MANDARIM-DE-LACERDA, C.A. **Blood pressure, ventricular volume and number of cardiomyocyte nuclei in rats fed for 12 months on diets differing in fat composition.** Mechanisms of Aging and Development, 122, p.77-88, 2001a.

AGUILA, M.B.; MANDARIM-DE-LACERDA, C.A. **Myocardial Stereological Adaptations in Wistar Rats Fed with Different High-Fat Diets during 18 Months.** J. Nutr Sci Vitaminol, 47, p.387-393, 2001b.

AGUILA, M.B.; MANDARIM-DE-LACERDA, C.A. **Heart and Blood Pressure Adaptations in Wistar Rats fed With Different High-Fat Diets for 18 Months.** Nutrition, 19, p.347-352, 2003.

AGUILA, M.B.; PINHEIRO, A.R.; MANDARIM-DE-LACERDA, C.A. **Spontaneously hypertensive rats left ventricular cardiomyocyte loss atenuattion through different dible oils long term intake.** International Journal of Cardiology, 100, p.461-466, 2005.

AKINPELU, D.A. **Antimicrobial activity of Anarcadium occidentale bark.** Fitoterapia, 72, p. 286-287, 2001.

AHA - AMERICAN HEART ASSOCIATION. **Heart Disease and Stroke Statistics – 2004 Update**, 2004 – Disponível em: http://www.americanheart.org – Acesso em: 12 de jul.de 2004.

ANDERSON, D.M.W.; BELL, P.C. **Structural analysis of the gum polysaccharide from Anacardium occidentale.** Analytica Chimica Acta, 79, p.185-197, 1975.

ARAÚJO, J.M.A. **Química de alimentos – Teoria e prática.** 2004. Editora UFV, Viçosa, MG. 3ª edição. 478p.

ARAÚJO, J.P.P.de; SILVA, V.V.da. **Cajucultura: Modernas Técnicas de Produção.** EMBRAPA – CNPTA, p. 23-67, 1995.

ASSUNÇÃO, R. B.; MERCADANTE, A. Z. **Caju in natura (*Anacardium occidentale L.*) – carotenóides e vitamina C**. XVII Congresso Brasileiro de Ciências e Tecnologia de Alimentos. Fortaleza – CE, p. 5.101, 2000.

ASSUNÇÃO, R.B.; MERCADANTE, A.Z. **Carotenoids and ascorbic acid from commercial products of cashew apple (*Anacardium occidentale* L.)**. Journal of Food Composition and Analysis. Food Chemistry, 81, p.495-502, 2003a.

ASSUNÇÃO, R.B.; MERCADANTE, A.Z. **Carotenoids and ascorbic acid composition from cashew apple (*Anacardium occidentale* L.): variety and geographic effects**. Food Chemistry, 81, p.495-502, 2003b.

ASTRUP, A. **Dietary fat and obesity: still an important issue.** Scandinavian Journal of Nutrition. 27, n. 2, p.50-57, 2003.

AZEVEDO, A. D de. **Propriedades reológica e térmica de emulsões a partir de "leite de soja".** 2002. Dissertação de mestrado. Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. Orientação: Cheila G. Mothé (EQ/UFRJ) e Rosemar Antoniassi (CTAA/EMBRAPA).

AZEVEDO, A. D. de.; CORREIA, D.Z.; ANTONIASSI, R.; MOTHÉ, C.G. **Estudo do comportamento reológico e da estabilidade de emulsão à base de leite de soja utilizando diferentes tipos de gomas comerciais e a goma de cajueiro.** 4º Simpósio Latino Americano de Ciência de alimentos (SLACA), Campinas, SP, p. 231, 12-15 nov., 2001.

BARBOSA, J.M. **Cajueiro**. Inventores brasileiros. Fitoterápicos. Disponível em: http://planeta.terra.com.br/educacao/inventabrasil/cajuei.htm - Acesso em: 14 de julho de 2004.

BAZZANO, L.A.; HE, J.; OGDEN, L.G.; *et al*. **Dietary fiber intake and reduced risk of coronary heart disease in US Men and Women**. Archieves of Internal Medicine, 163, p.1897-1904, 2003.

BLOOM, W.; FAWCETT, D.W. **A Textbook of Histology.** 1969. Philadelphia: W. B. Saunders Company. 9ª ed.

BOBBIO, F.O.; BOBBIO, P.A. **Introdução à química de alimentos.** 2003. Editora Varela, São Paulo. 3ª edição. 238p.

BONNICI, T. **Encontros coloniais na literatura de viagens no Brasil do século XVI.** Mimesis, Bauru, 21, n. 1, p. 07-24, 2000.

BORCHARDT, H.J.; DANIELS, F. **The application of differential thermal analysis to the study of reactions kinetics.** Journal of American Chemical Society, 79, p.41-46, 1956.

BORDERIAS, A.J.; SANCHEZ-ALONSO, I.; MATEOS-PEREZ M. **New applications of fibers in foods: Addition to fishery products.** Trends in Food Science; Technology, 16, p.458-465, 2005.

BOTELHO, M.L.; PARENTE, J.P.; MOTHÉ C.G. **Goma de cajueiro – Polissacarídeo para a indústria de alimentos.** II Simpósio Latino Americano de Ciência de alimentos (SLACA), 341, Campinas, SP, 10-14 nov., 1997.

BOTELHO, M.L.R., 1999. **Propriedades físico-químicas do exsudato de Anacardium occidentale L. para a indústria de alimentos**. Dissertação de mestrado. Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. Orientação: Cheila G. Mothé (EQ/UFRJ) e Léa Lopes (IMA/UFRJ).

BROWNLEE, I.A.; ALLEN, A.; PEARSON, J.P.; *et al.* **Alginate as a source of dietary fiber.** Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 45, p. 497-510, 2005.

CALAZANS, G.M.T. **Produção de levanas para uso clínico.** 1997. Tese de doutorado. Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.

CÂNDIDO, L.M.B.; CAMPOS, A.M. **Alimentos para fins especiais: DIETÉTICOS.** 1996. Editora Varela, São Paulo. 1ª edição. 423p.

CAPITA, R.; ALONSO-CALLEJA, C**. Intake of nutrients associated with na increased risk of cariovascular disease in Spanish population.** Journal of Food Sciences and Nutrition, 54, p. 57-75, 2003.

CAPOBIANCO, J.P. **Chave para o século XXI: Caju x Câncer.** Disponível em: http://www.mre.gov.br/cdbrasil/itamaraty/web/port/meioamb/biodiv/divbio/chsecxxi/caju/index.htm. Acesso em: 04 de agosto de 2005.

CARESTIATO T.; SILVA, S.P.S.; AGUILA, M.B.; MOTHÉ, C.G. **Envelhecimento e hipertensão arterial: o efeito da fibra de polissacarídeo como alimento funcional sobre o sistema cardiovascular de ratos espontaneamente hipertensos.** 6º Simpósio Latino Americano de Ciência de alimentos (SLACA), Campinas, SP, 07-10 nov., 2005.

CASTRO, I.A.; TIRAPEGUI, J.; BENEDICTO, M.L. **Effects of diet supplementation with three soluble polysaccharides on serum lipid levels of hypercholesterolemic rats**. Food Chemistry, 80, p.323-330, 2003.

CECCHI, H. M.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. **Carotenoid composition and vitamin A of fresh and pasteurized cashew apple (*Anacardium occidentale L.*) juice.** Journal of Food Science, 46, p.147-149, 1981.

CIENFUEGOS, F. **Análise Instrumental - Espectroscopia de absorção no infravermelho.** Revista Química e Derivados. Disponível em: **http://www.quimica.com.br/revista/qd413/analise_instrumental1.htm.** Acesso em: 13 abr. 2006.

CHARALAMPOPOULOS, D.; WANG, R.; PANDIELLA, S.S.; WEBB, C. **Application of cereals and cereal components in functional foods: a review.** International Journal of Food Microbiology, 79, p. 131-141, 2002.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Castanha-de-caju – Dados Conjunturais,** fev, 2004. Disponível em: http://www.conab.gov.br. Acesso em: 03 ago. 2005.

CORREIA, D.Z., 2002. **Comportamento reológico e térmico de blendas de gomas de cajueiro/xantana em suco de caju.** Dissertação de mestrado. Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. Orientação: Cheila G. Mothé (EQ/UFRJ).

COSTANZO, l.S. **Fisiologia**. 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004. 464p.

DEUS, P.S de. **Conjunturas agropecuárias**. CONAB. 2005. Disponível em: http://www.conab.gov.br . Acesso em: 04 de agosto de 2005.

DUKE, J.A. **Handbook of Energy Crops.** Unpublished. 1983. Disponível em: http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/Anacardium_occidentale.html. Acesso em: 25 de agosto de 2004.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Caju (CNPCa). **Produtos e derivados do cajueiro.** Boletim informativo. Fortaleza, Ceará, 1992.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Agroindústria Tropical (CNPAT). **Cajueiro-anão-precoce.** Boletim informativo. Fortaleza, Ceará, 1993.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Disponível em: http://www.embrapa.br/pesquisa/tecnolog/gomcaj.htm - Acesso em: 21 de outubro de 2002.

FANÒ, G. **Logiche e consequenze dell' attivitá muscolare: un'analisi sintética meccanismi che portano allá fática.** Disponível em: http://www.benessere.com/fitness_e_sport/imagens/fatica-sport.htm. Acesso em: 5 jul. 2004.

FIGUEIREDO, R.W.de; LAJOLO, F.M.; ALVES, R.E.; *et al*. **Physical-chemical cahnges in early dwarf cashew pseudofruits during development and maturation**. Food Chemistry, 77, p.343-347, 2002.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Disponível em: http://www.fao.org. Acesso em: 05 de agosto de 2005.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Food and fruit-bearing forest species. Exemples from Latin America.** Rome. 1986.

FORMAN, D.E.; CITTADINI, A.; AZHAR, G.; *et al.* **Cardiac Morphology and Function in Senescent Rats: Gender-Related Differences.** JAAC, 30, n.7, p.1872-1877, 1997.

FRANÇA, F. M. C.; CARVALHO, E. B. S. **Análise da competitividade internacional do istema agroindustrial do caju brasileiro**. Revista Econômica do Nordeste, v. 28, n° 1, p. 51-61, jan/mar, 1997.

FREIRE, F.C.O.; CARDOSO, J.E.; dos SANTOS A.A.; *et al.* **Diseases of cashew nut plants (*Anacardium occidentale* L.) in Brazil.** Crop Protection, 21, p.489-494, 2002.

FREITAS, K.C.; MOTTA, M.E.F.A.; AMÂNCIO, O.M.S. *et al*. **Efeito da fibra de polissacarídeo de soja no peso e na umidade das fezes de ratos em fase de crescimento.** Jornal de Pediatria, 80 (3), p.183-188, 2004.

GARTNER, L.P.; HIATT, J.L. **Color Textbook of Histology.** 1997. Philadelphia: W. B. Saunders Company.

GIBSON, G.R. **Fibre and effects on probiotics (the prebiotic concept).** Clinical Nutrition Supplements, 1, p. 25-31, 2004.

GIRÃO, R. **História Econômica do Ceará.** 1947. Editora Instituto Ceará. Cap1.

GRAY, H. **Anatomy of the Human Body.** 2000. Disponível em: www.bartleby.com/107/. Acesso em: 17 mai. 2004.

HABIB, K.; BUTT, M.S. **Hypocholestrolemic and hypoglycemic effects of dietetic flour in rats.** Asia Pac. Clinical Nutrition, 12, Suppl:S22, 2003.

HAMID, A.A.; LUAN Y.S. **Functional properties of dietary fibre prepared from defatted rice bran.** Food Chemistry, 68, p. 15-19, 2000.

HODGSON, J.M. **Dietary fibre and blood pressure.** Journal of Hypertension, 22, p.25-26, 2004.

IKEDA, R.; TANAKA, H.; UYAMA, H.; *et al*. **Synthesis and curing behaviors of a crosslinkable polymer from cashew nut shell liquid.** Polymer, 43, p.3475-3481, 2002.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Tábuas completas de mortalidade**, 2001. Disponível em: http://www.ibge.gov.br – Acesso em 13 de jul. de 2004.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Quantidade produzida da lavoura permanente**, 2005. Disponível em: http://www.sidra.ibge.gov.br. Acesso em: 03 de junho de 2005.

JARDIM, A.R.; MOURA, J.F. de; SILQUEIRA, S.M.F. **A importância de uma assistência diferenciada ao cliente hipertenso visando à adesão ao tratamento proposto.** 8º Encontro de Extensão da UFMG, Belo Horizonte, 03 a 08 de out., 2005.

KAMTCHOUING, P.; SOKENG, S.D.; MOUNDIPA, P.F.; *et al.* **Protective role of *Anacardium occidentale* extract against streptozotocin-induced diabetes in rats.** Journal of Ethnopharmacology, 62, p.95-99, 1998.

KING, E.K.; MAINOUS, A.G.; EGAN, B.M.; *et al*. **Fiber and C-reactive protein in diabetes, hypertension and obesity.** Diabetes care, 28, p.1487-1489, 2005.

KISSINGER, H.E. **Reaction kinetics in differential thermal analysis.** Analytical Chemistry, 29, p.1702-1706, 1957.

KU MEDICAL CENTER. The University of Kansas Medical Center, Department of Anatomy and Cell Biology. Disponível em: http://www.kumc.edu/instruction/medicine/anatomy/histoweb/muscular/muscular.htm. Acesso em: 6 jul. 2004.

KUBO, I.; OCHI, M.; VIERIA, P.C.; KOMATSU, S. **Antitumor Agents from the Cashew (Anacardium occidentale) Apple Juice.** J. Agric. Food Chem, v.41, p.1012-1015, 1993.

KUDI, A.C.; UMOH, J.U.; EDUVIE, L.O.; *et al.* **Sceening of some Nigerian medicinal plants for antibacterial activity**. Journal of Ethnopharmacology, 67, p. 225-228, 1999.

LAIRON, D.; ARNAULT, N.; BERTRAIS, S.; *et al*. **Dietary fiber intake and risk factors for cardiovascular disease in French adults.** American Journal of Clinical Nutrition, 82(6), p.1185-1196, 2005.

LIMA C.A.A.; PASTORE G.M.; LIMA E.D.P.A. **Estudo da atividade antimicrobiana dos ácidos anacárdicos do Óleo da casca da castanha de caju (CNSL) dos clones de cajueiro – anão – precoce CCP - 76 e CCP-09 em cinco estágios de maturação sobre microrganismos da atividade bucal**, Ciência e Tecnologia de Alimentos, v.20, p. 358-362, 2000.

LIRA, M. L.; ALDRIGUE, M. L. **Determinação de vitamina C total (AA e DHAA) em caju (*Anacardium occidentale L.*) em diferentes estágios de maturação.** XVII Congresso Brasileiro de Ciências e Tecnologia de Alimentos. Fortaleza – CE, p. 5.1, 2000.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil.** 4ed., Instituto Plantarum, 2004. Disponível em: http://www.plantarum.com.br/cajueiro.html – Acesso em: 12 jul. de 2004.

MACHADO, C.A. **Plano de reorganização da atenção à hipertensão arterial e ao diabetes mellitus.** Revista ABESO, 8. Disponível em: http://www.abeso.org.br/revista/revista8/hiper.htm. Acesso em: 16 fev. 2006.

MACHADO, O. **A Ação Curativa das Folhas Jovens do Cajueiro e a Vitamina C**. In Brasil Médico - 57 - Nº 1. 1943. Disponível em: http://www.chicomendes.marinter.com.br/cesamep/anacocci.htm. Acesso em: 14 de julho de 2004.

MACOSKO, C. W. **Rheology – Principles, Measurements, and Applications**. Wiley-VCH, New York, USA, 1994.

MAIA, J.G.S.; ANDRADE, E.H.A.; ZOGHBI, M.G.B. **Volatile constituents of leaves, fruits and flowers of cashew (*Anacardium occidentale* L.)**. Journal of food composition and analysis, 13, p.227-232, 2000.

MAIA, M.C.A; AMBIEL,C.; BOTELHO, M.L. AND MOTHÉ, C.G. **Estudo sobre o uso de carragena e goma de cajueiro em salsichas.** Revista Nacional da Carne, 253, p. 20-24, 1998.

MAIA, M.C.A; ARAÚJO, I.O. E MOTHÉ, C.G, **Comportamento térmico de polissacarídeos hidrossolúveis em salsichas**, 6º Simpósio Latino Americano de Ciência de alimentos (SLACA), 342, Campinas, SP, 10-14 nov., 1997.

MANDARIM-DE-LACERDA, C.A. **Anatomia do coração – clínica e cirúrgica.** 1990. Rio de Janeiro: Revinter, 134p.

MANDARIM-DE-LACERDA, C.A. **Métodos Quantitativos em Morfologia.** 1995. Rio de Janeiro: EDUERJ, 131p.

MANDARIM-DE-LACERDA, C.A. **Stereological tools in biomedical research.** *An. Acad. Bras. Ciênc.* [online]. Dec. 2003, vol.75, no.4 [cited 19 July 2004], p.469-486. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0001-37652003000400006&lng=en&nrm=iso ISSN 0001-3765. Pesquisa realizada em: 19 de jul. 2004.

MARTINS, F.G. **O Saber do Sabor - As plantas nossas de cada dia.** Capacitas editora. Disponível em: http://www.kembo.com.br/mundo_plantas/frutiferas_01.php. Acesso em: 10 de março de 2004.

MEDEIROS, F.J.; MOTHÉ, C.G.; AGUILA, M.B.; MANDARIM-DE-LACERDA, C.A. **Long-term intake of edible oils benefits blood pressure ans myocardial structure in spontaneosly hypertensive rat (SHR) and streptozotocin diabetic SHR.** Prostaglandins & other lipid mediadors, 78, p. 231-248, 2005.

MEDINA, J.C.; BLEINROTH, E.W.; BERNHARDT, L.W. *et al*. **Caju – da cultura ao processamento e comercialização.** 1978. Instituto de tecnologia de Alimentos, Campinas, SP.

MELO FILHO, J.R.T. **Fruticultura – Caju oferece emprego e renda nas longas estiagens.** Informativo técnico. Revista Gleba, out. 2002. Disponível em: http://www.cna.org.br/Gleba02/Out/ArtigoCaju.htm - Acesso em: 05 de janeiro de 2005.

MENESTRINA, J.M.; IACOMINI, M.; JONES, C.; *et al.* **Similarity of monosaccharide, oligosaccharide and polysaccharide structures in gum exudate of Anacardium Occidentale.** Phytochemistry, v.47, No.5, p.715-721, 1998.

MIURA, K.; NAKAGAWA, H. **Can dietary changes reduce blood pressure in the long term?** Current opinion in nephrology and hypertension, 14, p.253-257, 2005.

MOREIRA, Pe.A.A. **O cajueiro – vida, uso e estórias.** 2002. Fortaleza, Ceará. Editora Cristina Barbosa. 160p.

MORRISON, R.T.; BOYD, R.N. **Química Orgânica.** 1993. Editora Fundação Calouste Gulbenkian, Coimbra, Lisboa. 10ª edição da tradução em português. 1639p.

MOTHÉ, C.G. 1992. **Síntese, caracterização e estudo termoanalítico de resinas fenólicas a partir do Líquido da casca de Castanha de Caju (LCC)**. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP. Orientadores: Ivo Giolito e Chiaki Azuma (IQ/USP).

MOTHÉ, C.G.; AZEVEDO, A. D de. **Análise Térmica de Materiais.** 2002. iEditora, São Paulo.

MOTHÉ, C.G.; CASTRO, S.M.; GANEM, M.; CARESTIATO, T. **Potencialidade e Perspectivas do LCC obtido na agroindústria do caju.** Revista de Química Industrial, n. 708/709, p.19-23, 1996.

MOTHÉ, C.G.; CORREIA, D.Z.; MACIEL, R. **Thermal Behaviour of Vegetable Lipids**, In: IV CONGRESSO BRASILEIRO DE ANÁLISE TÉRMICA E CALORIMETRIA E II CONGRESSO PAN-AMERICANO DE ANÁLISE TÉRMICA E CALORIMETRIA, Poços de Caldas, Brasil, p. 15, 2004.

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

MOTHÉ, C.G.; RAO, M.A. **Thermal behavior of gum Arabic in comparison with cashew gum.** Thermochimica acta, 357-358, p.9-13, 2000.

MOTHÉ, C.G.; CARESTIATO, T.C.; ÁGUILA, M.B.; MANDARIM-DE-LACERDA, C.A. **Thermal behavior of the heart of SHR and Wistar rats.** Journal of Thermal Analysis and calorimetry, 80, p.429-433, 2005.

OLIVEIRA, V.H.; MONTENEGRO, A.A.T.; CARBAJAL, A.C.R.; *et al.* **Cultivo do Cajueiro.** Embrapa Agroindústria Tropical. Sistemas de Produção, 2003. Disponível em: http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/fontesHTML/caju/cultivodocajueiro - Acesso em: 14 jul. de 2004.

OLLIVETTI, G.; GIORDANO, G.; CORRADI, D.; *et al.* **Gender Differences and Aging: Effects on the Human Heart.** JAAC, v. 25, n.4, p.1068-1079, 1995.

PAULA, P.S.T.A., 2004. **Revestimento fenólico a partir de LCC para cerâmicos: síntese e caracterização.** Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, R.J. Orientação de Cheila Gonçalves Mothé.

PAULA, R. C. M. de; RODRIGUES, J. F. **Composition and rheological properties of cashew tree gum, the exudate polysaccharide from *Anacardium occidentale L.*** Carbohydrate Polymers, nº26, p.177-181, 1995.

PENNA, A.L.B. **Hidrocolóides – Usos em alimentos.** Food Ingredients, 17, p. 58-64, 2002.

PEREIRA, L.M.M. 2000. **Efeito de tratamentos anti-hipertensivos no coração de ratos com inibição crônica da síntese de óxido nítrico: biometria, alometria e estereologia.** Tese de doutorado. Centro Biomédico, Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.

PIMENTEL, C.R.M.; PESSOA, P.F.A.de P.; LEITE, L.A.de S. **Economia do caju**. 1998. *In*: SILVA, V.V. da. **Caju**. Cap 9. p. 214-220. EMBRAPA.

PIMENTEL, C.V.M.B.; FRANCKI, V.M.; GOLLÜCKE, A.P.B. **Alimentos Funcionais – Introdução às principais substâncias bioativas em alimentos.** 2005. Editora Varela, São Paulo. 95p.

PRADO, C.; PEREIRA, D.; MAGALHÃES, J.C.P, *et al.* **Grupos de ação agroindústria – Plataforma caju.** FIEC-SESI-SENAI-IEL Disponível em: http://www.sfiec.org.br/grupos_acao/agroindustria/default.htm#a2. Acesso em: 19 de maio de 2005.

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

RODRIGUEZ, F. **Principles of polymer Systems.** 2nd ed. McGraw-Hill Book Company, New York, 1984.

RODRIGUEZ, R.; JIMENEZ, A.; FERNANDEZ-BOLANOS, et al. **Dietary fibre from vegetable products as source of functional ingredients.** Trends in Food Science; Technology, 17, p. 3-15, 2006.

ROSS, M.H.; ROMRELL, L.J.; KAYE, G.I. **Histology – A Text and Atlas.** 1995. 2.ed. Philadelphia: Williams & Wilkins.

RUNNIE, I.; SALLEH, M.N.; MOHAMED, S.; *et al.* **Vasorelaxation induced by common edible tropical plant extracts in islated rat aorta and mesenteric vascular bed.** Journal of Ethnopharmacology. 92, p.311-316, 2004.

SAKAMOTO, L. **Sede de mudança**. Revista Superinteressante – Especial ecologia. dez. p.37-43, Brasil, editora abril, 2001.

SAUER, J.D. **Historical geography of crops plants – a select roster.** 1993. CRC Press, Boca Raton, Florida. Disponível em: http://www.museums.org.za/bio/plants/Anarcadiaceae/anacardium_occidentale.htm. Acesso em: 25 de agosto de 2004.

SCHRAMM, G. **A Pratical Aprproach to Rheology and Rheometry**. 2000. Gebrueder HAAKE, Karlsruke, Germany. 2nd ed.

SECEX - SECRETARIA DE COMÉRCIO EXTERIOR. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, 2005. Disponível em: http://aliceweb.desenvolvimento.gov.br. Acesso em: 13 de julho de 2005.

SIGA - SISTEMA DE INFORMAÇÃO GERENCIAL AGRÍCOLA. Disponível em: http://www.seagri.ce.gov.br. Acesso em: 13 de julho de 2005.

SUS - SISTEMA ÚNICO DE SAÚDE. **Informações de saúde.** Disponível em: http://www.datasus.gov.br. Acesso em: 16 fev. 2006.

SLAVIN, J.L.S.; **Dietary fiber and body weight.** Nutrition, 21, p.411-418, 2005.

SOLOMONS, T.W.G.; FRYHLE, C. **Química Orgânica.** 2002. Editora LTC. 7ª edição. Vol. 2. 504p.

SOUZA, R. C. R.; ANDRADE, C. T. Investigação dos processos de gelatinização e extrusão de amido de milho. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 10, nº 1, p. 24-30, 2000.

STATISTIK SENTRALBYRA. **Statistical Yearbook of Norway**. 2005. Disponível em: http://www.ssb.no. Acesso em: 16 fev. 2006.

TASSARA, H. **Frutas no Brasil.** 1996. Editora Empresa das Artes, São Paulo. Disponível em: http://www.alicesoftware.com/webs/trees/aweb/td001/td_00001.htm. Acesso em: 25 de agosto de 2004.

TAYLOR, L. **Herbal Secrets of the Rainforest**. 2nd ed., Square one publishers, inc. 2004. Disponível em: http://www.rain-tree.com/cajueiro.htm. Acesso em: 14 jul. de 2004.

THOM, T.; HAASE, N.; ROSAMOND W.; *et al*. **Heart Disease and Stroke Statistics - 2006 Update: A Report from the American Heart Association Statistics Committee and Stroke Statistics Subcommittee.** Circulation, 113, p.85-151, 2006.

TIOMNO, F.R. **Goma de cajueiro - Estudo químico e tecnológico.** Revista de Química Industrial, abr, p.23-25, 1946.

VAINIO, H.; MILLER, A.B. **Primary and secondary prevention in colorectal cancer.** Acta Oncologica, 42, n.8, p.809-815, 2003.

VALENTE, R.A. **Alimentos e seus valores.** Disponível em: http://www.lincx.com.br/lincx/saude_a_z/alimentos/fibras_alimentares.asp. Acesso em: 08 dez. 2005.

VILELA, A.L.M. **Anatomia e Fisiologia Humana**. 2004. Disponível em: http://www.afh.bio.br/basicos/Sustenta5.htm. Acesso em: 5 jul. 2004.

VORAGEN, A.G.J. **Technological aspects of functional food-related carbohydrates.** Food Science and Technology, 9, p.328-335, 1998.

WALSH, R.A. (interviewed by RUSSEL, R.O.) **Progression to Clinical Heart failure – Pressure overload.** CCC Current Journal Review. March/April, 1997.

WHELTON, S.P.; HYRE, A.D.; PETERSEN, B.; *et al*. **Effect of dietary fiber intake on blood pressure: a meta-analysis of randomized, controlled clinical trials.** Journal of Hypertension, 23, p. 475-481, 2005.

WILMORE, J.H.; COSTILL, D.L. **Fisiologia do esporte e do exercício.** 1990. 1 ed. brasileira. Tradução Dr. Marcos Ikeda. Editora Manole Ltda, São Paulo. 709p.

WHO - WORLD HEALH ORGANIZATION. **The World Health Report, 2003 – Shaping the Future.** Disponível em: http://www.who.int/whr/2003/en - Acesso em: 01 de jul. 2004.

ZAKARIA, M.B.; RAHMAN, Z.A. **Rheological properties of cashew gum.** Carbohydrate Polymers, v.29, n.1, p.25-27, 1996.

Sites pesquisados

http://info.med.yale.edu/intmed/cardio/imaging/anatomy/heart_anatomy/graphics/heart_anatomy.jpg. Acesso em: 22 fev. 2006

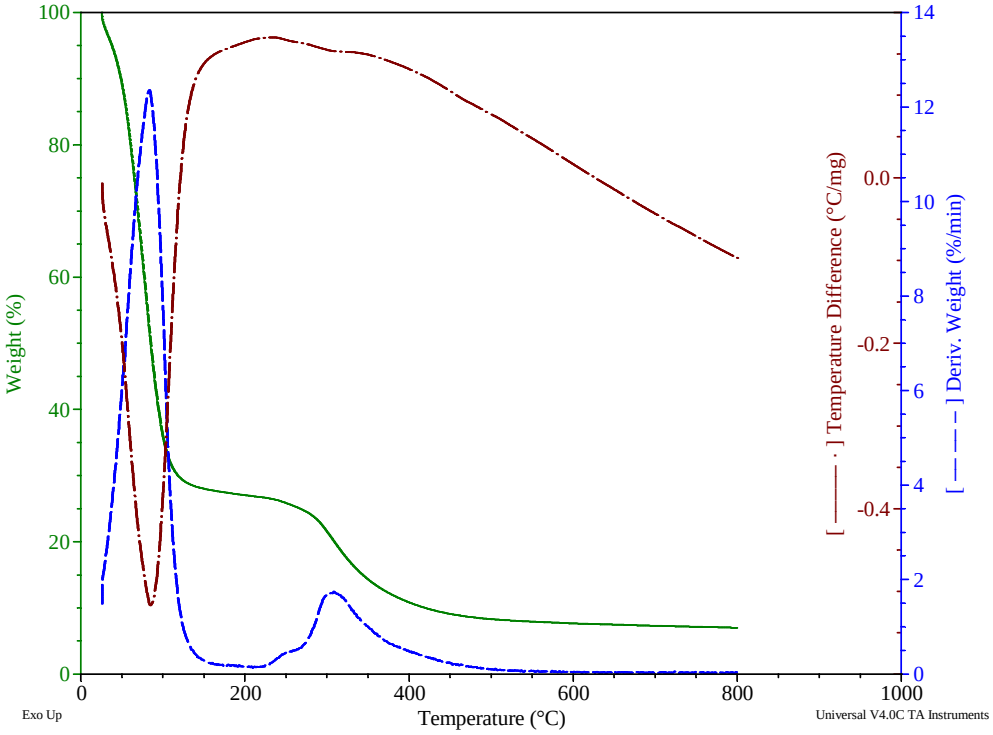
http://www.shands.org/images/ency/fullsize/8672.jpg. Acesso em: 22 fev. 2006

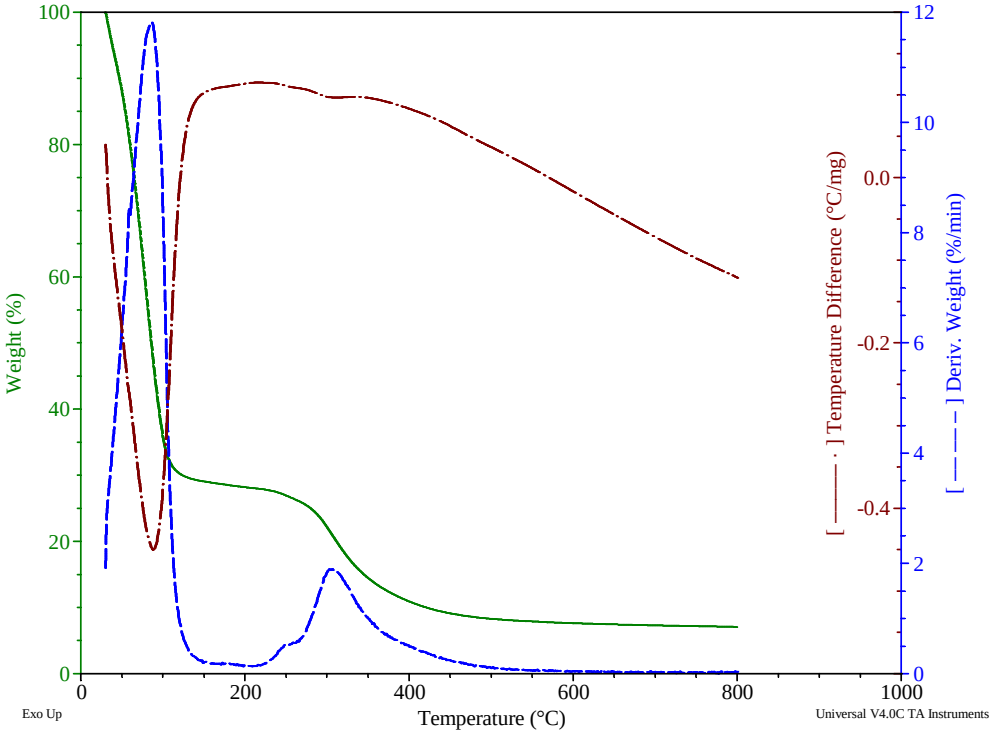
http://www.virtual.epm.br/materiais/tis/currbio/trab2000/cardiovasc/contratilidadecardiaca.htm. Acesso em: 5 jul. 2004.

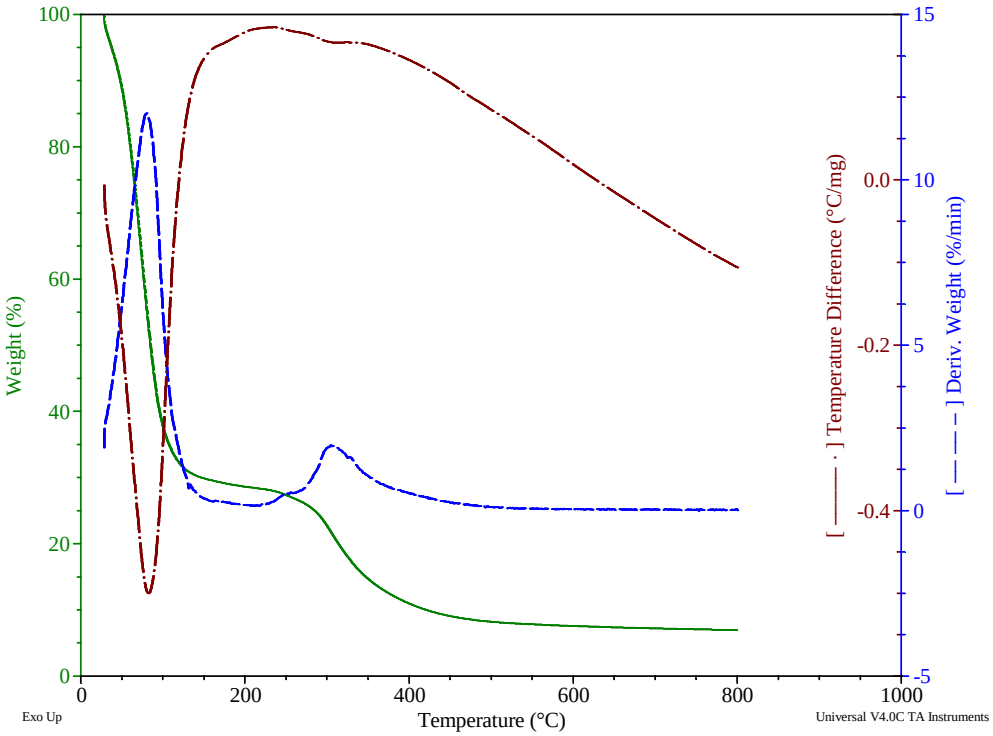
http://www.zygote.com/DF/ClipArt/Heart-Anatomy-Pictures/Heart-Anatomy-Pictures-12.jpg. Acesso em: 22 fev. 2006

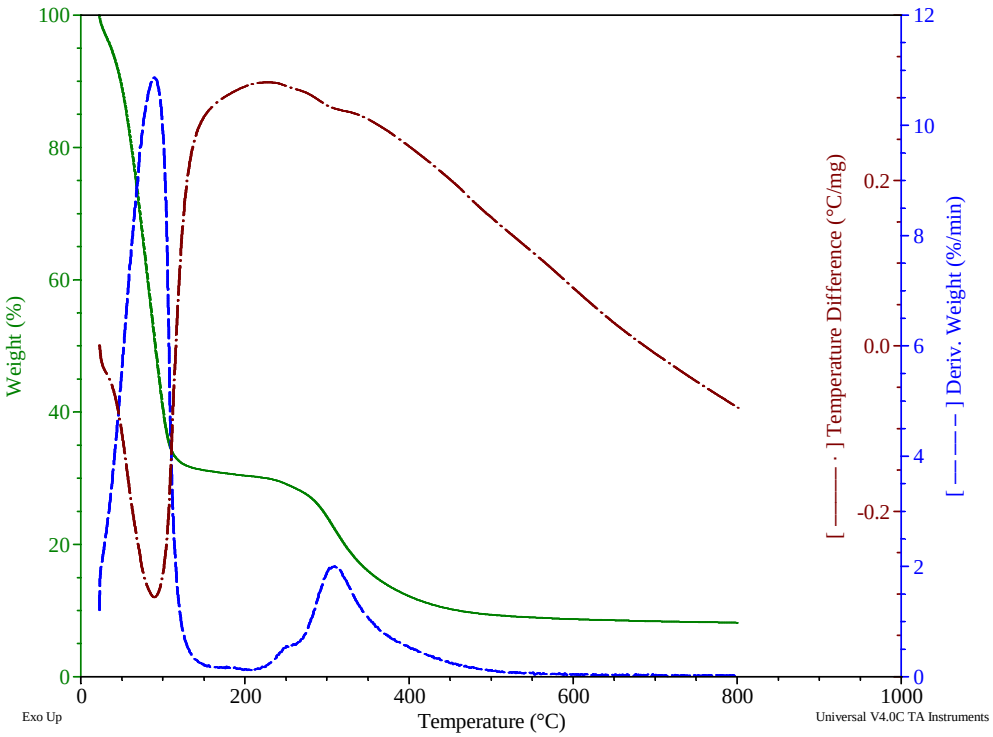
ANEXO 1 - ANÁLISE TÉRMICA

Curvas de TG, DTG e DTA de amostras de coração de ratos do grupo Controle 7.

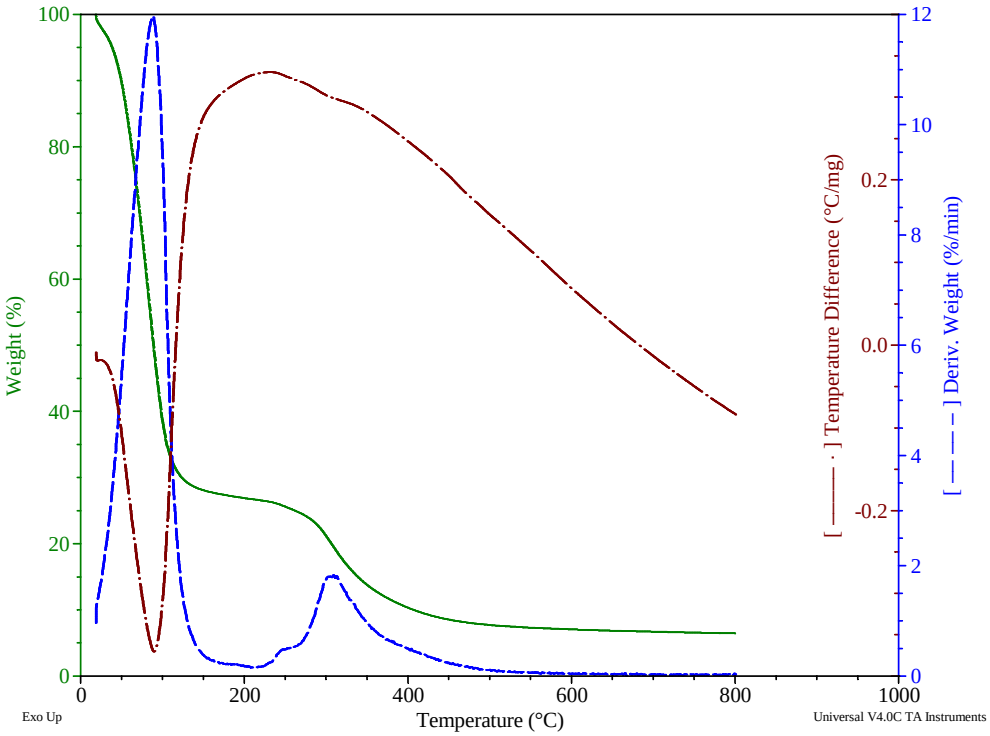


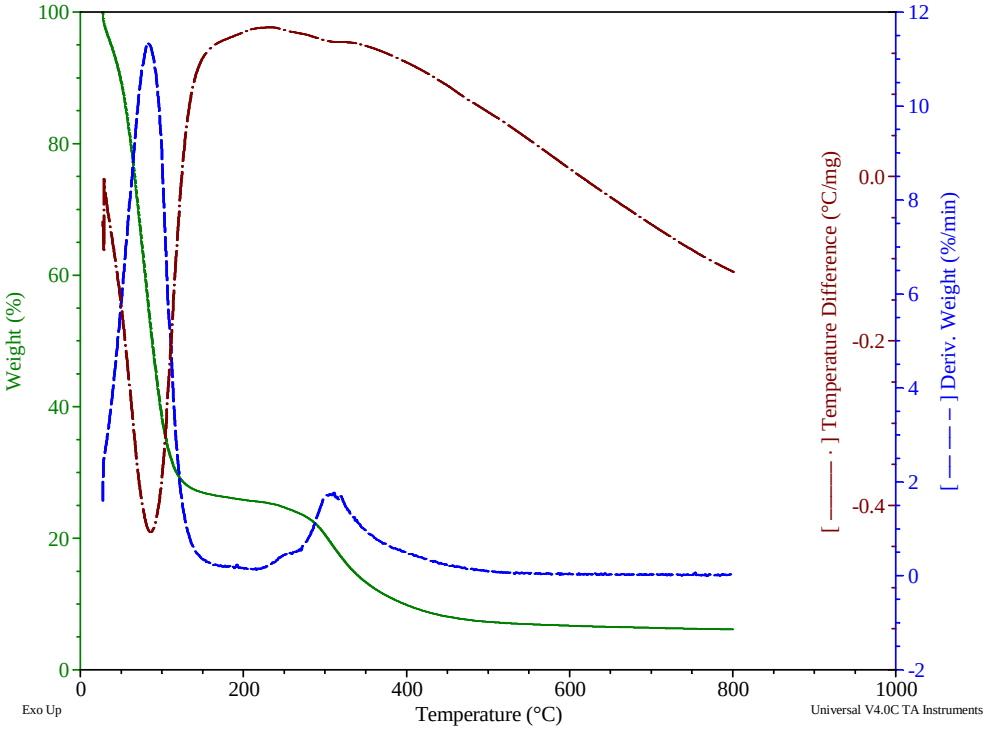


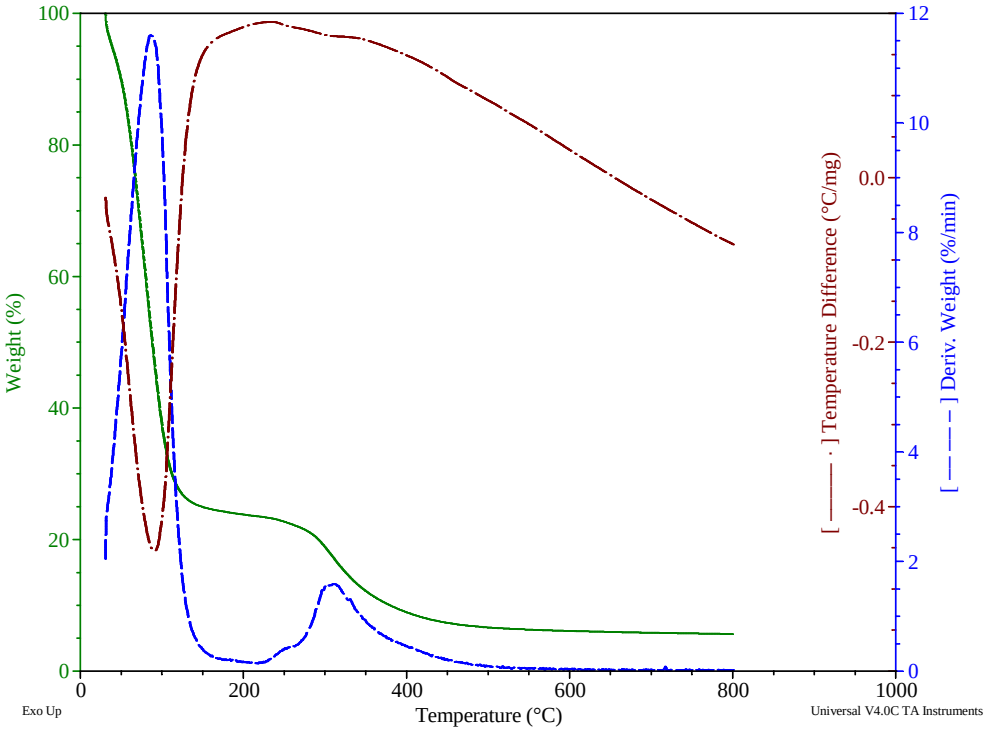

Weight (%)
[—— ·] Temperature Difference (°C/mg)
[— — –] Deriv. Weight (%/min)
Temperature (°C)
Exo Up
Universal V4.0C TA Instruments

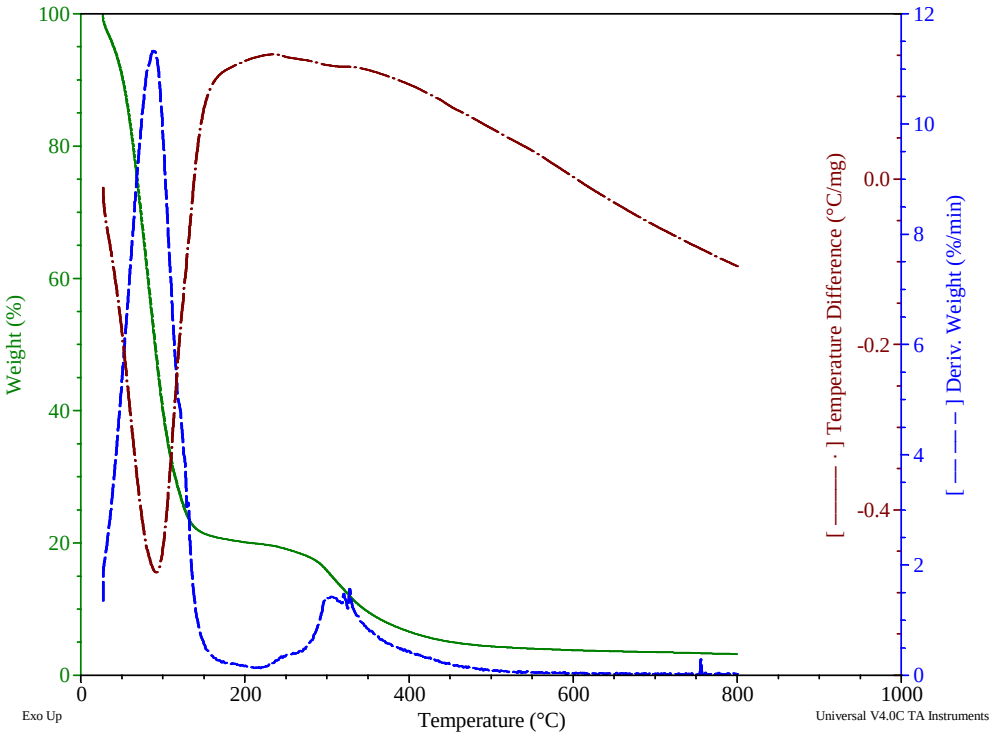

Weight (%)
[—— ·] Temperature Difference (°C/mg)
[— — –] Deriv. Weight (%/min)
Temperature (°C)
Exo Up
Universal V4.0C TA Instruments

Curvas de TG, DTG e DTA de amostras de coração de ratos do grupo Goma 7.

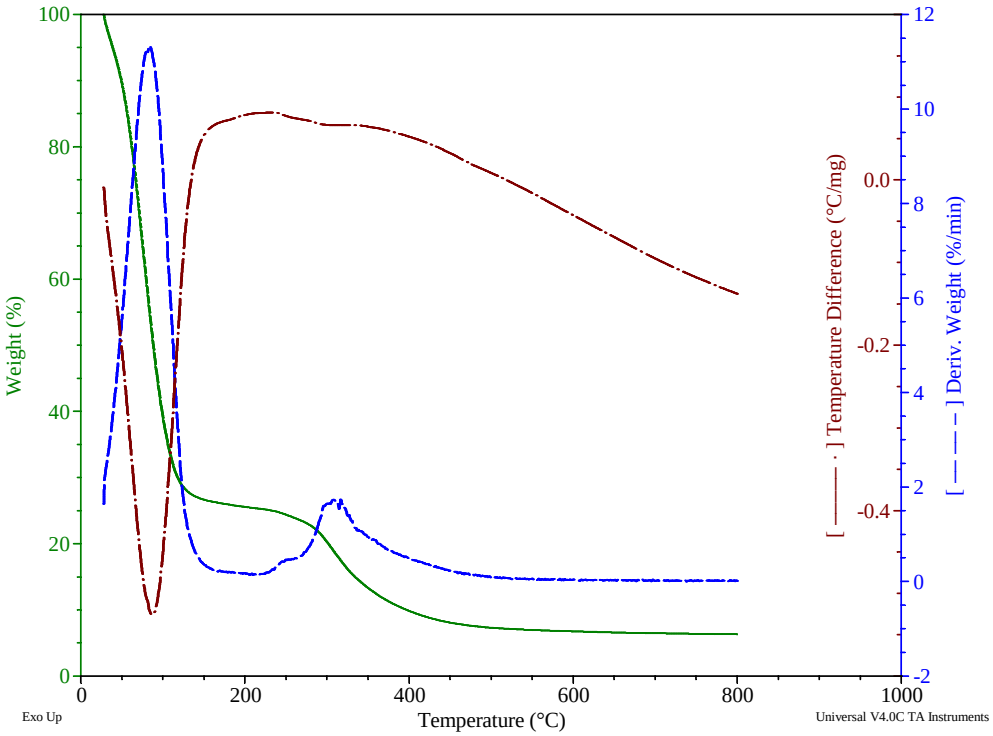


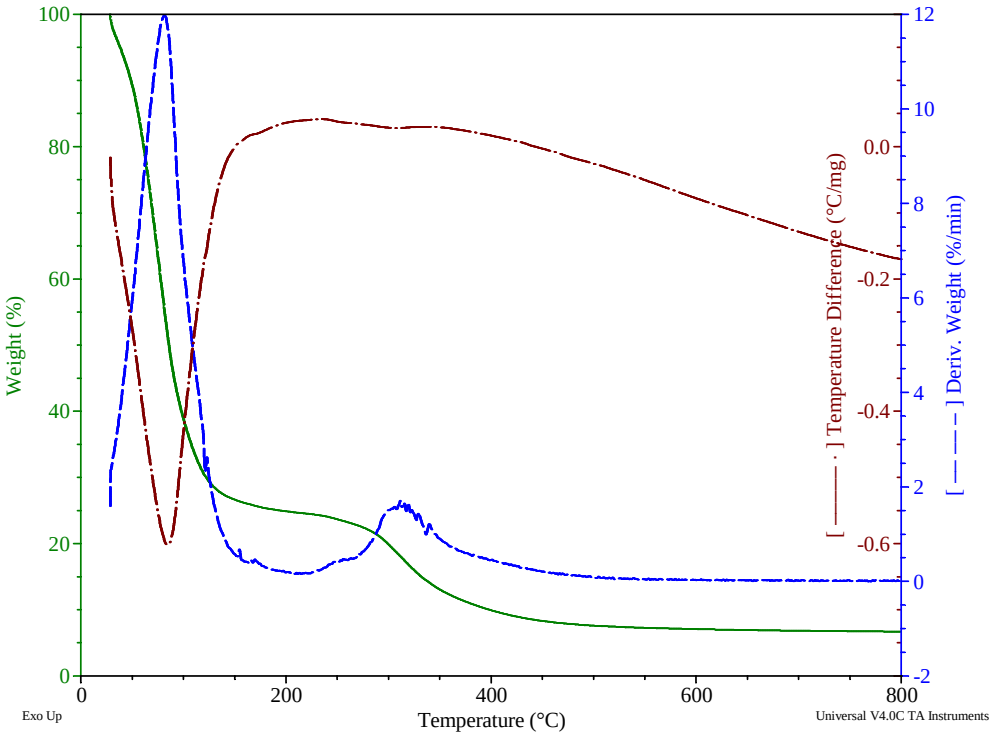


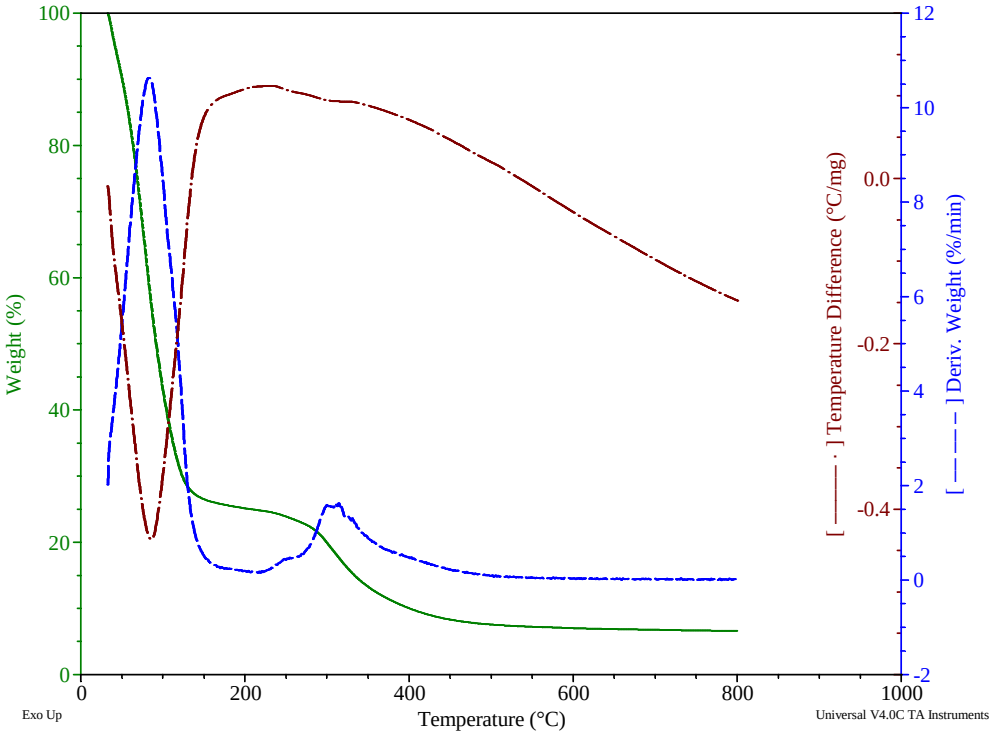

Weight (%)
[—— ·] Temperature Difference (°C/mg)
[— — –] Deriv. Weight (%/min)
Temperature (°C)
Exo Up
Universal V4.0C TA Instruments

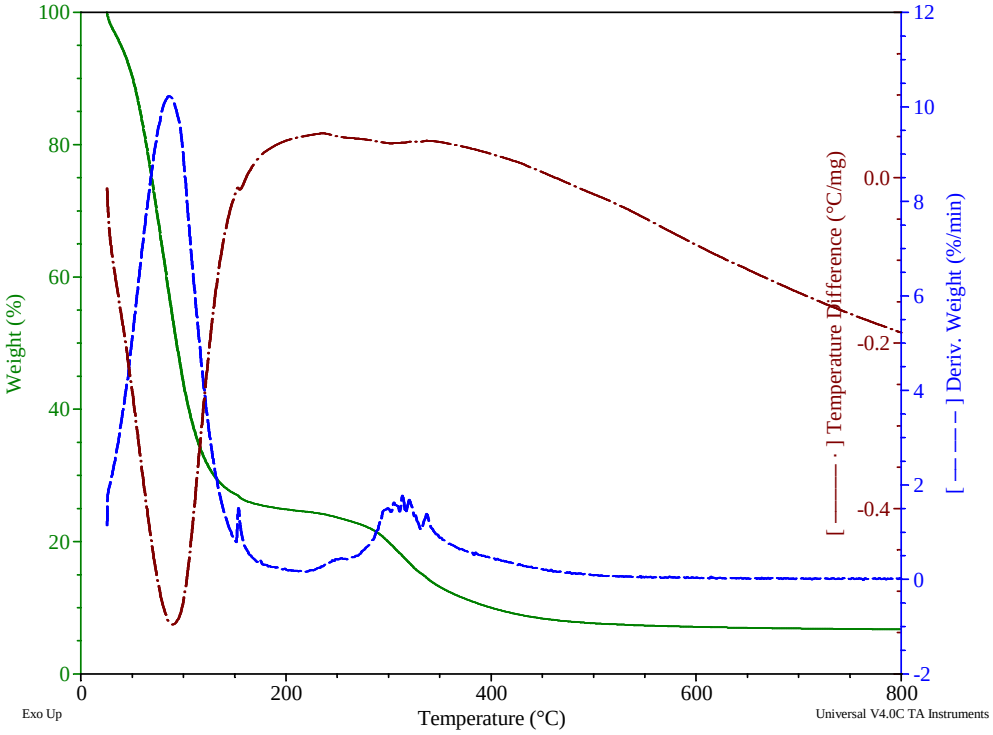

Weight (%)
[—— ·] Temperature Difference (°C/mg)
[— — –] Deriv. Weight (%/min)
Temperature (°C)
Exo Up
Universal V4.0C TA Instruments

Curvas de TG, DTG e DTA de amostras de coração de ratos do grupo Controle 9.

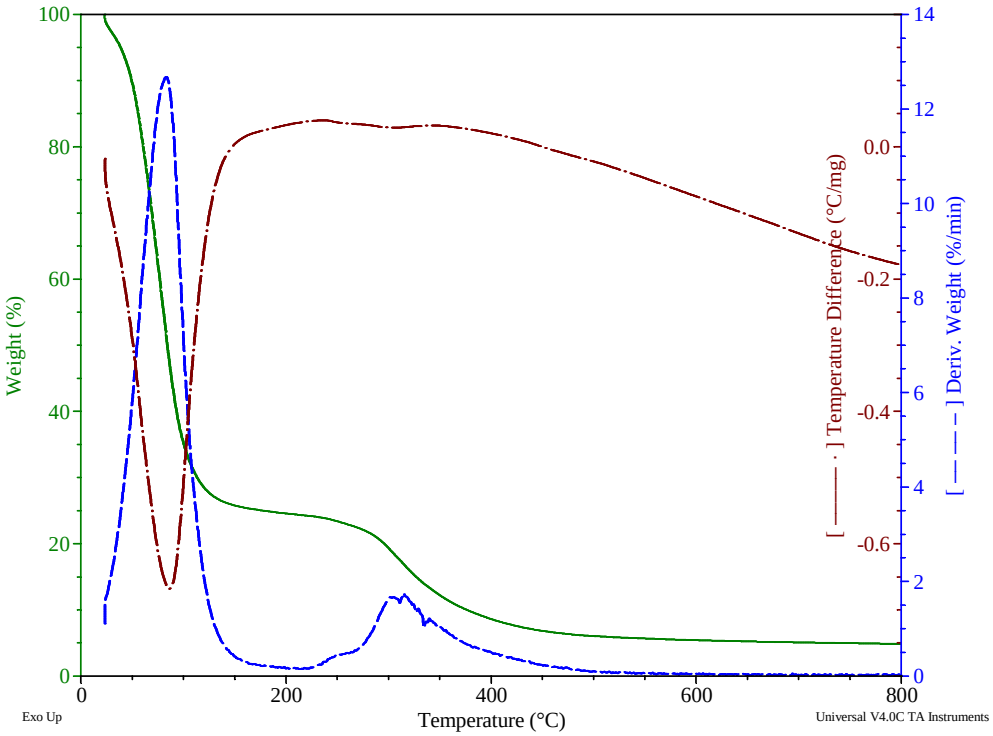


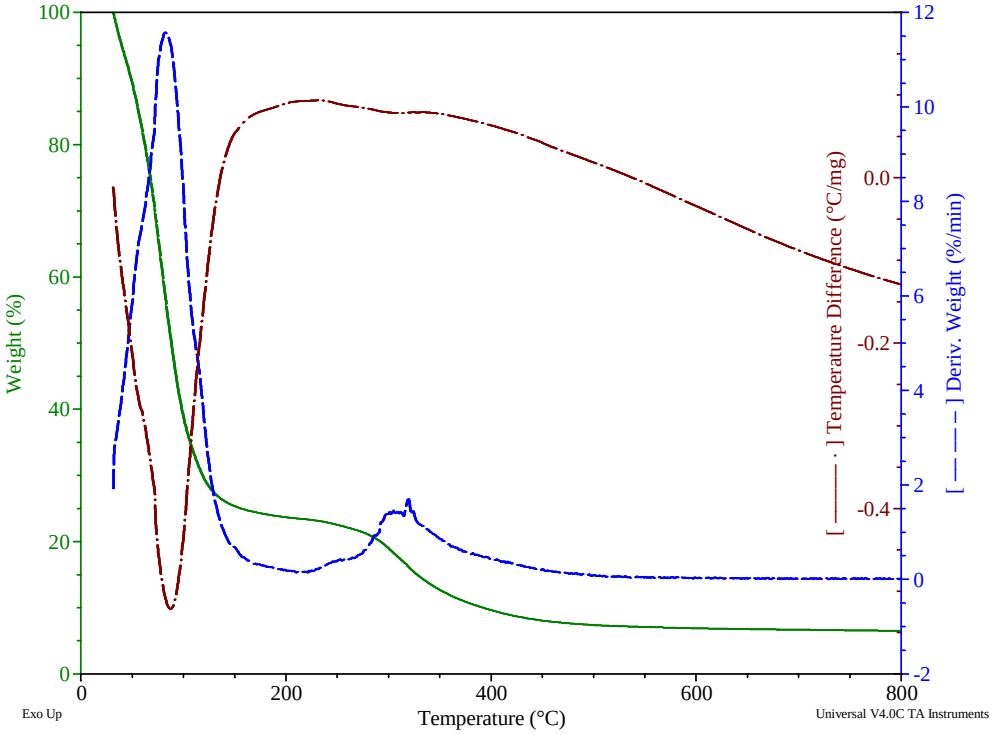


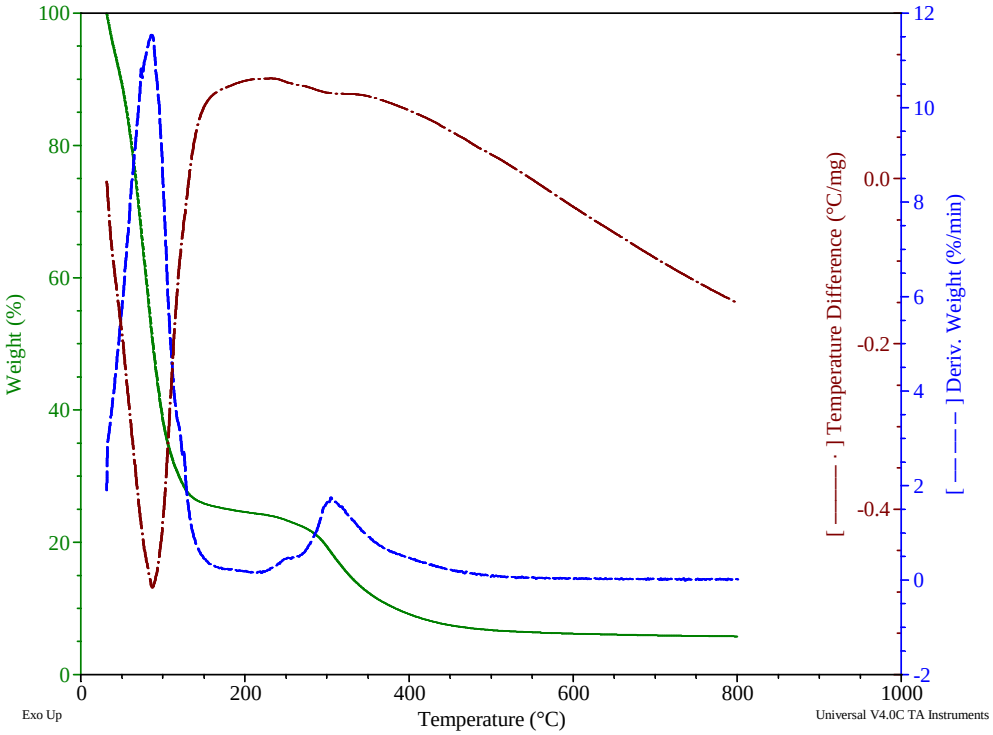

Weight (%)
[—— ·] Temperature Difference (°C/mg)
[— — –] Deriv. Weight (%/min)
Temperature (°C)
Exo Up
Universal V4.0C TA Instruments

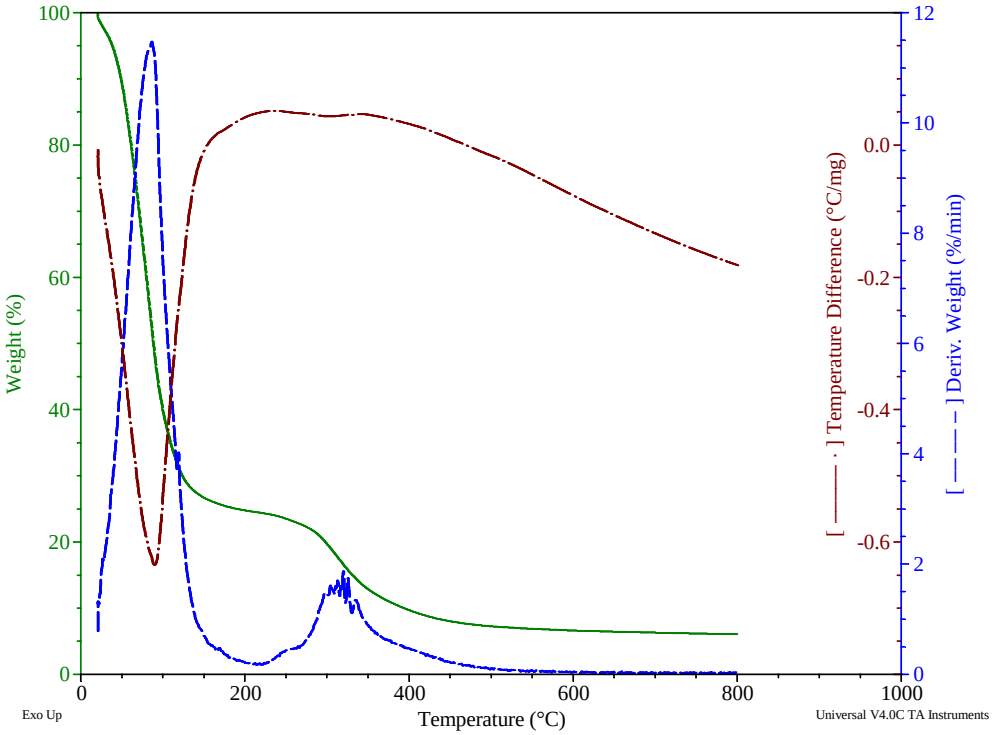

Weight (%)
[—— ·] Temperature Difference (°C/mg)
[— — –] Deriv. Weight (%/min)
Temperature (°C)
Exo Up
Universal V4.0C TA Instruments

Curvas de TG, DTG e DTA de amostras de coração de ratos do grupo Goma 9.



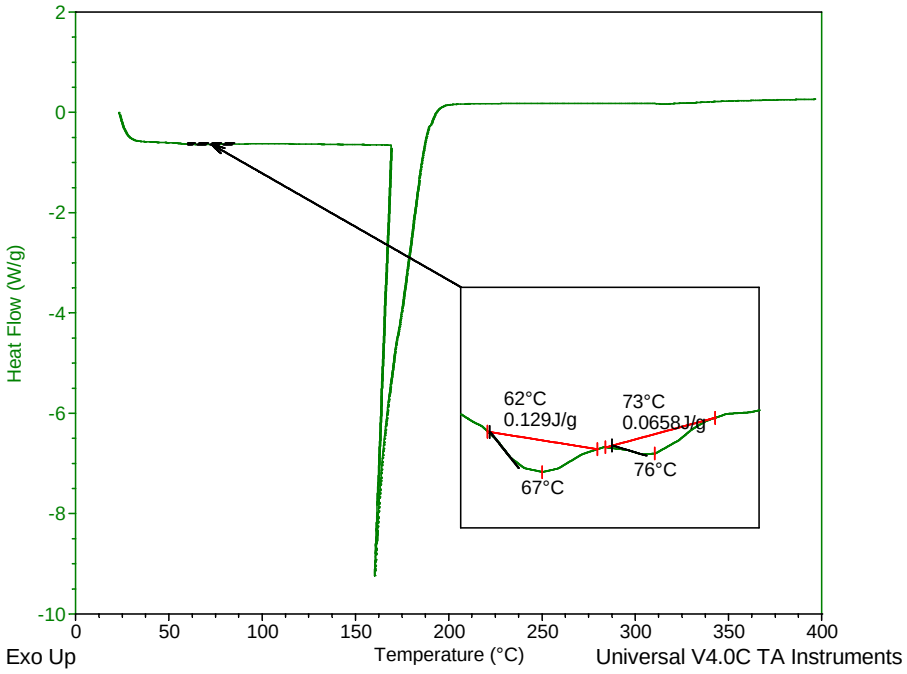
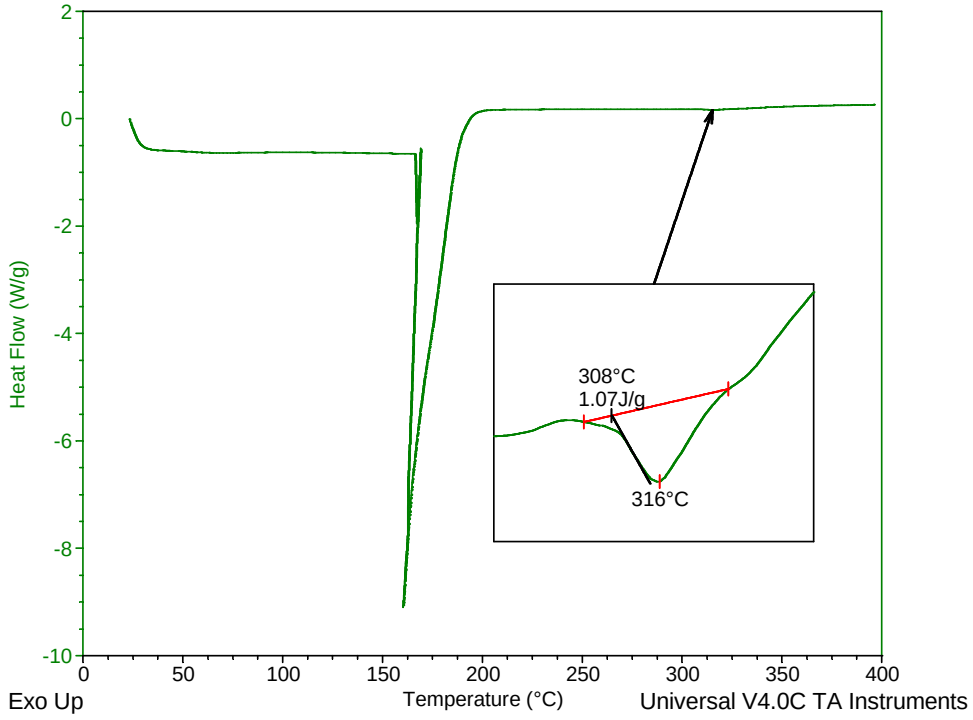



Weight (%)
[—— ·] Temperature Difference (°C/mg)
[— — –] Deriv. Weight (%/min)
Temperature (°C)
Exo Up
Universal V4.0C TA Instruments


Weight (%)
[—— ·] Temperature Difference (°C/mg)
[— — –] Deriv. Weight (%/min)
Temperature (°C)
Exo Up
Universal V4.0C TA Instruments

ANEXO 2 - ANÁLISE TÉRMICA 2

Curva de DSC de coração de ratos Wistar (não hipertensos). Em destaque: evento de desnaturação de proteínas (MOTHÉ et al., 2005).



Curva de DSC de coração de ratos Wistar (não hipertensos). Em destaque: evento de degradação de gorduras (MOTHÉ et al., 2005).