



Universidade de Brasília - UnB  
Instituto de Química – IQ  
Programa de Pós-Graduação em Química

KRYSTEN COSTA DIAS

**BALATA: CARACTERÍSTICAS E POSSÍVEIS APLICAÇÕES**

BRASÍLIA - DF  
JANEIRO - 2026

KRYSTEN COSTA DIAS

**BALATA: CARACTERÍSTICAS E POSSÍVEIS APLICAÇÕES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação do Instituto de Química da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Química.

Orientador: Prof. Dr. Floriano Pastore Júnior

BRASÍLIA - DF  
JANEIRO - 2026

## **AGRADECIMENTOS**

Quero agradecer imensamente a todas as pessoas que me apoiaram e que estiveram ao meu lado durante essa caminhada, tive momentos difíceis e percebo o quão valiosos eles foram para o meu amadurecimento pessoal e crescimento profissional.

Às minhas famílias (Costa, Dias e Mori) pela motivação durante esses anos. Em destaque, minhas irmãs pelo carinho e companheirismo em especial à Kimberly por todo apoio.

À equipe da BRADISBA, pelo suporte, paciência e por sempre estarem lá por mim.

À equipe TECBOR, pelo companheirismo e auxílio.

Ao Instituto SENAI de Inovação em Engenharia de Polímeros, pelo apoio nas caracterizações das propriedades físico-mecânicas das amostras de balata.

À minha madrinha, Michelle Leali, pelo seu apoio e por ser minha inspiração.

Ao Instituto de Química da Universidade de Brasília, em especial à Central Analítica, pelo suporte com as análises.

Aos balateiros de Monte Alegre, pelo apoio na coleta e pelas valiosas contribuições sobre a história da Balata.

Ao Laboratório LDPQ, pelo suporte e auxílio nos momentos difíceis.

Ao meu orientador professor Dr. Floriano Pastore Jr, por me apresentar esse fantástico e maravilhoso universo do látex, pelas maravilhosas experiências e pela valorosa orientação.

*“Na natureza nada se cria, nada se perde,  
tudo se transforma.”*

(Antoine Lavoisier)

## RESUMO

A balata é um elastômero natural extraído do látex da árvore *Manilkara bidentata*, que apresentou grande relevância histórica e industrial antes da consolidação dos polímeros sintéticos derivados do petróleo. Apesar de seu uso ter sido progressivamente substituído, o material desperta interesse contemporâneo em função de sua origem renovável e de suas propriedades físicas e mecânicas específicas. Esta dissertação teve como objetivo realizar a caracterização físico-química, térmica e mecânica da balata, visando compreender a relação entre sua estrutura molecular, composição natural e desempenho funcional, bem como compará-la à borracha natural de *Hevea brasiliensis*. A caracterização foi conduzida por meio de espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), cromatografia de permeação em gel (GPC), análises térmicas por calorimetria exploratória diferencial (DSC) e análise termogravimétrica (TGA), além de ensaios físicos e mecânicos, incluindo dureza Shore A, densidade, resistência à abrasão, deformação permanente à compressão e tração uniaxial. Os resultados de FTIR confirmaram que a balata é constituída majoritariamente por poliisopreno *trans*-1,4, com presença de constituintes não borracha, como ceras e resinas naturais. A GPC revelou uma distribuição de massa molar moderadamente larga, característica de polímeros naturais de origem extrativista. As análises térmicas indicaram uma *transição* vítrea ampla em torno de  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , além de eventos endotérmicos associados à reorganização térmica de frações específicas do material. A TGA demonstrou que a balata apresenta estabilidade térmica comparável à da borracha natural, com degradação principal iniciando em torno de  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ , embora com maior perda inicial de massa, atribuída ao maior teor de constituintes não poliméricos. Do ponto de vista mecânico, em comparação com o látex da *Hevea brasiliensis*, a balata apresentou dureza Shore A intermediária, densidade relativamente baixa, resistência à abrasão moderada, deformação permanente à compressão elevada e comportamento em tração caracterizado por resistência mecânica moderada e alongamento significativo. De forma integrada, os resultados demonstram que a balata constitui uma alternativa natural ao poliisopreno *cis* da borracha de *Hevea brasiliensis*, apresentando propriedades distintas, associadas à conformação *trans*-1,4 do poliisopreno e à sua composição natural complexa. Essas características tornam o material potencialmente adequado para aplicações elastoméricas que demandem maior rigidez, estabilidade dimensional e desempenho sob temperaturas moderadas, desde que consideradas suas limitações quanto à recuperação elástica após compressão prolongada e à resistência ao desgaste severo. Por fim, o estudo evidencia que a ampliação do uso tecnológico da balata está condicionada ao avanço de estratégias de obtenção e processamento mais controladas e ambientalmente sustentáveis.

**Palavras-chave:** balata; poliisopreno *trans*-1,4 *trans*-1,4; termoplásticos naturais; caracterização físico-química; elastômeros naturais.

## ABSTRACT

Balata is a natural elastomer extracted from the latex of *Manilkara bidentata*, which played an important historical and industrial role prior to the widespread adoption of petroleum-based synthetic polymers. Although its use has gradually declined, balata has regained interest due to its renewable origin and distinctive physical and mechanical properties. The objective of this master's dissertation was to perform a comprehensive physicochemical, thermal, and mechanical characterization of balata, aiming to elucidate the relationship between its molecular structure, natural composition, and functional performance, as well as to compare its behavior with that of natural rubber from *Hevea brasiliensis*. The material was characterized using Fourier *transform* infrared spectroscopy (FTIR), gel permeation chromatography (GPC), thermal analysis by differential scanning calorimetry (DSC) and thermogravimetric analysis (TGA), in addition to physical and mechanical tests, including Shore A hardness, density, abrasion resistance, compression set, and uniaxial tensile testing. FTIR results confirmed that balata is mainly composed of *trans*-1,4-polyisoprene, with the presence of non-rubber constituents such as natural resins and waxes. GPC analysis revealed a moderately broad molecular weight distribution, typical of natural polymers obtained through extractive processes. Thermal analysis indicated a broad glass *transition* centered around  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , as well as endothermic events associated with the thermal reorganization of specific material fractions. TGA demonstrated that balata exhibits thermal stability comparable to natural rubber, with the main degradation step occurring at approximately  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ , although with a higher initial mass loss attributed to its non-polymeric constituents. From a mechanical standpoint, compared to the latex of *Hevea brasiliensis*, balata showed intermediate Shore A hardness, relatively low density, moderate abrasion resistance, high compression set, and tensile behavior characterized by moderate strength and significant elongation at break. Overall, the results demonstrate that balata represents a natural alternative to *cis*-polyisoprene from *Hevea brasiliensis*, exhibiting distinct properties associated with the *trans*-1,4 configuration of polyisoprene and its complex natural composition. These characteristics make balata potentially suitable for elastomeric applications requiring increased rigidity, dimensional stability, and performance under moderate temperatures, provided that its limitations regarding elastic recovery after prolonged compression and resistance to severe abrasive wear are taken into account. Finally, this study highlights that broader technological use of balata depends on advances in controlled extraction, processing strategies, and environmentally sustainable practices.

**Keywords:** balata; *trans*-1,4 polyisoprene; natural thermoplastics; physicochemical characterization; natural elastomers.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASTM	American Society for Testing and Materials (Sociedade Americana para Testes e Materiais)
DIN	Deutsches Institut für Normung (Instituto Alemão para Normatização)
DSC	Calorimetria Exploratória Diferencial
DTG	Termogravimetria derivada
FTIR	Fourier <i>Transform</i> Infrared Spectroscopy (Espectroscopia no Infravermelho com <i>Transformada</i> de Fourier)
GPC	Cromatografia de Permeação em Gel
ISO	International Organization for Standardization (Organização Internacional para Normalização)
NMR	Ressonância Magnética Nuclear (RMN ou NMR, em inglês)
PHB	Polihidroxibutirato
PLA	Ácido Polilático
PTFE	Politetrafluoretileno
PVC	Policloreto de Vinila
Ssp.	Subespécies
TGA	Análise Termogravimétrica
Tg	Temperatura de <i>Transição</i> Vítrea
THF	Tetrahidrofurano
UV-Vis	Espectroscopia Ultravioleta-Visível

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Balateiro realizando a “sangria”.	17
Figura 2 - Balateiras cortadas para sangria, observando-se o látex escorrendo no tronco.	18
Figura 3 - Fotografia dos blocos de balata.	18
Figura 4 - Blocos de balata submersos em igarapé, com balateiros ao fundo.	19
Figura 5 - Configuração espacial dos isômeros ( <i>cis</i> e <i>trans</i> ).	20
Figura 6 - Micrografias de varredura confocal de filmes de látex de: (a) guta-percha ( <i>Palaquium gutta</i> ), b) balata ( <i>Manilkara bidentata</i> ) e c) seringueira ( <i>Hevea brasiliensis</i> ).	21
Figura 7 - Corpos de prova utilizados nos ensaios de resistência à abrasão e de deformação permanente à compressão.	36
Figura 8 - Corpos de prova do tipo 2 utilizados nos ensaios de tração, orientados paralelamente ao sentido de laminação.	38
Figura 9 - Espectro de FTIR da balata na região de 4000 a 500 $\text{cm}^{-1}$ , evidenciando as principais bandas associadas às vibrações das ligações C–H, C=C e grupos O–H característicos do poliisopreno <i>trans</i> -1,4.	40
Figura 10 - Cromatograma de GPC da balata, evidenciando a distribuição de massa molar e a fração polimérica predominante.	42
Figura 11 - Curva de TGA e DTG da balata obtida a 10°C/min em atmosfera inerte de nitrogênio.	44
Figura 12 - Curva de DSC da balata obtida pelo primeiro aquecimento entre -100°C e 50°C a 10°C/min.	47
Figura 13 - Curvas de DSC da balata obtidas até 200 °C, permitindo avaliar o comportamento térmico do material após a eliminação do histórico térmico inicial.	49
Figura 14 - Comparação dos principais estágios de perda de massa observados por TGA da balata e da borracha natural de <i>Hevea brasiliensis</i> , indicando as temperaturas características e os percentuais associados a cada etapa de degradação térmica.	51

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dureza Shore A.....	52
Tabela 2 - Resultados de densidade da balata determinados a partir de medições individuais em diferentes corpos de prova, incluindo média e desvio. ....	53
Tabela 3 - Resultados do ensaio de resistência à abrasão da balata, incluindo massas inicial e final dos corpos de prova, perda de massa, perda relativa de volume e índice de resistência à abrasão (ARI).....	55
Tabela 4 - Resultados do ensaio de deformação permanente à compressão da balata, realizado por 22 h a 23 °C, incluindo espessuras inicial e final dos corpos de prova, valores individuais, média e desvio padrão.....	56
Tabela 5 - Resultados do ensaio de tração da balata, incluindo espessura média dos corpos de prova, tensão e alongamento na ruptura, bem como módulos elásticos a 50 % e 100 % de deformação. ....	58
Tabela 6 - Comparativo dados mecânicos Balata com Borracha da <i>Hevea Brasiliensis</i> . .....	58

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>13</b>
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>14</b>
<b>3.1 Histórico da Balata .....</b>	<b>14</b>
<b>3.2 Obtenção da Balata.....</b>	<b>16</b>
<b>3.3 A Química da Balata.....</b>	<b>20</b>
<b>3.4 Termoplásticos.....</b>	<b>23</b>
<b>4 MÉTODOS DE CARACTERIZAÇÃO .....</b>	<b>26</b>
<b>4.1 Material e Métodos .....</b>	<b>28</b>
4.1.1 Balata .....	28
4.1.2 Reagentes e solventes.....	29
4.1.3 Preparação das amostras .....	29
4.1.4 Espectroscopia no Infravermelho (FTIR).....	30
4.1.5 Cromatografia de Permeação em Gel (GPC).....	31
4.1.6 Análise térmica.....	32
4.1.7 Determinação da densidade.....	33
4.1.8 Ensaio de dureza (Shore A) .....	34
4.1.9 Resistência à abrasão .....	34
4.1.10 Deformação Permanente à compressão sob deformação constante .....	36
4.1.11 Resistência à tração .....	37
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>39</b>
<b>5.1 Espectroscopia por Infravermelho com Transformada de Fourier.....</b>	<b>39</b>
<b>5.2 Cromatografia de Permeação em Gel (GPC).....</b>	<b>41</b>
<b>5.3 Análises Térmicas .....</b>	<b>44</b>
5.3.1 Comparação entre a Balata e a borracha natural de <i>Hevea brasiliensis</i> por TGA .....	49
<b>5.4 Mecânicos .....</b>	<b>52</b>
5.4.1 Dureza (Shore A) .....	52
5.4.2 Determinação da densidade.....	53
5.4.3 Resistência à abrasão .....	54
5.4.4 Deformação Permanente à Compressão (DPC) .....	55
5.4.5 Ensaio de tração .....	56

5.4.6 Comparativo borracha e balata .....	58
<b>6 CONCLUSÕES .....</b>	<b>59</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>62</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A balata é um polímero natural obtido a partir do látex da árvore *Manilkara bidentata*, espécie nativa de regiões tropicais da América do Sul e Central (Rios e Pastore, 2011). Historicamente, esse material desempenhou papel relevante em diferentes contextos industriais e sociais, sobretudo antes da consolidação dos polímeros sintéticos derivados do petróleo, em virtude de suas propriedades físico-químicas específicas, como comportamento termoplástico, resistência mecânica e características dielétricas (Almeida Filho; Carvalho, 2022).

Apesar de sua reconhecida importância histórica e de suas propriedades particulares, a balata permanece relativamente pouco estudada sob a perspectiva da ciência dos materiais contemporânea. A literatura científica evidencia lacunas significativas quanto à caracterização sistemática de suas propriedades físico-químicas, especialmente quando comparada a outros elastômeros naturais amplamente investigados, como o látex da *Hevea brasiliensis* (Valdetaro, 2015). Essa escassez de dados técnicos limita a avaliação precisa de seu potencial de reaplicação em contextos industriais atuais e dificulta o estabelecimento de parâmetros confiáveis para seu processamento e uso tecnológico.

Nas últimas décadas, o interesse científico por materiais naturais tem sido renovado em decorrência das transformações na ciência dos materiais e do aumento da demanda por polímeros de origem renovável (Gomes, 2014). O fortalecimento das discussões relacionadas à sustentabilidade ambiental, à economia circular e à redução do impacto ambiental dos materiais sintéticos têm impulsionado a reavaliação de recursos naturais historicamente explorados, mas ainda insuficientemente compreendidos sob o ponto de vista tecnológico (Falcão, 2019; Rossetto *et al.*, 2024). Nesse cenário, a balata apresenta-se como um biomaterial promissor, cujo estudo aprofundado pode subsidiar o desenvolvimento de aplicações industriais alinhadas a princípios de sustentabilidade.

Do ponto de vista químico, a balata é constituída majoritariamente por poliisopreno *trans*-1,4, configuração estereoquímica que confere ao material maior rigidez, maior grau de ordenação molecular e comportamento termoplástico mais pronunciado quando comparado à borracha natural, predominantemente composta por poliisopreno *cis*-1,4, cuja fórmula molecular é  $\text{CH}_2 = \text{C}(\text{CH}_3) - \text{CH} = \text{CH}_2$ ;  $\text{C}_5\text{H}_8$ .

Essas diferenças estruturais refletem-se diretamente nas propriedades mecânicas, térmicas e de envelhecimento do material, tornando necessária sua caracterização detalhada por meio de técnicas analíticas modernas.

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo geral caracterizar as propriedades físico-químicas da balata (*Manilkara bidentata* ssp.), avaliando sua composição molecular, estabilidade térmica, comportamento mecânico e resistência à degradação. Busca-se, assim, compreender de forma integrada o desempenho desse polímero natural e seu potencial para aplicações industriais sustentáveis, modernas e de uso mais nobre que possam remunerar adequadamente a cadeia produtiva, em especial o trabalho dos balateiros. Conforme detalhado no capítulo de objetivos.

A relevância desta pesquisa manifesta-se tanto no âmbito científico quanto no socioambiental. Do ponto de vista acadêmico, o estudo contribui para a ampliação do conhecimento sobre polímeros naturais termoplásticos, ainda pouco explorados, fortalecendo o campo da ciência dos materiais de base biológica. Sob a perspectiva socioambiental, a geração de conhecimento técnico-científico sobre a balata pode subsidiar estratégias de manejo sustentável, agregação de valor e fortalecimento das cadeias produtivas locais, especialmente na região amazônica, conciliando inovação tecnológica e responsabilidade ambiental (Falcão, 2019).

Embora a balata tenha sido amplamente explorada em determinados períodos históricos, observa-se que a maior parte da literatura disponível se concentra em abordagens históricas, etnográficas e socioeconômicas, enquanto os estudos de natureza físico-química e tecnológica permanecem relativamente escassos e fragmentados. Essa assimetria reforça a necessidade de investigações sistemáticas que empreguem métodos analíticos modernos, capazes de fornecer subsídios técnicos para a reavaliação do potencial industrial da balata no contexto atual (Valdetaro, 2015).

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

Caracterizar as propriedades da balata (*Manilkara bidentata* ssp.), avaliando sua composição molecular, estabilidade térmica, comportamento mecânico, resistência à degradação, bem como outras características relevantes — incluindo propriedades físico-químicas, tribológicas e físico-mecânicas — visando compreender seu potencial para aplicações industriais sustentáveis.

### 2.2 Objetivos Específicos

- Identificar a composição química da balata, com ênfase nos grupos funcionais e estrutura molecular do poliisopreno *trans*-1,4 e seus componentes secundários (resinas, ceras e impurezas);
- Avaliar as propriedades térmicas por meio de técnicas como DSC (Calorimetria Exploratória Diferencial) e TGA (Análise Termogravimétrica), determinando temperaturas de fusão, de *transição* vítrea e de degradação;
- Caracterizar as propriedades mecânicas do material, por meio de ensaios de tração, dureza, abrasão, densidade e deformação permanente à compressão, correlacionando os resultados com sua estrutura molecular e morfologia;
- Comparar o desempenho da balata com a borracha natural (*Hevea brasiliensis*) e, destacando semelhanças, diferenças e possíveis nichos de aplicação tecnológica;

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Histórico da Balata

A balata, substância resinosa extraída principalmente de árvores da espécie *Manilkara bidentata*, possui um histórico de uso que antecede a colonização europeia na região amazônica. Povos indígenas que habitavam áreas do atual norte do Brasil, Guiana e Suriname foram os primeiros a identificar e explorar as propriedades físicas desse látex natural, empregando-o na confecção de utensílios, artefatos impermeáveis, objetos utilitários e elementos de uso cotidiano (Aramburu, 1994). O conhecimento tradicional associado à coleta e ao processamento da balata refletia uma relação integrada com o ambiente florestal, pautada no respeito aos ciclos naturais das árvores produtoras e na utilização racional dos recursos disponíveis (Ramos, 2020).

A partir dos séculos XVII e XVIII, relatos de viajantes, cronistas e naturalistas europeus passaram a registrar o uso da balata e de outras resinas vegetais amazônicas, despertando o interesse científico e comercial dessas substâncias no continente europeu (Magalhães, 2006). No entanto, foi apenas ao longo do século XIX, em decorrência da Revolução Industrial e da crescente demanda por materiais elastoméricos, que a balata adquiriu maior relevância econômica internacional (Carvalho, 2011). Nesse período, sua exploração intensificou-se em regiões da América do Sul e Central, notadamente na Guiana Francesa, Suriname, Venezuela e norte do Brasil, integrando-se às dinâmicas globais de fornecimento de matérias-primas tropicais (Magalhães, 2006).

Durante o auge de sua exploração comercial, entre o final do século XIX e o início do século XX, a balata consolidou-se como um insumo estratégico para diversas aplicações industriais (Santos, 1922). Sua utilização estendeu-se à fabricação de correias de transmissão, válvulas hidráulicas, componentes mecânicos e, especialmente, ao isolamento elétrico de cabos telegráficos submarinos, nos quais suas propriedades dielétricas e resistência à água mostraram-se superiores às de outros materiais disponíveis à época (Carvalho, 2011). Esse período marcou a inserção definitiva da balata nos circuitos internacionais de comércio, gerando significativa movimentação econômica nas regiões produtoras.

Entretanto, o ciclo produtivo da balata esteve associado a impactos socioambientais expressivos. Do ponto de vista ambiental, práticas extrativistas predatórias frequentemente resultaram na morte prematura das árvores, comprometendo a regeneração natural das áreas exploradas (Meira, 1984). Sob a ótica social, a exploração intensiva foi marcada por condições laborais precárias, longas jornadas de trabalho e conflitos fundiários envolvendo comunidades indígenas e ribeirinhas, cujos territórios tradicionais foram convertidos em áreas de concessão extrativista (Homma, 1983). Essas dinâmicas refletiram as assimetrias estruturais que caracterizaram o extrativismo amazônico ao longo desse período.

A partir da década de 1940, o desenvolvimento e a difusão de polímeros sintéticos derivados do petróleo alteraram profundamente o mercado global de materiais elastoméricos (Pachekoski, 20114). Substâncias como o polietileno e o policloreto de vinila (PVC), produzidas em larga escala e com custos significativamente menores, passaram a substituir progressivamente a balata em suas principais aplicações industriais (Rivera, 2024). Como consequência, observou-se um declínio acentuado da demanda por balata natural, levando à retração das atividades extrativistas e à perda de importância econômica desse produto no cenário internacional (Monteiro, 1943).

Apesar desse declínio, a balata não desapareceu completamente do mercado. Seu uso persistiu em nichos específicos, como na produção de núcleos rígidos para bolas de golfe, em aplicações odontológicas especializadas e em determinados contextos artesanais (Silva, 2018). Mais recentemente, iniciativas de resgate histórico-cultural e de revalorização de materiais naturais têm contribuído para recolocar a balata no centro de debates acadêmicos e tecnológicos, especialmente diante das atuais demandas por materiais renováveis e ambientalmente sustentáveis (Martins, 2015).

Dessa forma, o histórico da balata evidencia não apenas a trajetória de um material natural amplamente explorado em determinados momentos, mas também os desafios e legados socioambientais associados ao extrativismo amazônico. A compreensão desse percurso histórico é fundamental para contextualizar as discussões contemporâneas sobre o potencial de reaplicação da balata em bases tecnológicas sustentáveis, bem como para orientar práticas futuras que conciliam inovação, conservação ambiental e justiça social.

### 3.2 Obtenção da Balata

A obtenção da balata apresenta semelhanças iniciais com os métodos tradicionalmente empregados na extração do látex da seringueira (*Hevea brasiliensis*), sobretudo no que se refere ao princípio da sangria do tronco. No entanto, esse processo desenvolveu características específicas, adaptadas às particularidades morfológicas e fisiológicas e estruturais da *Manilkara bidentata* spp., cujo látex apresenta maior viscosidade e comportamento reológico distinto daquele extraído da seringueira. Essas diferenças exigem técnicas específicas de coleta e processamento, historicamente desenvolvidas a partir do conhecimento empírico dos balateiros.

De acordo com Carvalho (2012), a extração do látex da balata é tradicionalmente realizada por meio de incisões longitudinais no tronco de árvores adultas, preferencialmente durante o período chuvoso, quando o escoamento do látex ocorre com maior eficiência. As incisões são executadas de forma cuidadosa, respeitando-se a inclinação e a profundidade adequadas, de modo a permitir o fluxo contínuo do material ao longo do tronco, buscando minimizar danos estruturais irreversíveis à árvore:

Tradicionalmente, a extração do látex da balata é realizada por meio de incisões longitudinais no tronco de árvores adultas, preferencialmente durante o período chuvoso, quando o escoamento do látex espesso ocorre com maior eficiência. As incisões são executadas de maneira cuidadosa, respeitando a inclinação e a profundidade adequadas, de forma a permitir o fluxo contínuo do material ao longo do tronco, minimizando, sempre que possível, danos estruturais irreversíveis à árvore. (Carvalho, 2012, p. 137)

Esse método, consolidado historicamente, permanece em uso até os dias atuais, evidenciando a permanência dos saberes tradicionais associados à atividade extrativista.

Durante o processo de sangria, os balateiros utilizam equipamentos específicos que possibilitam a escalada e a fixação segura ao tronco da árvore. Entre os dispositivos empregados destaca-se o uso de um cinto resistente provido de argola, ao qual se conectam as extremidades de uma corda que circunda o tronco da balateira. Alternativamente, podem ser utilizados cinturões ajustáveis com chavetas, acoplado a um cabo de aço preso à cintura do trabalhador, conferindo estabilidade

durante a realização dos cortes. Complementarmente, são utilizadas botas com proteção para as canelas e esporas de aço, que possibilitam a ancoragem ao tronco e a progressão vertical durante a sangria (Souza, 2018), conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 - Balateiro realizando a “sangria”.



Fonte: Fotografia de Itajury Kishi

Após a realização das incisões, o látex exsuda ao longo do tronco, sendo direcionado até recipientes posicionados na base da árvore (Figura 2). O material coletado é então submetido a processos rudimentares de coagulação, que podem ocorrer tanto por exposição ao ar quanto por imersão em água fria (Carvalho, 2012). Diferentemente do processamento do látex da seringueira, no qual a defumação é amplamente utilizada para promover a coagulação e a formação das bolas de borracha, a balata não passa por esse processo (Rio; Pastore, 2011). Em vez disso, após a coagulação inicial, o material é moldado manualmente ou prensado diretamente em blocos compactos destinados ao *transporte* e à comercialização (Martins, 2015), conforme ilustrado na Figura 3.

Essas técnicas refletem não apenas limitações tecnológicas inerentes ao contexto histórico da extração, mas também adaptações culturais às condições

ambientais amazônicas. O método empregado resulta em um produto final com propriedades físicas distintas daquelas observadas na borracha natural, como maior rigidez e comportamento termoplástico específico, características que historicamente condicionaram suas aplicações industriais.

As Figuras 2 e 3 ilustram, respectivamente, o processo de sangria das balateiras, evidenciando o escoamento do látex ao longo do tronco, e os blocos de balata já moldados após as etapas iniciais de processamento.

Figura 2 - Balateiras cortadas para sangria, observando-se o látex escorrendo no tronco.



Fonte: Da esquerda para a direita: Santos (1922); Silva (2018); Araújo (2012).

Figura 3 - Fotografia dos blocos de balata.



Fonte: Silva (2018)

Após a moldagem, os blocos de balata são frequentemente acondicionados em ambientes úmidos para conservação temporária, sendo comum sua submersão em igarapés (Figura 4). Essa prática tradicional contribui para a manutenção das propriedades físicas do material até sua etapa de *transporte* ou comercialização, reduzindo a perda de massa e evitando ressecamento excessivo.

Figura 4 - Blocos de balata submersos em igarapé, com balateiros ao fundo.



Fonte: Souza (2017)

Registros históricos indicam ainda a existência de métodos alternativos de extração, como o derrubamento das árvores para a coleta integral do látex, prática observada principalmente no início do século XX (Silva, 2020). No entanto, tais métodos mostraram-se ambientalmente insustentáveis, comprometendo a regeneração da espécie e contribuindo para o declínio das populações naturais de *Manilkara bidentata*. Esse histórico reforça a importância da adoção de práticas extrativistas mais controladas e sustentáveis, especialmente frente às discussões atuais sobre conservação ambiental e uso responsável de recursos naturais.

Dessa forma, a obtenção da balata reflete a interseção entre conhecimento tradicional, limitações tecnológicas históricas e desafios contemporâneos relacionados à sustentabilidade. A compreensão detalhada desse processo é fundamental para contextualizar os resultados experimentais apresentados neste

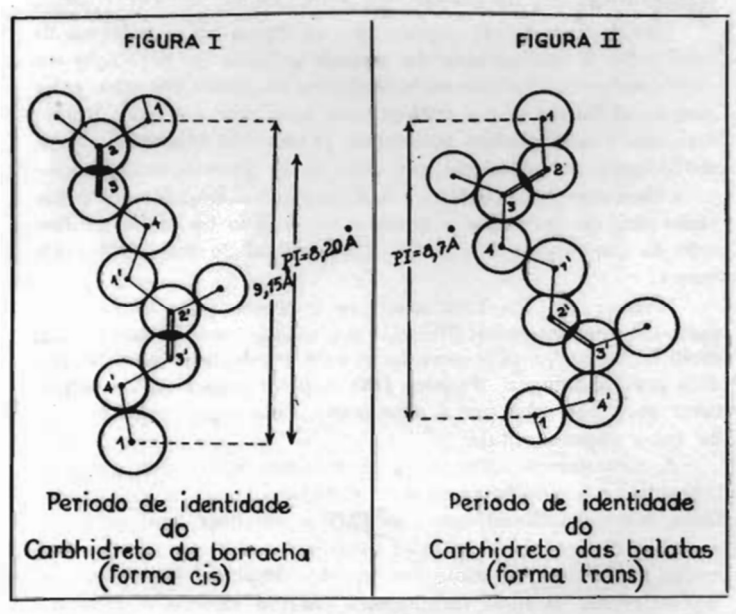
trabalho e para subsidiar futuras propostas de reaproveitamento tecnológico desse polímero natural em bases ambientalmente responsáveis.

### 3.3 A Química da Balata

A balata é um polímero natural pertencente à família dos poliprênicos, cuja estrutura química é baseada na polimerização do isopreno em configuração *trans* (Saffioti, 1946). Juntamente com a gutta-percha e a borracha natural, a balata compõem um grupo de materiais de origem vegetal que desempenharam papel fundamental na história do desenvolvimento industrial, especialmente antes da consolidação dos polímeros sintéticos. Embora compartilhem a mesma fórmula empírica geral  $(C_5H_8)_n$ , esses materiais diferem em sua estereoquímica, o que resulta em propriedades físicas, mecânicas e de envelhecimento distintas (Szczepanowska; Akhmedov, 2023).

A principal diferença estrutural entre os poliprênicos *cis* e *trans* reside na geometria das duplas ligações ao longo da cadeia polimérica. Enquanto no poliisopreno *cis*-1,4 as cadeias assumem conformação mais flexível e desordenada, no poliisopreno *trans*-1,4 a disposição espacial favorece maior linearidade e empacotamento molecular, conforme ilustrado esquematicamente na Figura 5.

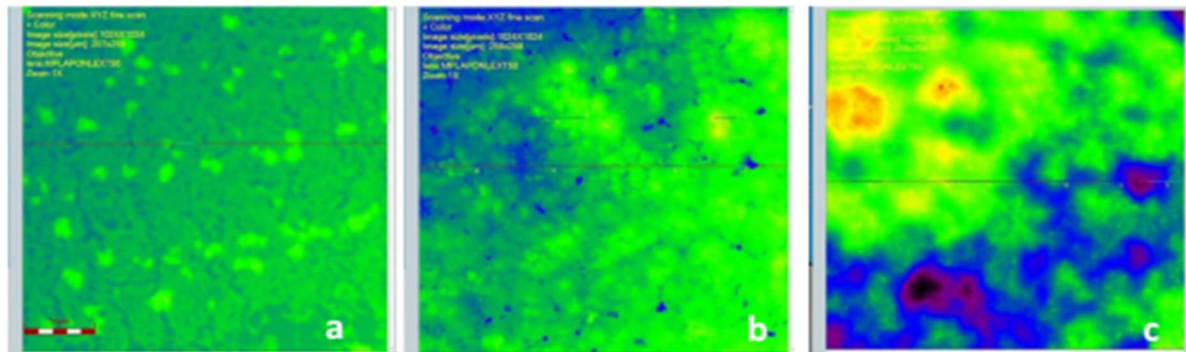
Figura 5 - Configuração espacial dos isômeros (*cis* e *trans*).



Fonte: Saffioti (1946)

Na borracha natural, constituída majoritariamente por poliisopreno *cis*-1,4, as cadeias apresentam conformação mais flexível e desordenada, resultando em comportamento altamente elastomérico. Em contraste, a balata e a gutta-percha, compostas predominantemente por poliisopreno *trans*-1,4, apresentam maior regularidade conformacional, favorecendo o empacotamento molecular e a formação de regiões cristalinas (Saffioti, 1946; Szczepanowska; Akhmedov, 2023). Essa diferença estrutural pode ser observada nas micrografias de varredura confocal apresentadas na Figura 6, nas quais a balata e a gutta-percha exibem morfologia mais ordenada quando comparadas ao látex da seringueira (*Hevea brasiliensis*), predominantemente *cis*-1,4.”

Figura 6 - Micrografias de varredura confocal de filmes de látex de: (a): a) gutta-percha (*Palaquium gutta*), b) balata (*Manilkara bidentata*) e c) seringueira (*Hevea brasiliensis*). Os mapas topográficos mostram como as partículas se dispersam, se acumulam e em que alturas se encontram. As cores quentes, como amarelo e laranja, indicam partículas maiores e em níveis mais altos; o verde representa partículas menores, enquanto o azul marca a base.



Fonte: Szczepanowska e Akhmedov (2023)

Essa diferença estereoquímica reflete-se diretamente no comportamento físico dos materiais. Enquanto a borracha natural tende a apresentar elevada elasticidade e maior resistência à deformação reversível, a balata exibe maior rigidez, maior estabilidade dimensional e comportamento termoplástico mais pronunciado. Com o envelhecimento, a borracha natural pode tornar-se pegajosa, ao passo que a balata e a gutta-percha tendem a apresentar aumento de fragilidade, associado à cristalização progressiva e à oxidação das cadeias poliméricas (Szczepanowska; Akhmedov, 2023).

A caracterização química da balata por técnicas espectroscópicas modernas, como a espectroscopia de ressonância magnética nuclear (NMR), permitiu a identificação inequívoca da configuração *trans* das cadeias de poliisopreno, inclusive em amostras com mais de um século de idade (Szczepanowska; Akhmedov, 2023). Esses resultados demonstram notável estabilidade estereoquímica ao longo do tempo e reforçam a viabilidade do uso de métodos analíticos não destrutivos para a identificação e diferenciação de materiais poliprênicos em artefatos históricos. Os autores, Szczepanowska e Akhmedov (2023), ressaltam ainda que, apesar da escassez de estudos específicos sobre a balata, sua inclusão na análise foi essencial para esclarecer ambiguidades presentes na literatura, especialmente no que diz respeito à nomenclatura e à distinção entre os diferentes tipos de borracha vegetal.

Além da análise laboratorial, os estudos recentes (Szczepanowska; Akhmedov, 2023) também documentaram práticas tradicionais de extração da balata em campo, evidenciando que o látex coagula em cerca de 30 minutos após a incisão no tronco, formando resíduos que são posteriormente enrolados em “*coils*” (folhas) e armazenados em água. Essas observações reforçam o papel do conhecimento empírico dos balateiros, particularmente no que se refere à anatomia dos canais lactíferos e à resposta do látex às condições ambientais.

Do ponto de vista estrutural, estudos clássicos conduzidos por Saffioti (1946) demonstraram que os hidrocarbonetos presentes na balata apresentam polimorfismo cristalino, manifestando-se principalmente em duas fases distintas, denominadas  $\alpha$  e  $\beta$ . A fase  $\alpha$  corresponde ao estado mais estável em condições normais de temperatura e pressão, apresentando período de identidade cristalina de aproximadamente 8,7 Å. A fase  $\beta$ , por sua vez, pode ser induzida por aquecimento na faixa de 70–75 °C seguido de resfriamento rápido ou por distensão mecânica, apresentando período de identidade reduzido, em torno de 4,8 Å. Essas transformações estruturais estão associadas a variações significativas em propriedades como densidade, índice de refração e coeficiente de dilatação térmica.

A balata, como poliprênico, é constituída por longas cadeias moleculares formadas pela polimerização da isopreno, caracterizando-se como uma poliolefina com uma dupla ligação etilênica em cada unidade repetitiva. Conforme descrito por Saffioti (1946), essas ligações conferem ao polímero valências parciais ao longo da

cadeia, permitindo interações secundárias entre macromoléculas adjacentes, o que influencia diretamente o estado de agregação e o grau de cristalinidade do material.

Outro aspecto relevante da química da balata refere-se a sua massa molar. Dados reportados por Saffioti (1946), com base nos estudos de Staudinger e Fischer, indicam valores de massa molar significativamente inferiores aos observados para a borracha natural, situando-se na faixa de 88.000 a 89.000  $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$  quando dissolvida em tolueno. Esses valores correspondem a cadeias com aproximadamente 450 unidades de isopreno ( $\text{C}_5\text{H}_8$ ), em contraste com as cerca de 4.000 unidades típicas da borracha natural. Essa diferença no grau de polimerização contribui para a maior tendência à cristalização da balata e para seu comportamento termoplástico diferenciado.

Adicionalmente, variações na composição química da balata podem ocorrer em função da espécie botânica de origem, como *Manilkara bidentata* e *Ecclinusia balata*, refletindo diferenças nos teores de resinas, ceras, frações poliméricas puras e impurezas. Essas variações influenciam diretamente propriedades físico-químicas relevantes, como coeficiente de dilatação térmica, densidade e índice de refração, reforçando a necessidade de caracterização detalhada do material para cada origem específica.

Dessa forma, a química da balata evidencia a estreita relação entre estereoquímica, estrutura molecular e propriedades macroscópicas. A predominância da configuração *trans*-1,4 do poliisopreno confere ao material características singulares, como maior rigidez, maior grau de cristalinidade e comportamento termoplástico, distinguindo-o de outros elastômeros naturais e fundamentando seu potencial para aplicações tecnológicas específicas.

### 3.4 Termoplásticos

Os termoplásticos constituem uma das principais classes de materiais poliméricos, caracterizando-se pela capacidade de amolecer quando submetidos ao aquecimento e de solidificar novamente ao serem resfriados, sem que ocorram alterações químicas significativas em sua estrutura molecular (Canevarolo Junior, 2002). Esse comportamento reversível distingue os termoplásticos dos termorrígidos, os quais, após o processo de cura, sofrem reticulação irreversível e não podem ser

remodelados por ação do calor. A possibilidade de processamento repetido confere aos termoplásticos elevada versatilidade, tornando-os amplamente utilizados em aplicações industriais que demandam facilidade de moldagem, reaproveitamento e reciclagem (Rezende; Costa; Botelho; 2011, Manrich, 2013).

Do ponto de vista estrutural, os termoplásticos são formados por cadeias poliméricas longas, lineares ou ramificadas, mantidas unidas predominantemente por forças intermoleculares relativamente fracas, como interações de van der Waals e ligações de hidrogênio (Manrich, 2013). Quando o material é aquecido, essas interações são progressivamente enfraquecidas, permitindo maior mobilidade das cadeias e resultando no amolecimento do polímero. Com o resfriamento, as interações são restabelecidas, promovendo a solidificação e a recuperação das propriedades físicas originais do polímero (Callister; Rethwisch, 2016).

Os termoplásticos podem apresentar regiões amorfas e semicristalinas em sua estrutura, sendo o grau de cristalinidade um fator determinante para propriedades como rigidez, resistência mecânica, *transparência* e comportamento térmico (Manrich, 2013). Polímeros com maior cristalinidade tendem a apresentar maior resistência mecânica e estabilidade dimensional, enquanto materiais predominantemente amorfos exibem maior flexibilidade e menor temperatura de *transição vítrea* (Canevarolo Junior, 2002). Essas características estruturais influenciam diretamente o desempenho dos termoplásticos em diferentes condições de uso.

No contexto dos polímeros naturais, alguns materiais de origem vegetal exibem comportamento termoplástico, ainda que com limitações quando comparados aos polímeros sintéticos amplamente utilizados na indústria (Pachekoski, 2014). A balata insere-se nesse grupo, apresentando amolecimento sob aquecimento e possibilidade de remodelagem, características atribuídas à predominância do poliisopreno *trans*-1,4 em sua composição. Essa configuração molecular favorece maior organização das cadeias poliméricas e a formação de regiões cristalinas, conferindo ao material maior rigidez e comportamento termoplástico mais pronunciado quando comparado à borracha natural da *Hevea brasiliensis*, de caráter predominantemente elastomérico. (Szczepanowska; Akhmedov, 2023).

Historicamente, o comportamento termoplástico da balata foi determinante para sua aplicação em setores industriais específicos, como na fabricação de componentes moldados, isolamento elétrico e elementos submetidos a esforços

mecânicos contínuos (Aramburu, 1994). Diferentemente dos elastômeros vulcanizados, que mantêm elevada elasticidade mesmo após aquecimento moderado, a balata apresenta maior resistência à deformação permanente, característica associada à sua estrutura molecular e ao arranjo mais ordenado das cadeias poliméricas.

Apesar de suas propriedades favoráveis, os termoplásticos naturais, incluindo a balata, apresentam limitações relacionadas à estabilidade térmica e à suscetibilidade à degradação ambiental. A exposição prolongada a temperaturas elevadas, oxigênio e radiação pode resultar em processos de oxidação e cisão das cadeias poliméricas, resultando em perda de propriedades mecânicas e aumento da fragilidade do material (Zhang, 2024). Essas limitações reforçam a necessidade de estudos aprofundados sobre caracterização térmica, envelhecimento e estratégias de modificação ou estabilização desses materiais.

Dessa forma, a compreensão dos princípios que regem o comportamento dos termoplásticos é fundamental para a avaliação do desempenho da balata enquanto material polimérico natural. Ao estabelecer paralelos entre polímeros sintéticos e naturais, torna-se possível avaliar o potencial de reaplicação da balata em contextos tecnológicos contemporâneos, considerando suas vantagens estruturais, limitações funcionais e possibilidades de adaptação às exigências industriais atuais.

## 4 MÉTODOS DE CARACTERIZAÇÃO

A caracterização físico-química é uma etapa fundamental para desenvolver um conhecimento abrangente sobre as propriedades de materiais naturais e sintéticos, particularmente polímeros naturais como a balata. Com a aplicação sistemática de métodos analíticos, é possível revelar propriedades estruturais, composicionais e funcionais que definem o desempenho do material em vários contextos tecnológicos. Informações *precisas* sobre a composição química, estrutura molecular e comportamento físico podem levar à correlação dessas características com propriedades macroscópicas observáveis e auxiliar na otimização do desenvolvimento de aplicações industriais (por exemplo, na otimização de processos de extração e purificação) e apoiar estratégias para modificação química ou física do material. Conseqüentemente, a caracterização físico-química *transcende* o mero levantamento descritivo, estabelecendo-se como uma ferramenta indispensável para o avanço científico e tecnológico relacionado à balata (Matos, 2004).

Entre os métodos empregados na avaliação da estabilidade térmica de materiais poliméricos, destaca-se a análise térmica, cujas técnicas mais representativas incluem a análise termogravimétrica ou termogravimetria (TGA) e a calorimetria exploratória diferencial (DSC). A TGA permite monitorar as variações de massa da amostra em função do aumento controlado da temperatura ou do tempo, sob atmosfera inerte ou oxidante, fornecendo informações cruciais sobre processos de degradação térmica, volatilização de componentes e estabilidade global do material (Matos, 2004).

A DSC, por sua vez, possibilita identificar eventos endotérmicos e exotérmicos associados à fusão, cristalização ou *transições* vítreas, por meio da medição das diferenças no fluxo de calor entre a amostra e a referência (Mothé; Azevedo, 2009). No caso específico da balata, essas técnicas são essenciais para determinar temperaturas críticas relacionadas ao processamento industrial e ao uso final do material, bem como para avaliar modificações estruturais decorrentes do envelhecimento térmico (Gonçalves, 2017).

As técnicas espectroscópicas desempenham um papel central na identificação qualitativa dos grupos funcionais presentes em materiais poliméricos complexos. A espectroscopia no infravermelho com *transformada* de Fourier (FTIR) é amplamente utilizada devido à sua capacidade de detectar vibrações moleculares características associadas às ligações químicas predominantes na matriz polimérica (Smith, 1996). Por meio da análise dos espectros obtidos, é possível inferir a presença de grupos como carbonila (C=O), duplas ligações (C=C), hidroxilas (-OH), entre outros, relevantes para a estrutura química da balata (Manrich, 2013).

A determinação das propriedades físicas clássicas representa outro eixo fundamental na caracterização abrangente de materiais poliméricos naturais. Medidas precisas da temperatura de fusão fornecem indicações diretas sobre a pureza relativa e eventuais heterogeneidades estruturais e a avaliação da densidade permite inferências sobre o grau de compactação molecular e possíveis variações composicionais entre diferentes lotes amostrais (Manrich, 2013). O índice de refração constitui um parâmetro sensível às alterações microestruturais promovidas por modificações químicas ou tratamentos físicos aplicados à balata. Esses dados físicos complementam as informações obtidas por métodos analíticos avançados, fornecendo parâmetros comparativos úteis tanto para controle tecnológico quanto para fins taxonômicos (Altman, 1956).

No campo mecânico, ensaios padronizados são conduzidos com o objetivo de avaliar propriedades fundamentais, como resistência à tração, módulo elástico e dureza superficial, sob diferentes condições experimentais controladas. Tais testes permitem quantificar o comportamento visco elástico típico de polímeros naturais frente à aplicação progressiva ou cíclica de cargas externas informações essenciais para prever o desempenho do material em aplicações industriais específicas que demandam flexibilidade combinada com robustez estrutural (Cassu; Felisberti, 2005). Adicionalmente, ensaios dinâmico-mecânicos podem ser utilizados para investigar respostas dependentes da frequência ou da temperatura, ampliando a compreensão do comportamento mecânico do material.

A integração dos diferentes métodos analíticos empregados neste trabalho resulta em um conjunto de informações capaz de descrever, com elevado grau de detalhamento, as características físico-químicas da balata. A combinação de dados provenientes de análises térmicas, espectroscópicas, cromatográficas e físico-

mecânicas possibilita a construção de uma visão integrada do comportamento do material sob diferentes condições operacionais e ambientais, além de favorecer a identificação de anomalias processuais que possam comprometer seu desempenho final (Cassu; Felisberti, 2005).

Apesar dos avanços metodológicos recentes, que ampliaram consideravelmente o escopo das análises aplicáveis à balata, persistem desafios inerentes à heterogeneidade natural desse tipo específico de biomaterial incluindo a variabilidade sazonal na composição química primária e a presença frequente de impurezas orgânicas e inorgânicas, de difícil remoção nas etapas preparatórias convencionais.

Adicionalmente, limitações instrumentais relacionadas à sensibilidade analítica mínima necessária para a detecção confiável de componentes minoritários podem restringir parcialmente o alcance interpretativo dos resultados obtidos. Assim, recomenda-se a atualização tecnológica, aliada ao desenvolvimento contínuo de protocolos específicos, adaptados às particularidades desse sistema polimérico natural singular.

## **4.1 Material e Métodos**

Este capítulo descreve os materiais, reagentes, equipamentos e procedimentos experimentais empregados na caracterização físico-química da balata. Inicialmente, são apresentados os materiais utilizados, incluindo a origem da balata, reagentes, solventes e principais instrumentos analíticos. Em seguida, são detalhados os métodos experimentais adotados para a avaliação das propriedades térmicas, químicas e mecânicas do material, bem como as normas técnicas utilizadas em cada ensaio, garantindo a reprodutibilidade e a confiabilidade dos resultados obtidos.

### **4.1.1 Balata**

A balata utilizada neste estudo foi obtida a partir de folhas doadas pelo artesão Darlindo Oliveira, provenientes da extração do látex de árvores da espécie *Manilkara bidentata*, coletados na região de Monte Alegre, PA. O material foi fornecido em

estado sólido, sem aditivos ou tratamentos químicos prévios, representando a forma tradicionalmente comercializada do polímero natural.

Antes da realização dos ensaios, as folhas de balata foram armazenadas em ambiente controlado e submetidos a procedimentos de limpeza superficial e preparação mecânica, conforme descrito na seção de métodos.

#### **4.1.2 Reagentes e solventes**

Os reagentes e solventes utilizados nos ensaios experimentais incluíram tetrahidrofurano (THF), grau analítico, empregado como solvente na preparação das amostras para cromatografia de permeação em gel (GPC), além de solventes auxiliares utilizados na limpeza de vidrarias e preparação de superfícies, quando necessário. Todos os reagentes foram utilizados conforme recebidos, sem purificação adicional.

#### **4.1.3 Preparação das amostras**

As amostras de balata utilizadas neste estudo foram obtidas a partir de folhas sólidas do polímero natural, fornecidos em estado bruto, sem adição de agentes químicos ou tratamentos prévios. Considerando a heterogeneidade intrínseca da balata, decorrente tanto de sua origem natural quanto das condições artesanais de extração e processamento, foi adotado um protocolo padronizado de preparação das amostras, com o objetivo de garantir reprodutibilidade, homogeneidade relativa e confiabilidade dos resultados experimentais.

Inicialmente, as folhas de balata foram submetidas à limpeza superficial, removendo-se impurezas visíveis, resíduos particulados e materiais aderidos provenientes do armazenamento e *transporte*. Em seguida, o material foi seccionado mecanicamente utilizando ferramentas apropriadas, de modo a obter amostras representativas das diferentes regiões do bloco, minimizando possíveis efeitos de segregação ou gradientes composicionais.

Para os ensaios térmicos, espectroscópicos, mecânicos (dureza, abrasão, tração e deformação permanente à compressão), as amostras foram preparadas a partir de placas obtidas por corte mecânico dos blocos originais. Os corpos de prova

foram confeccionados conforme as dimensões e geometrias especificadas nas normas técnicas aplicáveis a cada ensaio, respeitando-se, sempre que possível, o sentido de laminação ou moldagem do material. Quando necessário, foram utilizadas ferramentas de corte e vazamento adequadas para a obtenção de corpos de prova reprodutíveis.

Em todos os casos, as amostras foram armazenadas em recipientes adequados, protegidas da luz, umidade excessiva e fontes de calor, até o momento da realização dos ensaios. Esse conjunto de procedimentos assegurou condições experimentais consistentes, permitindo a comparação confiável entre os resultados obtidos pelas diferentes técnicas analíticas empregadas neste trabalho.

#### **4.1.4 Espectroscopia no Infravermelho (FTIR)**

A espectroscopia no infravermelho com *transformada* de Fourier (FTIR) foi empregada com o objetivo de identificar qualitativamente os principais grupos funcionais presentes na balata, bem como de monitorar possíveis alterações estruturais associadas a processos de degradação térmica ou envelhecimento do material.

As análises foram realizadas em um espectrômetro FTIR equipado com acessório de refletância total atenuada (ATR), disponível no Instituto SENAI de Inovação em Engenharia de Polímeros. As amostras de balata foram analisadas na forma sólida, sem necessidade de preparo químico prévio, sendo posicionadas diretamente sobre o cristal ATR, garantindo boa reprodutibilidade e minimizando interferências externas.

Os espectros foram adquiridos na faixa espectral de 4000 a 650  $\text{cm}^{-1}$ , com resolução espectral adequada para a identificação das bandas características associadas às vibrações moleculares da cadeia polimérica. Para cada amostra, foram realizadas múltiplas varreduras, sendo o espectro final obtido pela média das aquisições, com o objetivo de melhorar a relação sinal-ruído.

A interpretação dos espectros de FTIR foi conduzida com base na atribuição das bandas características do poliisopreno *trans*-1,4, bem como na identificação de possíveis grupos funcionais associados a constituintes secundários da balata, tais como resinas naturais, ceras e produtos de oxidação. Bandas atribuídas a

estiramentos de ligações C–H, deformações angulares de grupos metilênicos, vibrações associadas a duplas ligações C=C e possíveis sinais de grupos carbonila (C=O) foram analisadas de forma comparativa, visando correlacionar a composição química com os resultados obtidos por outras técnicas de caracterização.

Os dados espectroscópicos obtidos por FTIR foram utilizados de forma complementar às análises térmicas e mecânicas, contribuindo para a compreensão integrada da estrutura química da balata e de seu comportamento físico-químico.

#### **4.1.5 Cromatografia de Permeação em Gel (GPC)**

A cromatografia de permeação em gel (GPC) foi empregada com o objetivo de determinar a distribuição de massa molar da balata, bem como parâmetros associados, tais como massa molar média em número ( $M_n$ ), massa molar média em peso ( $M_w$ ) e índice de polidispersidade ( $\mathcal{D}$ ). Nesse método, o polímero é dissolvido em um solvente apropriado e submetido à passagem por colunas preenchidas com material poroso, promovendo a separação das macromoléculas em função de seu tamanho hidrodinâmico, sem interação química significativa com a fase estacionária.

As análises foram conduzidas de acordo com as normas ASTM D5296, referente à determinação de massa molar por GPC de polímeros solúveis, e ASTM D6474, relativa à determinação da distribuição de massa molar. Fragmentos limpos de balata foram previamente preparados e dissolvidos em tetrahidrofurano (THF), sob agitação suave, à temperatura ambiente controlada ( $25 \pm 2$  °C), por um período mínimo de 24 h, visando à completa solubilização do material. As soluções poliméricas foram preparadas em concentrações na faixa de 1 a 2 mg·mL<sup>-1</sup>.

Após a dissolução, as amostras foram filtradas em filtros de Polímero Sintético Fluorinado - PTFE com porosidade de 0,45 µm, a fim de remover partículas insolúveis e evitar o comprometimento das colunas cromatográficas. O THF foi utilizado como fase móvel durante as análises.

A determinação das massas molares foi realizada por calibração convencional, empregando padrões de poliestireno de baixa dispersidade ( $\mathcal{D} \approx 1,02-1,08$ ), na faixa de massa molar de  $10^3$  a  $10^5$  Da. A curva de calibração foi construída a partir da relação entre o logaritmo da massa molar ( $\log M$ ) e o volume de retenção, permitindo a obtenção das distribuições de massa molar da balata.

#### 4.1.6 Análise térmica

As análises térmicas foram realizadas com o objetivo de investigar o comportamento térmico da balata, avaliando sua estabilidade térmica, eventos de degradação e *transições* associadas à mobilidade das cadeias poliméricas. Para esse fim, foram empregadas as técnicas de análise termogravimétrica (TGA) e calorimetria exploratória diferencial (DSC), amplamente utilizadas na caracterização de materiais poliméricos.

Para os ensaios térmicos (DSC e TGA), a balata foi fragmentada manualmente em pequenas porções, selecionando-se massas compatíveis com os requisitos instrumentais de cada técnica. As amostras destinadas à análise termogravimétrica e à calorimetria exploratória diferencial foram acondicionadas e pré-condicionadas em ambiente controlado, a  $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$  e  $(50 \pm 5) \%$  de umidade relativa, por um período mínimo de 24 h, antes da realização dos ensaios.

As análises termogravimétricas (TGA) foram realizadas no equipamento da *TA Instruments* Modelo Q500, disponível no Instituto SENAI de Inovação em Engenharia de Polímeros. O ensaio de TGA foi realizado baseando-se na norma ASTM E 1131. Para a realização das análises os seguintes parâmetros foram empregados: massa de aproximadamente 9,16 mg, porta-amostra de platina, taxa de aquecimento de  $10 ^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ , atmosfera inerte de nitrogênio com fluxo de  $50 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ , faixa de temperatura de  $25 ^\circ\text{C}$  a  $1000 ^\circ\text{C}$ .

Já as análises de calorimetria exploratória diferencial foram realizadas em equipamento disponível no Instituto SENAI de Inovação em Engenharia de Polímeros, de acordo com a norma ASTM D3418. Os ensaios foram conduzidos em modo de varredura dupla (*dual scan*), compreendendo um ciclo de aquecimento, resfriamento e novo aquecimento, com o objetivo de eliminar o histórico térmico da amostra e permitir a identificação confiável das *transições* térmicas.

Aproximadamente 5 mg de amostra foram acondicionadas em porta-amostra hermético de alumínio. Os ensaios foram realizados com taxas de aquecimento e resfriamento de  $10 ^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ , sob atmosfera inerte de hélio, utilizando fluxo controlado do gás de arraste. As análises foram conduzidas em duas faixas de temperatura

distintas: de  $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , no primeiro estudo, e posteriormente de  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ , com o objetivo de investigar *transições* térmicas relevantes e possíveis processos de reorganização molecular ou fusão de frações cristalinas.

Os resultados obtidos por DSC foram analisados em conjunto com os dados de TGA, permitindo uma interpretação integrada do comportamento térmico e da estabilidade da balata.

#### 4.1.7 Determinação da densidade

A determinação da densidade da balata foi realizada por meio da medição da massa e do volume das amostras, visando obter um parâmetro físico fundamental para a caracterização do material e para subsidiar cálculos posteriores, em especial a conversão dos resultados do ensaio de abrasão de perda de massa para perda relativa de volume.

O ensaio foi conduzido de acordo com a norma ISO 2781:2018 – Método A, utilizando corpos de prova não padronizados. As amostras foram previamente pré-condicionadas por um período mínimo de 3 h, sob as condições ambientais do laboratório, a fim de assegurar estabilidade térmica e dimensional antes da realização das medições.

A massa das amostras foi determinada em balança analítica, enquanto o volume foi obtido por deslocamento de líquido, com base no Princípio de Arquimedes. Para a determinação do volume, utilizou-se proveta graduada de vidro borossilicato, com capacidade de 25 mL e resolução de 0,1 mL, adequada para medições por deslocamento volumétrico. Durante o ensaio, foi empregada água destilada como fluido de imersão, cuja temperatura no momento da medição foi de  $21,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , correspondente a uma densidade de  $0,9980\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ .

A densidade da balata foi calculada a partir da razão entre a massa medida no ar e o volume determinado pelo deslocamento do líquido, conforme o procedimento estabelecido pela norma ISO 2781:2018. Os ensaios foram realizados em múltiplas amostras, sendo os resultados expressos como valores médios acompanhados do respectivo desvio padrão.

Os valores de densidade obtidos foram utilizados diretamente nos cálculos de perda relativa de volume no ensaio de resistência à abrasão, bem como como parâmetro complementar na análise das propriedades físico-mecânicas da balata.

#### **4.1.8 Ensaio de dureza (Shore A)**

O ensaio de dureza teve como objetivo avaliar a resistência da balata à penetração sob condições controladas, fornecendo um indicativo de sua rigidez superficial e do comportamento mecânico do material em regime de deformação localizada. Esse ensaio é amplamente utilizado na caracterização de materiais elastoméricos e poliméricos flexíveis, permitindo comparações diretas com outros materiais de natureza semelhante.

As medições de dureza foram realizadas de acordo com a norma ISO 48-4:2018, utilizando um durômetro digital Shore A (Bareiss, nº de série 64662). As leituras foram efetuadas com tempo de aplicação da carga de 3 s, conforme recomendado pela norma, a fim de garantir a estabilização da profundidade de penetração do indentador.

Os corpos de prova foram preparados a partir de placas de balata, sendo empilhados em três camadas, de modo a atingir espessura total de aproximadamente 10,85 mm, determinada por meio de paquímetro digital, com resolução de 0,01 mm, assegurando condições adequadas para a realização do ensaio e minimizando a influência do substrato. Antes das medições, as amostras foram pré-condicionadas por 24 h em ambiente controlado, a  $(23 \pm 2)$  °C e  $(50 \pm 5)$  % de umidade relativa.

As medições foram realizadas em diferentes pontos da superfície das amostras, respeitando o espaçamento mínimo entre as impressões, conforme especificado pela norma, de modo a evitar interferências entre regiões deformadas. Para cada corpo de prova, foram realizadas múltiplas leituras, sendo os resultados expressos como valores médios acompanhados do respectivo desvio padrão.

A calibração do equipamento encontrava-se válida no momento da realização dos ensaios, com última verificação realizada em fevereiro de 2025, assegurando a confiabilidade metrológica dos dados obtidos.

#### **4.1.9 Resistência à abrasão**

O ensaio de abrasão foi realizado com o objetivo de avaliar a resistência ao desgaste superficial da balata quando submetida à ação mecânica abrasiva, fornecendo informações relevantes sobre sua durabilidade e desempenho em aplicações que envolvem atrito contínuo.

Os ensaios foram conduzidos de acordo com a norma ISO 4649:2019, Método A, utilizando um abrasímetro do tipo DIN, disponível no Instituto SENAI de Inovação em Engenharia de Polímeros. Os corpos de prova foram preparados conforme as dimensões e especificações estabelecidas pela norma, assegurando condições adequadas de contato entre a amostra e o material abrasivo durante o ensaio (Figura 7) os corpos de prova possuíam diâmetro  $16 \pm 0,2$  mm e espessura mínima 6 mm, foram 5 ao todo.

No Método A, os corpos de prova foram submetidos ao desgaste por contato com lixa abrasiva padronizada, sob carga normal constante e percurso linear definido, promovendo a remoção controlada de material da superfície da amostra. A resistência à abrasão foi inicialmente determinada a partir da perda de massa do corpo de prova após o ensaio, medida em balança analítica com resolução adequada.

Com o objetivo de normalizar os resultados e permitir comparações mais adequadas entre materiais, a perda de massa foi convertida em perda relativa de volume, conforme recomendado pela norma ISO 4649:2019. Para essa conversão, foi utilizado o valor de densidade do material, determinado previamente, de acordo com a Equação (1):

$$\Delta V = \frac{\Delta m}{\rho} \quad \text{Equação (1)}$$

onde:

$\Delta V$  corresponde à perda de volume ( $\text{mm}^3$ ),

$\Delta m$  à perda de massa (mg), e

$\rho$  à densidade do material ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ) (valor de referência usado  $1,3581\text{g}/\text{cm}^3$ ).

Antes e após o ensaio, os corpos de prova foram cuidadosamente limpos para remoção de partículas soltas e resíduos abrasivos, assegurando a precisão das medições de massa. Para cada condição avaliada, os ensaios foram realizados em múltiplas amostras, sendo os resultados expressos como valores médios

acompanhados do respectivo desvio padrão, tanto em termos de perda de massa quanto de perda relativa de volume.

Figura 7 - Corpos de prova utilizados nos ensaios de resistência à abrasão e de deformação permanente à compressão (DPC).



Fonte: SENAI (2025)

#### 4.1.10 Deformação Permanente à compressão sob deformação constante

A avaliação da deformação permanente à compressão da balata foi realizada com o objetivo de investigar a capacidade do material de recuperar sua forma original após a aplicação de uma deformação compressiva mantida por um período determinado. Esse ensaio fornece informações relevantes sobre o comportamento viscoelástico da balata e sua aptidão para aplicações que envolvem cargas compressivas contínuas ou repetitivas.

Os ensaios foram conduzidos de acordo com a norma ISO 815-1:2019 – Método B, utilizando cinco corpos de prova do tipo A, preparados conforme as dimensões estabelecidas pela norma. Para a realização do ensaio, os corpos de prova foram empilhados em duas camadas, de modo a atingir a espessura adequada para a aplicação da deformação prescrita.

Antes da realização dos ensaios, as amostras foram pré-condicionadas por 24 h nas condições ambientais controladas do laboratório, a  $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ , garantindo estabilidade térmica e dimensional. Durante o ensaio, foi aplicada uma deformação

compressiva de aproximadamente 25 %, mantida de forma constante ao longo do período especificado pela norma ISO 815-1. Foram utilizados espaçadores com espessura de 7,441 mm, assegurando a imposição controlada da deformação desejada.

Para minimizar o atrito entre as superfícies de contato e evitar efeitos de *cisalhamento* indesejados, foi utilizado talco como lubrificante, conforme recomendado pela norma ISO 815-1. A Figura 7 apresenta os corpos de prova utilizados nos ensaios de deformação permanente à compressão, bem como nos ensaios de abrasão, evidenciando a geometria, o empilhamento das amostras e o estado dos corpos de prova antes da realização dos testes.

Após o período de compressão, a carga foi removida e os corpos de prova foram mantidos em repouso pelo tempo de recuperação especificado na norma. A deformação permanente à compressão foi determinada a partir da medição das espessuras inicial e final das amostras, sendo os valores calculados conforme a expressão estabelecida na ISO 815-1:2019 e expressos em percentual de deformação residual.

#### **4.1.11 Resistência à tração**

A resistência à tração da balata foi avaliada por meio de ensaios mecânicos específicos, com o objetivo de determinar sua resistência máxima à tração e o alongamento correspondente até a ruptura. Nesse método, o material é submetido a uma força de tração crescente aplicada de forma contínua, permitindo a análise do comportamento mecânico sob carregamento uniaxial.

Os ensaios foram realizados de acordo com a norma DIN 53 504, equivalente à ISO 37:2017, utilizando oito corpos de prova do tipo 2, vazados a partir de placas de balata previamente preparadas. Os corpos de prova apresentaram espessura inferior à indicada pela norma ( $2 \pm 0,2$  mm), condição que foi mantida de forma consistente para todas as amostras ensaiadas. Os ensaios foram conduzidos com os corpos de prova orientados paralelamente ao sentido de laminação das placas, de modo a avaliar o comportamento mecânico do material nessa direção preferencial.

Antes da realização dos ensaios, as amostras foram pré-condicionadas por 24h nas condições ambientais do laboratório, garantindo estabilidade térmica e

dimensional. Os ensaios de tração foram realizados em máquina universal de ensaios, equipada com garras adequadas para materiais elastoméricos, a fim de evitar escorregamento ou danos prematuros aos corpos de prova.

A carga foi aplicada com velocidade de afastamento das garras de  $200 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ , conforme especificado pela norma, até a ruptura do corpo de prova. Durante o ensaio, foram registrados os valores de força e alongamento, permitindo a obtenção das curvas tensão–deformação.

A partir dessas curvas, foram determinados os valores de resistência máxima à tração e alongamento na ruptura. Para cada condição experimental, os resultados foram expressos como valores médios acompanhados do respectivo desvio padrão. A Figura 8 apresenta os corpos de prova utilizados nos ensaios de tração, evidenciando sua geometria e orientação em relação ao sentido de laminação.

Figura 8 - Corpos de prova do tipo 2 utilizados nos ensaios de tração, orientados paralelamente ao sentido de laminação.



Fonte: SENAI (2025)

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos a partir das diferentes técnicas de caracterização aplicadas à balata, com o objetivo de correlacionar sua estrutura química, distribuição de massa molar, comportamento térmico e propriedades físico-mecânicas. A discussão dos resultados foi organizada de forma progressiva, iniciando-se pelas análises químicas e estruturais, seguidas pelas caracterizações térmicas e físicas, e culminando nos ensaios mecânicos, de modo a permitir uma compreensão integrada do comportamento do material. Sempre que pertinente, os resultados obtidos foram comparados com dados reportados na literatura, visando contextualizar o desempenho da balata em relação a outros elastômeros naturais e materiais poliméricos.

### 5.1 Espectroscopia por Infravermelho com *Transformada de Fourier*

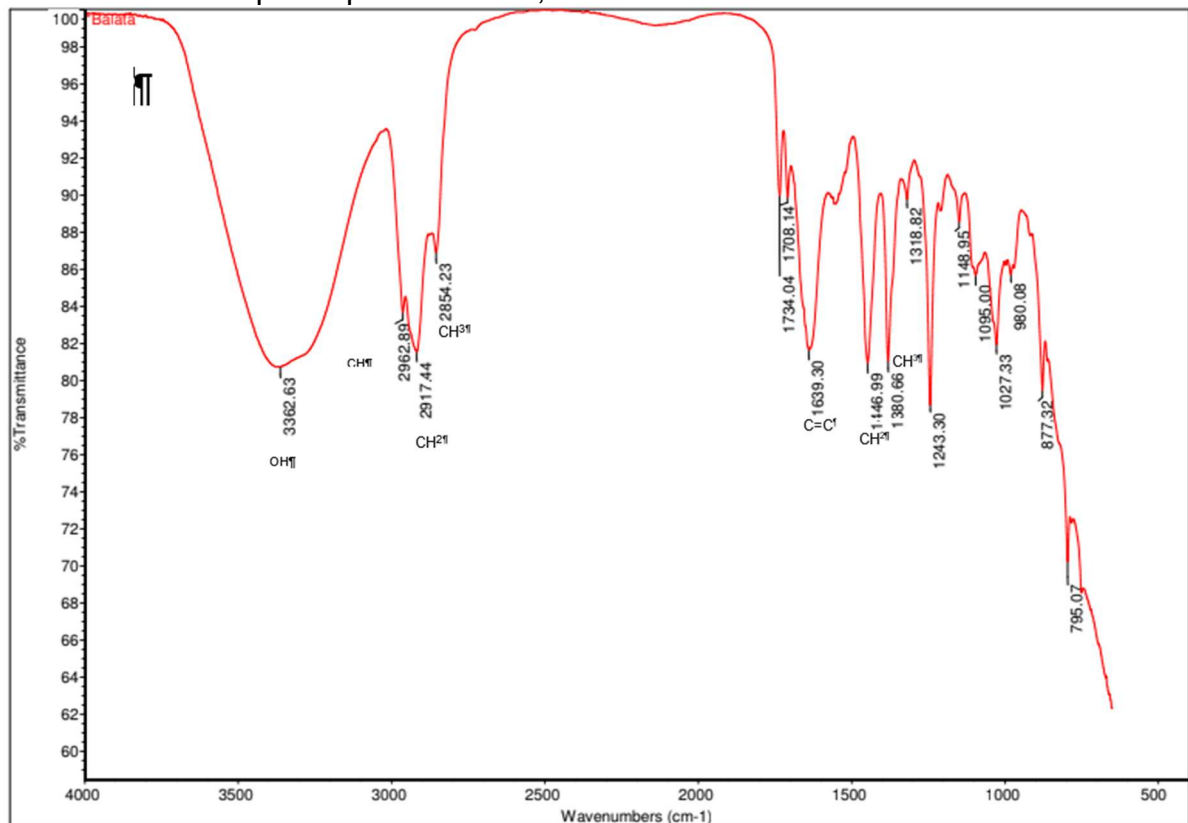
A Figura 9 apresenta o espectro de FTIR da balata, obtido na região de 4000 a 500  $\text{cm}^{-1}$ , permitindo a identificação qualitativa dos principais grupos funcionais presentes no material e a avaliação de sua compatibilidade com a estrutura esperada para polímeros naturais à base de poliisopreno *trans*-1,4.

Observa-se uma banda larga centrada em aproximadamente 3326  $\text{cm}^{-1}$ , atribuída a estiramentos O–H, possivelmente associados à presença de hidroxilas provenientes de constituintes secundários, como resinas naturais, traços de umidade adsorvida ou produtos de oxidação superficial. A presença dessa banda é comum em polímeros naturais e materiais de origem vegetal, especialmente quando não submetidos a processos rigorosos de purificação (Silverstein et al., 2005; Socrates, 2001).

Na região de 3000–2800  $\text{cm}^{-1}$ , são observadas bandas características em 2962, 2917 e 2854  $\text{cm}^{-1}$ , atribuídas aos estiramentos assimétricos e simétricos das ligações C–H de grupos metilênicos ( $-\text{CH}_2-$ ) e metílicos ( $-\text{CH}_3$ ). Essas bandas confirmam a natureza predominantemente hidrocarbonada da balata e são típicas de cadeias poliprênicas longas (Coates, 2000; Smith, 1996).

A banda localizada em  $1639\text{ cm}^{-1}$  é atribuída ao estiramento da ligação dupla  $\text{C}=\text{C}$ , característica da unidade repetitiva da isoprena. A presença bem definida dessa banda indica a manutenção das insaturações ao longo da cadeia polimérica, sendo compatível com a estrutura do poliisopreno. A posição da banda encontra-se dentro da faixa espectral classicamente reportada para balata e outros elastômeros naturais não vulcanizados (Mark; Erman; Eirich, 2005; van Krevelen, 1950).

Figura 9 - Espectro de FTIR da balata na região de  $4000$  a  $500\text{ cm}^{-1}$ , evidenciando as principais bandas associadas às vibrações das ligações  $\text{C}-\text{H}$ ,  $\text{C}=\text{C}$  e grupos  $\text{O}-\text{H}$  característicos do poliisopreno *trans*-1,4.



Fonte: Autoria própria (2026).

Na faixa entre  $1450$  e  $1370\text{ cm}^{-1}$ , observam-se bandas em  $1446$ ,  $1380$  e  $1318\text{ cm}^{-1}$ , atribuídas às deformações angulares dos grupos  $\text{CH}_2$  e  $\text{CH}_3$ . Essas vibrações são típicas de polímeros alifáticos e reforçam a atribuição estrutural do material como um polímero insaturado de cadeia longa.

A região de  $1250$ – $1000\text{ cm}^{-1}$  apresenta múltiplas bandas, com destaque para sinais em  $1243$ ,  $1095$ ,  $1027$  e  $980\text{ cm}^{-1}$ , que podem ser atribuídos a vibrações de estiramento  $\text{C}-\text{C}$  e deformações fora do plano de ligações  $=\text{C}-\text{H}$ , associadas à presença de duplas ligações na cadeia polimérica. Essas bandas são frequentemente

reportadas em espectros de poliisopreno *trans*-1,4 e auxiliam na distinção entre diferentes microestruturas isoméricas (Socrates, 2001; Mark; Erman; Eirich, 2005).

Em regiões de menor número de onda, destacam-se bandas em 877 e 795  $\text{cm}^{-1}$ , atribuídas a vibrações fora do plano das ligações C–H associadas às duplas ligações, consideradas marcadores importantes da configuração *trans*-1,4 do poliisopreno. A presença dessas bandas é consistente com dados espectrais clássicos para balata e para poliisopreno *trans*, permitindo diferenciá-lo de outras formas estruturais, como o *cis*-1,4-poliisopreno predominante na borracha natural (van Krevelen, 1950; Coates, 2000).

Essa distinção estrutural reflete-se também nas propriedades macromoleculares do material, uma vez que a configuração *trans* tende a originar cadeias mais organizadas e com maior grau de cristalinidade, o que se expressa nos valores de massa molar média obtidos, situando-se na faixa de 88.000 a 89.000  $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$  quando dissolvida em tolueno. Esses valores correspondem a cadeias com aproximadamente 450 unidades de isopreno (Coates, 2000).

De modo geral, o espectro apresentado na Figura 14 confirma que a balata analisada é constituída predominantemente por poliisopreno *trans*-1,4, com a presença de constituintes secundários oxigenados em baixa intensidade, evidenciados principalmente pela banda larga de O–H. A ausência de bandas intensas na região de 1750–1700  $\text{cm}^{-1}$ , típicas de grupos carbonila, indica baixo grau de oxidação, sugerindo que o material se encontra relativamente preservado do ponto de vista químico.

O espectro FTIR da Balata mostrou bandas típicas de um polímero isoprenóide, confirmando a presença de ligações C=C conjugadas e de grupos metileno e metila. As bandas em 1639  $\text{cm}^{-1}$  e 877  $\text{cm}^{-1}$  são características de polienos 1,4-substituídos, compatíveis com o poliisopreno. Essas observações indicam que a Balata, quimicamente, apresenta estrutura similar à borracha natural, diferindo apenas na geometria *trans* das ligações duplas (Coates, 2000).

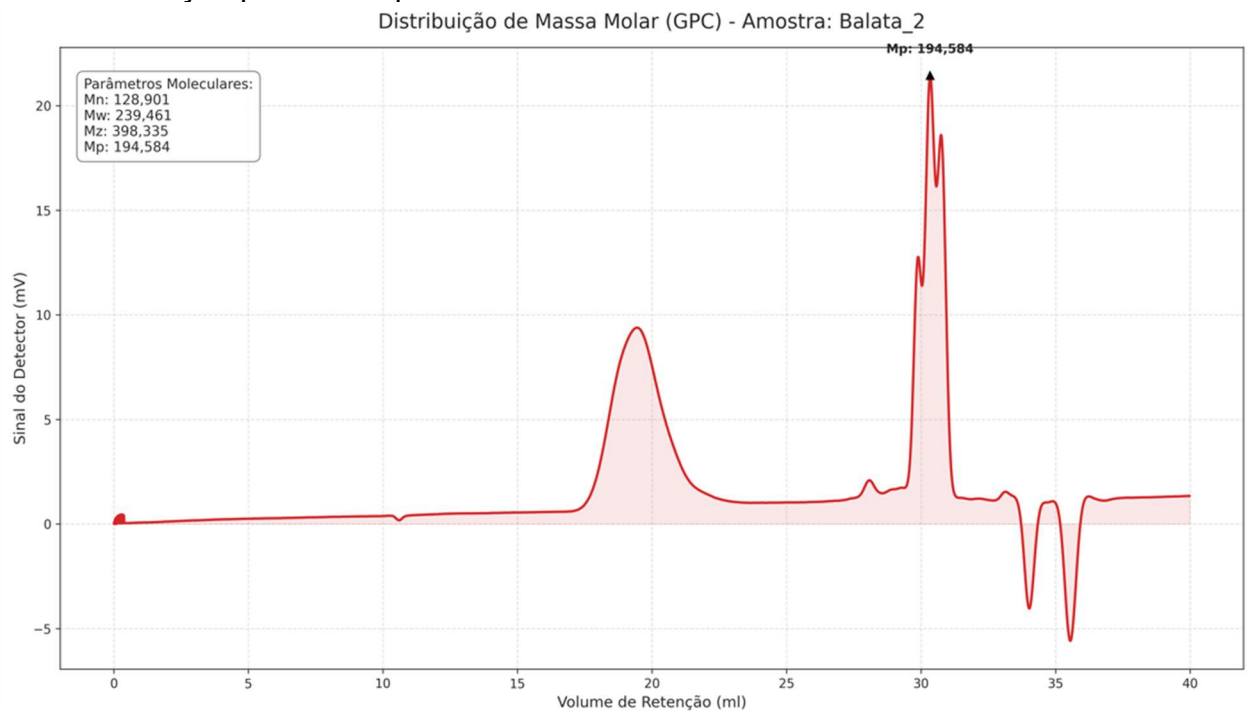
## 5.2 Cromatografia de Permeação em Gel (GPC)

A Figura 10 apresenta o cromatograma obtido por cromatografia de permeação em gel (GPC) para a amostra de balata, permitindo a determinação da distribuição de

massa molar e dos principais parâmetros moleculares do material. A análise foi conduzida por calibração convencional com padrões de poliestireno, fornecendo valores aparentes de massa molar, adequados para fins comparativos e interpretativos.

De acordo com os dados extraídos do cromatograma, a balata apresentou massa molar média em número ( $M_n$ ) de  $128.901 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ , massa molar média em peso ( $M_w$ ) de  $239.461 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$  e massa molar média Z ( $M_z$ ) de  $398.335 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ , resultando em um índice de polidispersidade ( $\mathcal{D} = M_w/M_n$ ) de aproximadamente 1,86. Esse valor indica uma distribuição de massas molares relativamente ampla, característica típica de polímeros naturais, nos quais os processos de biossíntese e extração não permitem controle rigoroso da arquitetura macromolecular.

Figura 10 - Cromatograma de GPC da balata, evidenciando a distribuição de massa molar e a fração polimérica predominante.



Fonte: Autoria própria (2026)

O cromatograma evidencia a presença de mais de uma população de cadeias poliméricas, com um pico principal associado à fração de maior massa molar e uma contribuição significativa de cadeias de menor massa molar, observada em volumes de retenção mais elevados. Esse comportamento sugere a coexistência de macromoléculas longas de poliisopreno com frações oligoméricas ou constituintes

secundários, como resinas naturais, frequentemente reportados para a balata e outros elastômeros naturais.

O valor de massa molar no pico máximo ( $M_p \approx 194.584 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ) indica que a fração predominante do material está concentrada em massas molares relativamente elevadas, correspondendo a cadeias poliméricas compostas por aproximadamente 2.800 a 2.900 unidades repetitivas de isopreno (considerando a massa molar da unidade de isopreno de  $68,12 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ).

Esse elevado comprimento de cadeia contribui diretamente para as propriedades mecânicas características da balata, como boa resistência ao desgaste e comportamento elastomérico com maior rigidez relativa quando comparada ao *cis*-1,4-poliisopreno predominante na borracha natural, cujas cadeias típicas apresentam massas molares mais baixas, geralmente na faixa de  $100.000$  a  $120.000 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$  para o pico principal (Mark; Erman; Eirich, 2005)

A diferença de massa molar e conformação (*trans*-1,4 vs. *cis*-1,4) está associada à maior cristalinidade e rigidez intrínseca da balata, influenciando diretamente propriedades como dureza, resistência ao desgaste e deformação permanente, conforme observado em ensaios mecânicos comparativos (Yang et al., 2018).

A polidispersidade observada ( $\text{Đ} \approx 1,86$ ) é superior àquela típica de polímeros sintéticos obtidos por processos controlados, mas encontra-se em concordância com valores reportados na literatura para elastômeros naturais e polímeros de origem vegetal. Essa heterogeneidade molecular contribui para uma combinação de propriedades mecânicas e térmicas, refletindo-se tanto na capacidade de deformação quanto na estabilidade térmica do material.

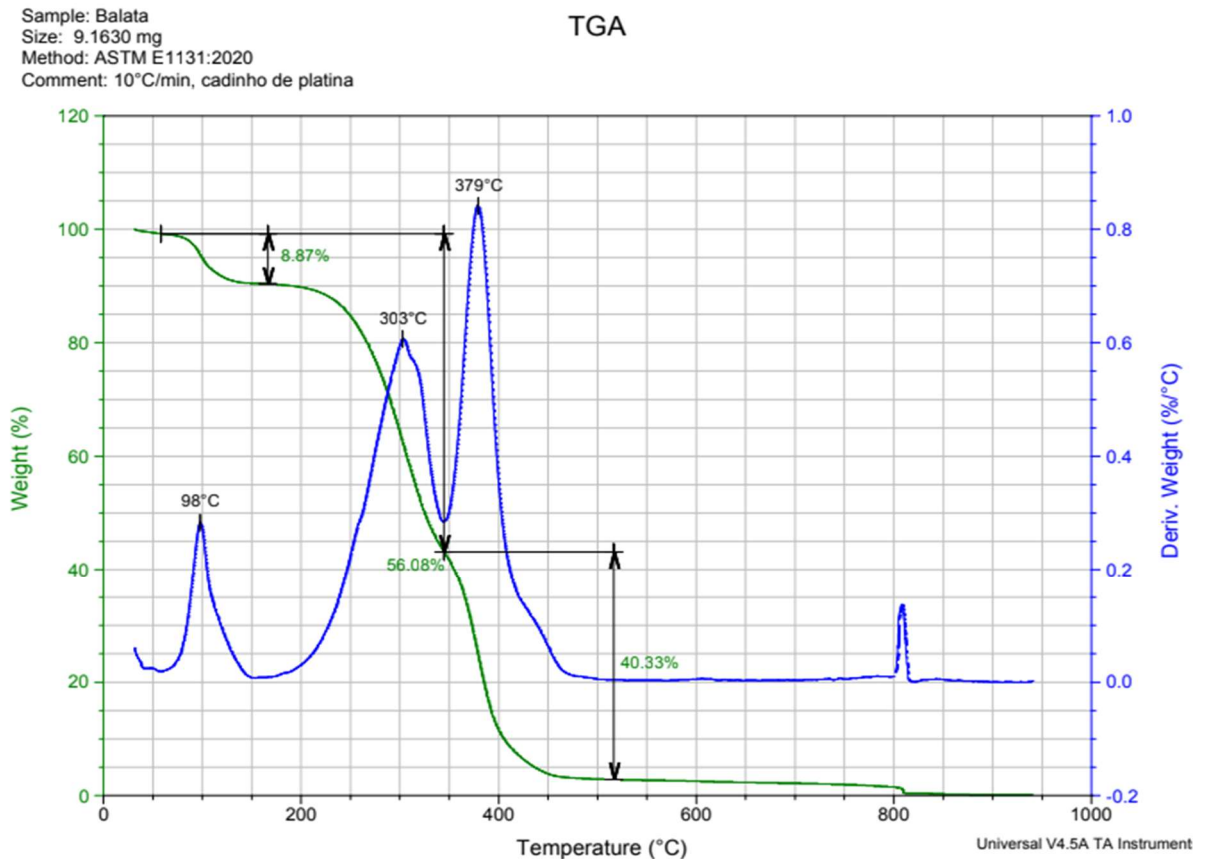
Os resultados obtidos por GPC estão em plena concordância com a caracterização química realizada por FTIR, que confirmou a predominância de poliisopreno *trans*-1,4 e a presença de constituintes secundários em baixa proporção. A integração dessas análises reforça a interpretação de que a balata estudada apresenta uma estrutura macromolecular típica de um elastômero natural, relativamente preservada do ponto de vista químico, porém intrinsecamente heterogênea em termos de distribuição de massa molar.

### 5.3 Análises Térmicas

A análise térmica foi empregada para investigar o comportamento térmico da balata, permitindo avaliar sua estabilidade térmica, eventos de degradação e *transições* associadas à mobilidade das cadeias poliméricas. As técnicas de análise termogravimétrica (TGA) e calorimetria exploratória diferencial (DSC) fornecem informações complementares, sendo fundamentais para a compreensão do desempenho do material em condições de processamento e uso.

A Figura 11 apresenta as curvas de TGA (linha verde) e DTG (derivada da massa – linha azul) da balata obtidas sob atmosfera inerte de nitrogênio, com taxa de aquecimento de  $10\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ . A análise evidencia pelo menos 4 estágios distintos de decomposição térmica, associados a diferentes processos físico-químicos do material e comprovados pela presença de 4 picos na DTG.

Figura 11 - Curva de TGA e DTG da balata obtida a  $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$  em atmosfera inerte de nitrogênio.



Fonte: SENAI (2025)

O primeiro estágio de perda de massa ocorre entre 50 °C e 150 °C, com pico máximo de decomposição em 98 °C, correspondendo a uma redução de aproximadamente 8,87 % da massa inicial. Esse evento está associado à eliminação de umidade adsorvida e de constituintes voláteis de baixa massa molar, tais como ceras, lipídios e frações resinosas leves, comumente presentes em polímeros naturais de origem vegetal. A presença dessa etapa inicial relativamente pronunciada indica que a balata apresenta teor significativo de componentes não poliméricos, em concordância com sua origem extrativista, com a literatura sobre elastômeros naturais e com os resultados obtidos por FTIR (Mark; Erman; Eirich, 2005; van Krevelen, 2009; Yang et al., 2018).

O segundo estágio, correspondente ao principal evento de degradação térmica do material, ocorre entre 150 °C e 350 °C, com máxima taxa de perda de massa em aproximadamente 303 °C, conforme indicado pelo pico intenso observado na curva DTG. Nessa etapa, verifica-se uma perda de massa de cerca de 56,08 %, atribuída à decomposição da cadeia principal do poliisopreno, envolvendo a *cisão* das ligações

da cadeia polimérica e a liberação de produtos voláteis de menor massa molar. Esse comportamento é característico de elastômeros naturais à base de poliisopreno e representa o estágio dominante da degradação térmica da balata, em concordância com dados amplamente reportados na literatura (Mark; Erman; Eirich, 2005; van Krevelen; te Nijenhuis, 2009; Yang et al., 2018).

O terceiro estágio de perda de massa é observado entre 350°C e 500°C, com pico de DTG em torno de 379 °C, associado a uma perda de aproximadamente 40,33%. Esse evento está relacionado à decomposição tardia e à degradação de resíduos orgânicos mais estáveis, bem como à evolução de estruturas carbonáceas formadas durante as etapas anteriores de degradação. A presença desse estágio indica que uma fração significativa do material sofre processos de decomposição em temperaturas mais elevadas, refletindo a complexidade composicional da balata, típica de polímeros naturais (Yang et al., 2018).

Após aproximadamente 500°C, a curva de TGA apresenta tendência à estabilização, indicando a formação de um resíduo carbonáceo de baixa reatividade térmica sob atmosfera inerte. A existência desse resíduo está associada tanto à natureza hidrocarbonada do poliisopreno quanto à presença de constituintes não voláteis e impurezas minerais em pequenas quantidades. A amostra ainda apresenta uma perda de massa por volta de 800°C, com resíduo zero a 1000°C (Mark; Erman; Eirich, 2005).

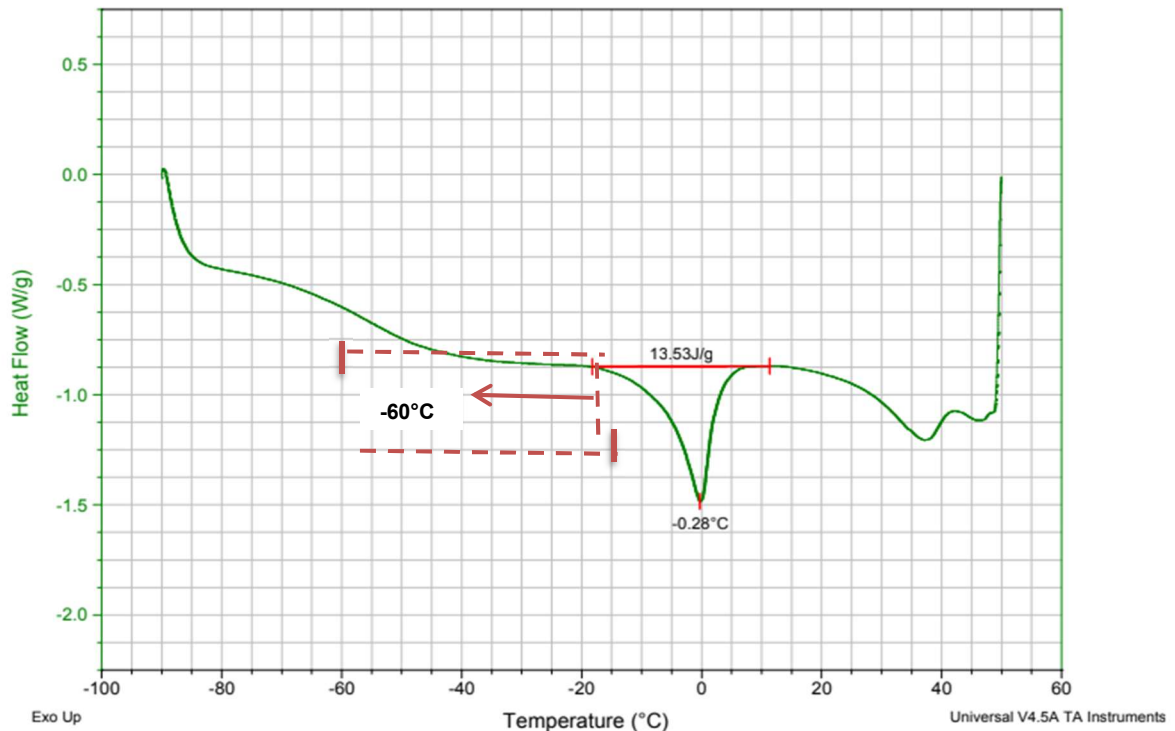
De modo geral, a análise termogravimétrica demonstra que a balata apresenta estabilidade térmica limitada a temperaturas inferiores a aproximadamente 150°C. Esses resultados fornecem parâmetros objetivos para a definição de limites seguros de processamento térmico do material e corroboram a necessidade de controle rigoroso das condições de aquecimento para evitar degradação prematura.

A Figura 12 apresenta a curva de DSC da balata obtida no intervalo de -100 a 50 °C (com sentido dos eventos exotérmicos orientados para cima). Observa-se um evento endotérmico pronunciado entre -18°C e 10°C, com temperatura de pico em -0,28 °C, acompanhado de uma entalpia de 13,53 J·g<sup>-1</sup>. A presença de um evento endotérmico bem definido nessa faixa de temperatura indica a ocorrência de um processo de absorção de calor, compatível com fusão ou reorganização térmica de uma fração específica do material.

Figura 12 - Curva de DSC da balata obtida pelo primeiro aquecimento entre -100°C e 50°C a 10°C/min.

Sample: Balata  
Size: 5.5400 mg  
Method: ASTM D3418:2021

DSC



Fonte: SENAI (2025)

Considerando a natureza da balata (predominância de poliisopreno *trans*-1,4 confirmada por FTIR), esse evento endotérmico pode ser atribuído, com maior plausibilidade, a fusão de uma fração de baixa temperatura, relacionada a constituintes de menor massa molar e/ou frações não borracha (como ceras e resinas naturais), ou ainda a domínios localmente ordenados presentes em pequena proporção. A magnitude da entalpia ( $13,53 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$ ) reforça que se trata de um evento relevante e não de ruído de linha de base.

Além disso, no intervalo entre aproximadamente  $-79 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ , observa-se um desvio amplo e gradual da linha de base no sentido endotérmico, característico de uma *transição vítrea* ( $T_g$ ). A  $T_g$  da balata foi determinada em  $-60 \text{ }^\circ\text{C}$ , valor obtido a partir do ponto médio dessa região de *transição*. A largura do evento está associada à distribuição de massa molar moderadamente larga da amostra, evidenciada por GPC ( $\mathcal{D} \approx 1,86$ ), indicando a presença de múltiplas frações com diferentes níveis de organização e mobilidade segmentar. Ressalta-se que a temperatura de *transição*

vítrea representa uma faixa de *transição*, e não um valor pontual, especialmente em materiais poliméricos naturais e heterogêneos.

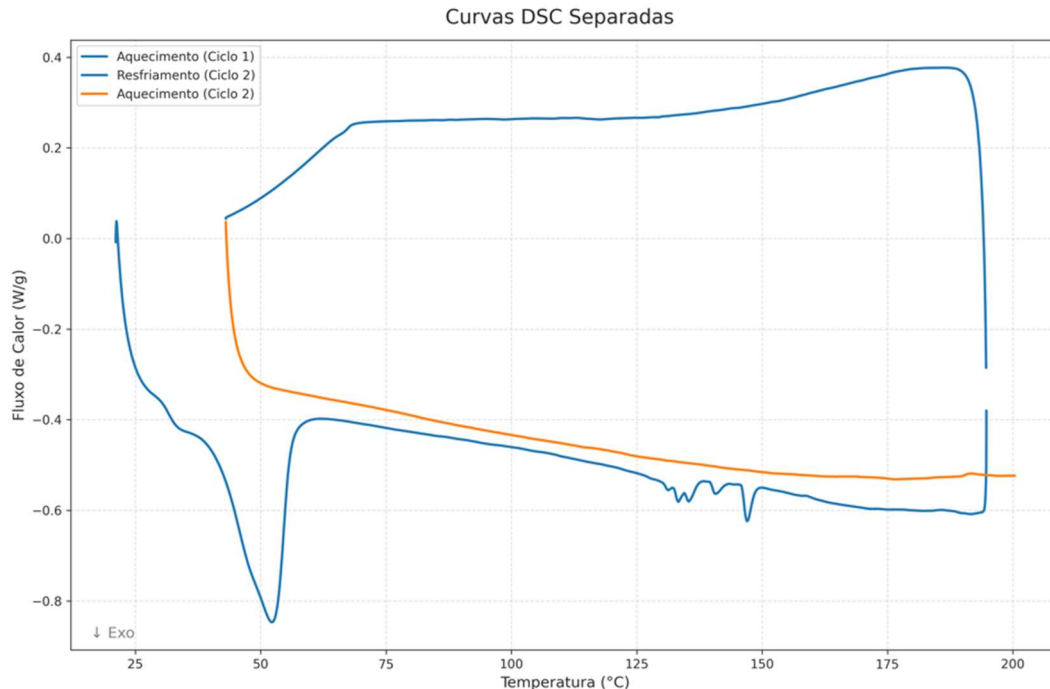
O valor de Tg determinado experimentalmente ( $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) encontra-se próximo aos valores reportados na literatura para elastômeros naturais à base de poliisopreno, tipicamente situados entre  $-73\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $-65\text{ }^{\circ}\text{C}$ , reforçando a coerência dos resultados obtidos (Mark; Erman; Eirich, 2005). A confirmação mais precisa dessa *transição* pode ser favorecida por ensaios adicionais de DSC utilizando maior massa de amostra e taxas de aquecimento mais elevadas, visando melhorar a resolução do evento.

Como o primeiro ensaio foi limitado à temperatura máxima de  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , uma nova análise de DSC foi realizada em uma faixa superior de temperatura, até  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ , com o objetivo de avaliar o comportamento térmico do material após a eliminação do histórico térmico inicial. A Figura 13 apresenta as curvas correspondentes ao aquecimento, resfriamento e reaquecimento da balata.

No primeiro aquecimento (ciclo 1), observa-se novamente um evento endotérmico intenso na faixa de  $\sim 50\text{--}55\text{ }^{\circ}\text{C}$ , caracterizado por um pico bem definido. Esse evento é consistente com processos endotérmicos associados a fusão/reorganização de frações específicas, e sua intensidade reforça a presença de componentes que sofrem *transição* nessa faixa. A ocorrência desse evento em temperatura bem superior ao observado na Figura 12 sugere que a balata pode apresentar mais de uma fração com diferentes níveis de organização/compatibilidade, o que é compatível com a heterogeneidade molecular ( $\bar{M} \approx 1,86$ ) evidenciada por GPC e com a presença de constituintes secundários observada por FTIR.

Durante o resfriamento, não se observa um pico exotérmico intenso associado à cristalização. Em materiais com comportamento cristalino significativo, seria esperado um evento exotérmico bem definido nessa etapa. A ausência desse pico indica que a balata apresenta baixo grau de cristalização detectável nas condições do ensaio, e que os eventos endotérmicos observados estão majoritariamente relacionados a frações específicas e reorganizações estruturais locais, e não a um comportamento típico de polímero semicristalino clássico.

Figura 13 - Curvas de DSC da balata obtidas até 200 °C, permitindo avaliar o comportamento térmico do material após a eliminação do histórico térmico inicial.



Fonte: Autoria própria (2026)

No segundo aquecimento (ciclo 2), a curva apresenta comportamento mais estável, com menor influência do histórico térmico, porém ainda sem evidência de um pico de fusão associado a cristalização significativa. Esse comportamento reforça que a balata analisada apresenta um caráter predominantemente amorfo e heterogêneo, com múltiplas *transições* térmicas associadas às diferentes frações que compõem o material.

A presença de eventos endotérmicos em  $-0,28$  °C (Figura 12), na faixa de 50–55 °C (Figura 13), bem como de uma *transição* vítrea ampla em torno de  $-60$  °C, é coerente com a natureza complexa da balata, um elastômero natural constituído majoritariamente por poliisopreno *trans*-1,4, com distribuição de massa molar moderadamente larga e contribuição significativa de constituintes não borracha. Esse conjunto de fatores explica a ocorrência de múltiplas *transições* térmicas e a ausência de cristalização evidente durante o resfriamento.

### 5.3.1 Comparação entre a Balata e a borracha natural de *Hevea brasiliensis* por TGA

A Figura 14 apresenta a comparação dos principais eventos térmicos observados por análise termogravimétrica (TGA) da balata e da borracha natural de *Hevea brasiliensis* (Huneau, 2011). Os valores de temperatura apresentados indicam as temperaturas médias obtidas dos picos máximos de DTG e o percentual correspondente de degradação. Em ambas as amostras, são identificados três estágios distintos de perda de massa, característicos de elastômeros naturais à base de poliisopreno, permitindo uma análise comparativa direta dos mecanismos de degradação térmica.

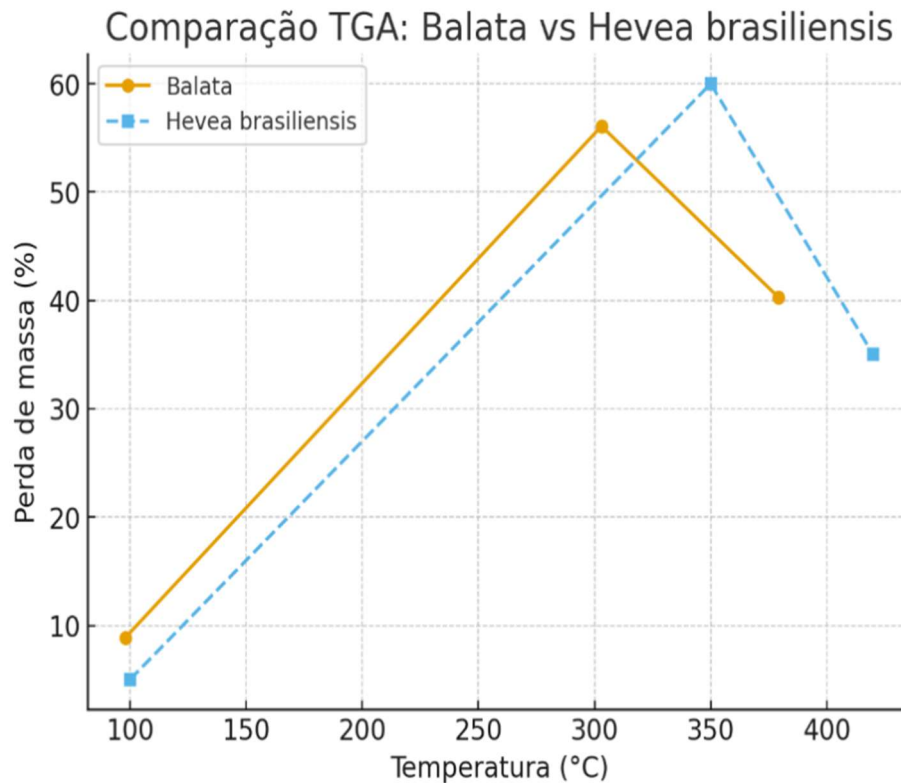
O primeiro estágio de perda de massa ocorre em torno de 98 °C (DTG) para a balata e 100 °C para a borracha natural, sendo atribuído à eliminação de umidade adsorvida e compostos voláteis de baixa massa molar. Observa-se que a balata apresenta uma perda inicial mais elevada (8,87%) em comparação à borracha natural de *Hevea brasiliensis* (≈5%). Esse resultado indica um maior teor de constituintes não borracha na balata, como ceras, lipídios e frações resinosas, o que é coerente com sua origem extrativista e com os resultados obtidos por FTIR e GPC (Mark; Eirich, 2005).

O segundo estágio, correspondente à principal etapa de degradação térmica do material, ocorre em DTG de aproximadamente 303 °C para a balata e 350 °C para a borracha natural, estando associado à decomposição da cadeia principal do poliisopreno, com *cis*ão das ligações da cadeia e liberação de produtos voláteis. A ocorrência desse evento em temperatura ligeiramente inferior para a balata indica um início de degradação antecipado, sugerindo menor estabilidade térmica relativa quando comparada à borracha natural. Essa diferença pode ser atribuída, de forma mais consistente, à presença de constituintes não poliméricos e impurezas naturais, que podem atuar como agentes facilitadores dos processos de degradação térmica, bem como à heterogeneidade estrutural do material (Yang et al., 2018; Silverstein; Webster; Klaus, 2005).

O terceiro estágio de perda de massa medido pelo pico máximo da DTG, é observado em torno de 379 °C para a balata e 420 °C para a borracha natural, e está relacionado à decomposição tardia de resíduos orgânicos e à evolução de material carbonáceo formado durante as etapas anteriores de degradação. A balata apresenta uma perda de massa residual mais elevada (40,33%), indicando a formação de maior quantidade de resíduos termicamente mais estáveis ou a presença de componentes

menos voláteis, o que está associado à sua composição complexa e à maior fração de constituintes não borracha.

Figura 14 - Comparação dos principais estágios de perda de massa observados por TGA da balata e da borracha natural de *Hevea brasiliensis*, indicando as temperaturas características e os percentuais associados a cada etapa de degradação térmica.



Fonte: Autoria própria (2026)

De modo geral, a análise comparativa por TGA demonstra que a balata e a borracha natural de *Hevea brasiliensis* apresentam mecanismos de degradação térmica semelhantes, típicos de elastômeros baseados em poliisopreno. Entretanto, a balata exibe maior perda inicial de massa e degradação principal em temperaturas ligeiramente inferiores, refletindo diferenças composicionais e estruturais decorrentes de sua origem natural e do maior conteúdo de substâncias não poliméricas. Esses resultados indicam que, embora a balata apresente comportamento térmico globalmente comparável ao da borracha natural, seu limite térmico de processamento é mais restrito, exigindo maior controle das condições de aquecimento para evitar degradação prematura.

## 5.4 Mecânicos

### 5.4.1 Dureza (Shore A)

A dureza da balata foi avaliada por meio de ensaios de dureza Shore A, método amplamente empregado na caracterização de elastômeros e materiais poliméricos flexíveis, por fornecer uma medida indireta da resistência à penetração superficial e, conseqüentemente, da mobilidade segmentar das cadeias poliméricas (ASTM, 2015).

A Tabela 1 apresenta os valores individuais de dureza Shore A obtidos para os corpos de prova analisados. Dentre os dez valores medidos, um resultado foi excluído da análise estatística por se encontrar fora do intervalo interquartil, procedimento que contribui para a eliminação de valores atípicos e para a obtenção de uma estimativa mais representativa do comportamento do material.

A balata apresentou dureza média de 70,2 Shore A, com desvio padrão de 2,2, indicando boa repetibilidade dos resultados e baixa dispersão entre as medições. Esses valores caracterizam o material como um elastômero de dureza intermediária, compatível com aplicações que exigem um equilíbrio entre flexibilidade e resistência mecânica superficial.

Tabela 1 - Dureza Shore A.

Corpo de prova	Dureza, Shore A
1	*65,2
2	69,4
3	71,6
4	69,5
5	72,5
6	70,7
7	68,8

8	70,0
9	73,3
10	71,0
Média	70,2
Desvio Padrão	2,2

\*Resultado excluído dos cálculos da média por estar fora do intervalo interquartil.

Fonte: SENAI (2025)

#### 5.4.2 Determinação da densidade

A densidade da balata foi determinada com o objetivo de avaliar a compacidade estrutural do material e sua homogeneidade macroscópica, propriedades fundamentais para a interpretação do comportamento mecânico e térmico de elastômeros naturais. A densidade constitui um parâmetro físico relevante, pois está diretamente relacionada à composição do material, à presença de constituintes não borracha e ao grau de empacotamento das cadeias poliméricas.

A Tabela 2 apresenta os valores individuais de densidade obtidos para cinco corpos de prova distintos (CDP 1 a CDP 5). Os resultados indicaram uma densidade média de  $0,9050 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , com desvio padrão de  $0,0209 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , evidenciando baixa dispersão entre as amostras analisadas. Essa variabilidade limitada sugere uma boa uniformidade do material, mesmo considerando sua origem natural e o processo de obtenção artesanal.

O valor médio de densidade obtido é característico de elastômeros naturais à base de poliisopreno, situando-se em uma faixa inferior à de polímeros mais densos ou altamente preenchidos. Essa característica reflete a natureza leve da estrutura da balata, compatível com aplicações que demandam flexibilidade associada à resistência mecânica, sem penalização excessiva de massa (Mark; Erman; Eirich, 2005).

Tabela 2 - Resultados de densidade da balata determinados a partir de medições individuais em diferentes corpos de prova, incluindo média e desvio.

CDP 1	CDP 2	CDP 3	CDP 4	CDP 5
0,9267 g/cm <sup>3</sup>	0,8791 g/cm <sup>3</sup>	0,9220 g/cm <sup>3</sup>	0,9096 g/cm <sup>3</sup>	0,8878 g/cm <sup>3</sup>
<b>Propriedade</b>		<b>Média</b>		<b>Desvio Padrão</b>

Densidade, g/cm <sup>3</sup> (Mg/m <sup>3</sup> )	0,9050	0,0209
---	--------	--------

Fonte: SENAI (2025)

### 5.4.3 Resistência à abrasão

A Tabela 3 apresenta os valores de massa inicial, massa final e a diferença de massa obtida para os corpos de prova analisados. Dois resultados foram excluídos da média por se encontrarem fora do intervalo interquartil, procedimento estatístico adequado para reduzir a influência de valores atípicos e garantir maior representatividade dos dados médios.

A balata apresentou perda relativa de volume médio de 356,45 mm<sup>3</sup>, com desvio padrão de 50,97 mm<sup>3</sup>, indicando desgaste significativo sob as condições de ensaio. A dispersão observada reflete a heterogeneidade intrínseca do material, típica de elastômeros naturais de origem extrativista, bem como possíveis variações locais de composição, associadas à presença de constituintes não borracha.

O Índice de Resistência à Abrasão (ARI) médio obtido foi de 41,32 %, com desvio padrão de 7,49 %, valor que caracteriza a balata como um material de resistência à abrasão moderada. Esse comportamento é compatível com a dureza Shore A intermediária (70,2 ± 2,2) e com a densidade relativamente baixa (0,905 g·cm<sup>-3</sup>), parâmetros que indicam um elastômero com boa flexibilidade, porém com resistência limitada ao desgaste severo.

Do ponto de vista estrutural, o desempenho em abrasão está em consonância com os resultados de GPC, que evidenciaram uma distribuição de massa molar moderadamente larga, e com as análises térmicas, que indicaram a presença de constituintes não poliméricos e frações de menor estabilidade térmica. Esses fatores contribuem para a facilitação do processo de remoção de material superficial durante o atrito, aumentando a taxa de desgaste.

Apesar do desgaste relativamente elevado, os resultados obtidos são compatíveis com as aplicações tradicionais da balata, nas quais o material é empregado como componente elastomérico em condições de atrito moderado, sem exigência de elevada resistência à abrasão. Historicamente, a balata foi utilizada em revestimentos de correias de *transmissão*, rodas de fricção, elementos de vedação flexíveis e componentes amortecedores, aplicações nas quais a flexibilidade, a aderência superficial e a capacidade de dissipação de energia mecânica são mais

relevantes do que a resistência ao desgaste severo. Dessa forma, o material apresenta desempenho adequado para usos em que essas propriedades são prioritárias, desde que respeitados os limites impostos por sua resistência à abrasão.

Tabela 3 - Resultados do ensaio de resistência à abrasão da balata, incluindo massas inicial e final dos corpos de prova, perda de massa, perda relativa de volume e índice de resistência à abrasão (ARI).

Corpo de prova	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Diferença de Massa (mg)
1	1,0516	0,9328	237,6*
2	0,9726	0,8117	321,8
3	0,9531	0,7882	329,8
4	0,9373	0,7768	321,0
5	0,8617	0,6802	*363,0
		Média	314,6

\*Resultado excluído dos cálculos da média por estar fora do intervalo interquartil.

Propriedades	Resultado	Desvio Padrão
Perda Relativa de Volume, mm <sup>3</sup> , (média)	356,45	50,97
Índice de Resistência à Abrasão – ARI, %, (média)	41,32	7,49

Fonte: SENAI (2025)

#### 5.4.4 Deformação Permanente à Compressão (DPC)

A Tabela 4 apresenta os valores de espessura inicial e final dos corpos de prova, bem como os percentuais de deformação permanente obtidos. A balata apresentou valor médio de deformação permanente à compressão de 57,1 %, com desvio padrão de 1,13 %, indicando baixa dispersão dos resultados e boa reprodutibilidade experimental.

O valor elevado de deformação residual indica que, após a remoção da carga compressiva, uma fração significativa da deformação aplicada não é recuperada elasticamente, evidenciando a presença de comportamento viscoelástico com contribuição relevante de deformação permanente. Esse comportamento é característico de elastômeros naturais contendo constituintes não borracha e heterogeneidade estrutural, como evidenciado pelas análises de FTIR, GPC e TGA.

Do ponto de vista estrutural, a elevada DPC pode ser associada à mobilidade segmentar limitada após compressão prolongada, bem como à presença de constituintes de menor massa molar e componentes não poliméricos, que podem atuar como plastificantes naturais, favorecendo o escoamento viscoso e a relaxação de tensões sob carga constante. Além disso, a distribuição de massa molar moderadamente larga ( $\bar{M} \approx 1,86$ ) contribui para a coexistência de cadeias com diferentes tempos de relaxação, ampliando a deformação residual observada.

Os resultados de DPC são coerentes com os valores de dureza Shore A intermediária ( $70,2 \pm 2,2$ ) e com a resistência à abrasão moderada, indicando que, embora a balata apresente resistência adequada a esforços de contato e atrito moderado, sua capacidade de recuperação elástica após compressão prolongada é limitada. Esse comportamento impõe restrições ao uso do material em aplicações que demandem alta resiliência e manutenção dimensional rigorosa após longos períodos sob carga compressiva.

De modo geral, os resultados de deformação permanente à compressão indicam que a balata apresenta desempenho compatível com aplicações elastoméricas submetidas a compressões moderadas e intermitentes, porém com limitações em situações que exijam recuperação elástica elevada após compressão contínua, devendo esse aspecto ser considerado na seleção do material para aplicações estruturais ou funcionais específicas.

Tabela 4 - Resultados do ensaio de deformação permanente à compressão da balata, realizado por 22 h a 23 °C, incluindo espessuras inicial e final dos corpos de prova, valores individuais, média e desvio padrão.

Corpo de prova	Espessura inicial (mm)	Espessura final (mm)	Resultados (%)
1	10,387	8,675	58,1
2	10,627	8,820	56,7
3	10,554	8,803	56,2
4	10,995	8,918	58,4
5	10,367	8,730	55,9
		<b>Média</b>	57,1
		Desvio Padrão	1,13

Fonte: SENAI (2025)

#### 5.4.5 Ensaio de tração

A Tabela 5 apresenta os resultados individuais obtidos para oito corpos de prova, incluindo espessura média, tensão na ruptura, alongamento na ruptura e módulos elásticos a 50% e 100% de deformação. A balata apresentou tensão média na ruptura de 4,14 MPa, com desvio padrão de 0,60 MPa, indicando boa reprodutibilidade dos resultados, mesmo considerando as variações de espessura observadas entre os corpos de prova, que se situaram abaixo do valor nominal especificado em norma.

O alongamento médio à ruptura foi de 178,3 %, com desvio padrão de 29,53 %, indicando um comportamento moderadamente elástico, característico de

elastômeros naturais com significativa mobilidade segmentar à temperatura ambiente. A dispersão observada nos valores de alongamento reflete a heterogeneidade estrutural do material, em consonância com a distribuição de massa molar moderadamente ampla determinada por GPC e com a presença de constituintes não borracha, identificados por FTIR e inferidos pelas análises térmicas.

Esse perfil evidencia que, embora o material possa suportar deformações relativamente elevadas antes da ruptura, sua extensão não é comparável à de elastômeros naturais purificados ou fortemente vulcanizados, reforçando o efeito das frações não borracha na modulação do comportamento mecânico (Van Krevellen; Ninjenus, 2009).

Os módulos elásticos médios determinados foram de 2,39 MPa a 50 % de deformação e 3,03 MPa a 100 % de deformação, com desvios padrão de 0,10 MPa e 0,11 MPa, respectivamente. O aumento progressivo do módulo com a deformação indica um comportamento típico de enrijecimento por deformação, característico de elastômeros, associado ao alinhamento gradual das cadeias poliméricas sob carga.

Os resultados obtidos no ensaio de tração são consistentes com a dureza Shore A intermediária ( $70,2 \pm 2,2$ ) e com a densidade relativamente baixa ( $0,905 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ) da balata, confirmando um material que combina flexibilidade com resistência mecânica moderada. Entretanto, quando analisados em conjunto com os resultados de deformação permanente à compressão, observa-se que, embora a balata suporte deformações significativas antes da ruptura, sua capacidade de recuperação elástica após carregamentos prolongados é limitada, aspecto que deve ser considerado na seleção de aplicações.

Do ponto de vista funcional, o conjunto de propriedades mecânicas obtidas indica que a balata apresenta desempenho adequado para aplicações elastoméricas que demandem resistência mecânica moderada, capacidade de deformação significativa e estabilidade dimensional sob esforços *transitórios*. No entanto, aplicações que exijam alta resistência à abrasão, elevada resiliência ou manutenção rigorosa das propriedades mecânicas sob carregamentos contínuos e de longo prazo requerem avaliação criteriosa das limitações observadas, particularmente no que se refere ao desgaste abrasivo e à deformação permanente à compressão.

Tabela 5 - Resultados do ensaio de tração da balata, incluindo espessura média dos corpos de prova, tensão e alongamento na ruptura, bem como módulos elásticos a 50 % e 100 % de deformação.

Corpo de Prova	Espessura, mediana (mm)	Tensão na Ruptura, MPa	Alongamento na Ruptura, %	Módulo a 50%, MPa	Módulo a 100%, MPa
1	1,103	3,45	139,7	2,36	2,98
2	1,407	3,83	162,3	2,37	2,99
3	1,613	4,83	221,6	2,39	3,04
4	1,649	5,18	218,1	2,6	3,26
5	1,4	3,77	167,4	2,26	2,88
6	1,521	3,82	158,9	2,37	3,02
7	1,51	4,42	193,3	2,42	3,08
8	1,442	3,84	165	2,32	2,97
	<b>Média</b>	<b>4,144</b>	<b>178,3</b>	<b>2,385</b>	<b>3,025</b>
	<b>Desvio Padrão</b>	<b>0,6013</b>	<b>29,53</b>	<b>0,09908</b>	<b>0,1103</b>

Fonte: SENAI (2025)

#### 5.4.6 Comparativo borracha e balata

A Tabela 6 sintetiza comparativamente quatro propriedades-chave — densidade, dureza Shore A, resistência à abrasão e deformação permanente à compressão — confrontando os resultados analíticos das análises citadas com faixas típicas observadas em compostos de *Hevea brasiliensis*. Essa comparação destaca que a amostra de balata é mais rígida e menos resiliente que muitas formulações comerciais de Hevea e que apresenta desgaste e compressão residuais relativamente elevados, o que pode refletir formulação, ausência de reforço ou processamento.

Tabela 6 - Comparativo dados mecânicos Balata com coágulo da *Hevea Brasiliensis*.

Propriedade	Balata	Coágulo <i>Hevea Brasiliensis</i>
Densidade ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )	0,9050	$\approx 0,92\text{--}1,04$ (varia com formulação e cargas)
Dureza Shore A (média)	70,2	$\approx 40\text{--}70$ (muito dependente de vulcanização e aditivos)
Perda Relativa de Volume por abrasão ( $\text{mm}^3$ , média)	356,45 $\text{mm}^3$	$\approx 70$ a 100 $\text{mm}^3$
Índice de Resistência à Abrasão (ARI, %)	41,32%	Varia amplamente; valores comparáveis podem ser obtidos em compostos não reforçados; compostos reforçados (negro) tendem a apresentar ARI menor (melhor resistência)
Deformação permanente à compressão (22 h, 23 °C)	57,1% (média; DP 1,13)	na faixa de 20% a 50%

Fonte: Adaptado de Rao e Meenakumari (2024)

Os valores de referência para a borracha natural de *Hevea brasiliensis* correspondem a compostos comerciais típicos, considerando formulações com e sem aditivos e níveis moderados de vulcanização. Essa comparação evidencia que a balata apresenta maior rigidez e dureza, assim como maior deformação residual e desgaste, refletindo a ausência de reforços e a presença de frações não borracha em sua estrutura natural.

A utilização da balata em blends com borracha natural mostra-se tecnicamente viável, sobretudo em razão da similaridade química entre os polímeros constituintes. Entretanto, as diferenças estruturais entre o poliisopreno *trans*-1,4 da balata e o *cis*-1,4 da borracha natural implicam alterações significativas nas propriedades mecânicas, térmicas e tribológicas do material resultante.

Espera-se que a balata atue como agente de aumento de rigidez e estabilidade dimensional, ao custo de redução da resiliência elástica e da resistência à abrasão, especialmente na ausência de sistemas de reforço. Dessa forma, seu uso em blends deve ser cuidadosamente ajustado em função da aplicação final, mostrando-se mais adequado para componentes submetidos a atrito moderado e solicitações mecânicas não severas.

## 6 CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo a caracterização abrangente da balata, um elastômero natural de origem vegetal, por meio de técnicas físico-químicas, térmicas e mecânicas, visando compreender a relação entre sua estrutura molecular, composição e desempenho funcional, bem como compará-la à borracha natural de *Hevea brasiliensis*. Os resultados obtidos permitiram atingir os objetivos propostos e fornecer uma visão integrada do comportamento desse material.

As análises espectroscópicas por FTIR confirmaram que a balata é constituída majoritariamente por poliisopreno *trans*-1,4, apresentando estrutura química globalmente semelhante à da borracha natural, porém com diferenças relacionadas à conformação molecular e à presença de constituintes não borracha, como resinas,

ceras e lipídios naturais. Essas características composicionais foram corroboradas pelas análises térmicas e de massa molar.

A cromatografia de permeação em gel (GPC) evidenciou que a balata apresenta uma distribuição de massa molar moderadamente larga, característica típica de polímeros naturais de origem extrativista. Essa heterogeneidade molecular mostrou-se determinante para o comportamento térmico e mecânico do material, influenciando tanto a mobilidade segmentar quanto a resposta sob solicitações mecânicas.

As análises térmicas por DSC permitiram identificar uma *transição* vítrea ampla em torno de  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , além de eventos endotérmicos associados à fusão ou reorganização térmica de frações específicas do material, particularmente relacionadas a constituintes de menor massa molar ou domínios localmente ordenados. A ausência de cristalização significativa durante o resfriamento indicou um caráter predominantemente amorfo e heterogêneo, compatível com a estrutura do poliisopreno *trans*-1,4 e com a distribuição de massa molar observada.

A análise termogravimétrica (TGA) demonstrou que a balata apresenta estabilidade térmica comparável à da borracha natural de *Hevea brasiliensis*, com degradação principal iniciando em torno de  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ . No entanto, observou-se maior perda inicial de massa, atribuída ao maior teor de constituintes não poliméricos, e degradação principal em temperatura ligeiramente inferior, refletindo diferenças composicionais e estruturais entre os dois elastômeros naturais.

Do ponto de vista físico-mecânico, a balata apresentou dureza Shore A intermediária, densidade relativamente baixa, resistência à abrasão moderada, deformação permanente à compressão elevada e comportamento em tração caracterizado por resistência mecânica moderada e alongamento significativo. Esse conjunto de propriedades indica que a balata combina flexibilidade com rigidez moderada, porém apresenta limitações quanto à recuperação elástica após compressão prolongada e à resistência ao desgaste severo, aspectos que devem ser considerados na definição de aplicações.

De forma integrada, os resultados obtidos demonstram que a balata constitui uma alternativa natural ao poliisopreno *cis* da borracha de *Hevea brasiliensis*, oferecendo também uma possibilidade de substituição parcial de poliolefinas em aplicações específicas. O material apresenta propriedades físicas e mecânicas

distintas, decorrentes da conformação *trans*-1,4 do poliisopreno e da sua composição natural mais complexa, com frações não borracha que influenciam rigidez, resiliência e estabilidade dimensional. Essas características conferem à balata maior rigidez, menor resiliência elástica e boa estabilidade dimensional, tornando-a adequada para aplicações elastoméricas que demandem desempenho sob temperaturas moderadas e atrito não severo, como revestimentos de roletes e rodas de fricção, correias planas de baixa carga, componentes de vedação estática, isoladores de vibração simples e elementos técnicos moldados utilizados como interfaces de contato ou proteção mecânica.

Por fim, o estudo evidenciou desafios inerentes ao processamento e à obtenção da balata, especialmente no que se refere à disponibilidade do material em forma de látex, cuja obtenção demanda infraestrutura e recursos específicos. A superação desse desafio representa uma perspectiva relevante para trabalhos futuros, podendo ampliar significativamente o entendimento sobre miscibilidade, processamento e desenvolvimento de novas aplicações para esse elastômero natural.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA FILHO, Luciomar da Silva; CARVALHO, José Alberto Lima de. Extrativismo de balata na Amazônia: histórico e atualidade. **Muiraquitã: Revista de Letras e Humanidades**, [S. l.], v. 10, n. 1, 2022. DOI: 10.29327/210932.10.1-13. Disponível em: <https://periodicos.ufac.br/index.php/mui/article/view/5999>. Acesso em: 19 fev. 2025.
- ALMEIDA JUNIOR, Eduardo Bezerra de. **Diversidade de *Manilkara adans* (*Sapotaceae*) para o Nordeste do Brasil**. 2010. Tese (Doutorado em Botânica) – Programa de Pós-Graduação em Botânica, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2010. Disponível em: <http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede/handle/tede2/4792>. Acesso em: 22 fev. 2025.
- ALTMAN, R. F. A. **Estudo químico de plantas amazônicas**. Boletim Técnico do Instituto Agrônomo do Pará. Belém: Biblioteca Embrapa, 1956. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/375642/1/IANBT31P67.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2025.
- ARAMBURU, M. Aviamento, modernidade e pós-modernidade na Amazônia. **Revista Brasileira de Ciências Sociais**, 1994.
- ASTM INTERNATIONAL. **ASTM D3418: Standard test method for transition temperatures and enthalpies of fusion and crystallization of polymers by differential scanning calorimetry (DSC)**. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2021.
- ASTM INTERNATIONAL. **ASTM D5229/D5229M: Standard test method for moisture absorption properties and equilibrium conditioning of polymer matrix composite materials**. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2019.
- ASTM INTERNATIONAL. **ASTM D5289-19a Standard Test Method for Rubber Property—Vulcanization Using Rotorless Cure Meters**. West Conshohocken (PA): ASTM International, 2019.
- ASTM INTERNATIONAL. **ASTM D5296-19: Standard Test Method for Molecular Weight Averages and Molecular Weight Distribution of Polystyrene by High Performance Size-Exclusion Chromatography**. West Conshohocken: ASTM International, 2019.
- ASTM INTERNATIONAL. **ASTM D6474: Standard test method for determining dynamic mechanical properties of polymeric materials**. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2020.
- CANEVAROLO JUNIOR, Sebastião. **Ciência dos Polímeros – Um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. 2ª edição. São Paulo: Artliber, 2002
- CALLISTER, William, RETHWISCH, David. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. LTC, Rio de Janeiro, RJ, 2016.

CARVALHO, Luciana Gomes. Dor de balateiro é igual dor de mulher esquecida”: memórias dos balatais do Pará. **Vivência: Revista de Antropologia**, p. 89-100, 2013b.

CARVALHO, Luciana Gonçalves de. **Memórias de trabalho**: balateiros de Monte Alegre. Rio de Janeiro: IPHAN/CNFCP, 2011.

CARVALHO, Luciana Gomes. Relações de trabalho nos balatais do Pará. **Horizontes Antropológicos**, p. 373-400, 2013a. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0104-71832013000100015>. Acesso em: 01 ago. 2025.

CARVALHO, Luciana Gonçalves de; KISHI, Itajury Sena; SILVA, Marcelo Araújo. **Relatório técnico sobre extração e uso de balata na Floresta Estadual do Paru, município de Monte Alegre, PA**. Santarém: Pepca/Ufopa, 2012.

CASSU, Silvana Navarro; FELISBERTI, Maria Isabel. Comportamento dinâmico-mecânico e relaxações em polímeros e blendas poliméricas. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 2, p. 255-263, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/p3F3zvfXmWzpKmSkfykgH3M/?lang=pt>. Acesso em: 01 ago. 2025.

COATES, John. **Interpretation of Infrared Spectra, A Practical Approach**. In: MEYERS, R. A. (Ed.). *Encyclopedia of Analytical Chemistry*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2000. p. 10815-10837.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 53504: Testing of rubber — Determination of tensile strength at break, elongation at break and stress values in a tensile test**. Berlin: DIN, 2017.

FALCÃO, Luis Altair Coffi. Dicionário de Turismo - **Termos Técnicos do meio turístico: Conceitos, Definições, Siglas e Tipologias, Futurismologo**. 2019. Disponível em: <http://futurismologo.blogspot.com.br>. Acesso em: 5 fev. 2024.

GOMES, Patrícia Bezerra. **Química e atividade antimicrobiana de *Manilkara huberi* (Ducke) A. Chev. (Maçaranduba)**. 2006. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia de Produtos Bioativos) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/1695>. Acesso em: 22 fev. 2025.

GOMES, Raphael de Oliveira. **Caracterização de propriedades mecânicas de plásticos biodegradáveis à base de amido**. 2014. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10012464.pdf>. Acesso em: 20 set. 2025.

HOMMA, Alferdo Kingo Oyama. Tentativa de interpretação do extrativismo amazônico. In: HÉBETTE, Jean. (org.). **Ciência e tecnologia para a Amazônia**. Belém: Cadernos NAEA, 1983. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de>

publicacoes/-/publicacao/1055969/tentativa-de-interpretacao-do-extrativismo-amazonico. Acesso em: 22 fev. 2025.

HUNEAU, Bertand. Strain-induced crystallization of natural rubber: A review of X-ray diffraction investigations. **Rubber Chemistry and Technology**, 84(3), 425–452, 2011. Disponível em: <https://hal.science/hal-01007326v1/document>. Acesso em: 18 nov. 2025.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 815-1:2019 — Rubber, vulcanized or thermoplastic — Determination of compression set — Part 1: At ambient or elevated temperatures**. Geneva: ISO, 2019.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 2781:2018 — Rubber, vulcanized or thermoplastic — Determination of density**. Geneva: ISO, 2018.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 48-4:2018 – Rubber, vulcanized or thermoplastic — Determination of hardness — Part 4: Indentation hardness by durometer method (Shore hardness)**. Geneva: ISO, 2018.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 4649:2017 — Rubber, vulcanized or thermoplastic — Determination of abrasion resistance using a rotating cylindrical drum device**. Geneva: ISO, 2017.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 37:2017 – Rubber, vulcanized or thermoplastic — Determination of tensile stress-strain properties**. Geneva: ISO, 2017.

INSTITUTO DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO-SOCIAL DO PARÁ. **Breve informação sobre a balata no Pará**. Belém, abr. 1986. Datilografado.

MANRICH, Silvio. **Processamento de Termoplásticos: rosca única, extrusão e matrizes, injeção e moldes**. 2ª ed, Artliber Editora, São Paulo, 2013.

MAGALHÃES, Maria das Graças Santos Dias. **Amazônia brasileira : processo histórico do extrativismo vegetal na mesorregião sul de Roraima**. 2006. 314 f. Tese (Doutorado em História) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006. Disponível em: <http://tede2.pucrs.br/tede2/handle/tede/2470>. Acesso em: 22 fev. 2025.

MARK, James; ERMAN, Burak; EIRICH, Frederick Roland. **The science and technology of rubber**. 3ª Edição, Elsevier Academic Press, 2005.

MARTINS, Carlyle et al. Flota do Paru: reflexões preliminares sobre extrativismo e concessões florestais. **Fragmentos de Cultura**, v. 25, p. 171-184, 2015. Disponível em: <https://seer.pucgoias.edu.br/index.php/fragmentos/article/view/4178>. Acesso em: 08 ago. 2025.

MATOS, Jivaldo do Rosário; MACHADO, Luci Diva Brocardo. **Análise térmica - Termogravimetria**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), 2004. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001443327>. Acesso em: 10 set. 2025.

MEIRA, S. **Os balateiros do Maicuru**. Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1984.  
MONTEIRO, Felisberto Pinto. **Observações sobre a extração de borracha de sapium, de balata, de massaranduba e outras gomas afins**. Belém: Instituto Agrônômico do Norte, Biblioteca Embrapa, 1943. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/374265>. Acesso em: 22 fev. 2025.

MOTHÉ, Cheila Gonçalves; AZEVEDO, Aline Damico de. **Análise térmica de materiais**. São Paulo: Artliber, 2009.

MICROSOFT. **Copilot: inteligência artificial utilizada para reescrita, correção e aprimoramento linguístico de textos**. Disponível em: <https://copilot.microsoft.com/>. Acesso em: 01 ago. 2025.

NO PAIZ DAS AMAZONAS. Direção: Silvino Santos. Produção: Joaquim Gonçalves de Araújo. 1922. **Documentário online — No Paiz das Amazonas** (2h23min32s). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Vz7RqIDRRn0>. Acesso em: 15 fev. 2025.

PACHEKOSKI, Wagner Maurício; DALMOLIN, Carla; AGNELLI, José Augusto Marcondes. Blendas poliméricas biodegradáveis de PHB e PLA para fabricação de filmes. **Polímeros**, v. 24, n. 4, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/po/a/ZPwDzDxCqcTkS5x3qNvkYtf/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 11 fev. 2025.

QUEIROGA, Vicente de Paula. *et al.* **Seringueira (*Hevea brasiliensis* Willd. ex A. Juss. Muell. Arg): sistema produtivo em escala comercial e utilização**. Campina Grande: AREPB, 2024. 312p.

RAMOS, Adriana de Carvalho Barbosa. **O conhecimento tradicional sobre as florestas e seu potencial**. *Revista Opiniões – Florestal*, 2020. Disponível em: <https://florestal.revistaopinioes.com.br/en/revista/detalhes/16-o-conhecimento-tradicional-sobre-florestas-e-se/>. Acesso em: 11 jan. 2025.

RAO, Prabhakara G.; MEENAKUMARI, T. (org.). **Natural Rubber (*Hevea brasiliensis* [Willd. ex A. Juss.] Müll. Arg.): History, Domestication, Genetic Diversity, Conservation and Cultivar Improvement**. In: RAO, Prabhakara G.; MEENAKUMARI, T. (org.). *Economically Important Trees: Origin, Evolution, Genetic Diversity and Ecology*. Cham: Springer, 2024. p. 3–50. DOI: **10.1007/978-981-97-5940-8\_1**. Acesso em: 11 jan. 2025.

RIOS, Mary Naves da Silva; PASTORE JÚNIOR, Floriano (org.). **Plantas da Amazônia: 450 espécies de uso geral**. Brasília: Universidade de Brasília, Biblioteca Central, 2011. 3378 p., il. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/handle/10482/35458>. Acesso em: 11 jan. 2025.

RIVERA, Andrea Del Pilar Fabra. **Caracterização experimental de compósitos termoplásticos para uso em processos de manufatura aditiva**. 2024. Trabalho acadêmico – Universidade Federal de Minas Gerais, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/server/api/core/bitstreams/ce608dda-c011-4f7c-bf1a-a0850bd2cdcd/content>. Acesso em: 11 jan. 2025.

RIOS, Mary Naves da Silva; PASTORE JÚNIOR, Floriano (org.). **Plantas da Amazônia: 450 espécies de uso geral**. Brasília: Universidade de Brasília, Biblioteca Central, 2011. 3378 p., il. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/handle/10482/35458>.. Acesso em: 22 fev. 2025.

ROSSETTO, Leonardo Luís et al. **Polímeros de base ecológica: uma revisão sobre bioplásticos com maior potencial de fabricação**. Seven Publicações Acadêmicas. 2024. Disponível em [https:// 10.56238/sevened2024.026-027](https://10.56238/sevened2024.026-027). Acesso em: 18 ago. 2025.

SAFFIOTI, Waldemar. **Sobre o polimorfismo dos carboidretos das balatas**. Belém: Instituto Agrônomo do Norte, Ministério da Agricultura, Boletim Técnico n.º 9, 16 dez. 1946.

SILVA, M. A. Balateiros da Flota do Paru: relações de trabalho, conhecimentos tradicionais e memória como experiência social. **Revista Ciências da Sociedade**, v. 2, n. 3, p. 260-280, 2018. Disponível em: <http://ufopa.edu.br/portaldeperiodicos/index.php/revistacienciasdasociedade/article/view/630>. Acesso em: 22 fev. 2025.

SILVA, Marcelo Araújo da **Faz do rio o caminho e da mata sua morada – balateiros do Maicuru: sociabilidades, história e memória como garantia de direitos territoriais e socioculturais**. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciências da Sociedade) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufopa.edu.br/jspui/handle/123456789/431>. Acesso em: 22 fev. 2025.

SILVERSTEIN, Robert et al. **Spectrometric Identification of Organic Compounds**. 8 ed. Wiley, 2005.

SMITH, Brian. **Fundamentals of Fourier Transform Infrared Spectroscopy**. Boca Raton: CRC Press, 1996.

SÓCRATES, George. **Infrared and Raman characteristic group frequencies: tables and charts**. 3º ed, 2001.

SOUZA, Brenda Rúbia Gonçalves de. **Balata: da floresta à feira**. 2018. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais da Amazônia) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufopa.edu.br/jspui/handle/123456789/289>. Acesso em: 22 fev. 2025.

SZCZEPANOWSKA, Hanna M.; AKHMEDOV, Novruz G. Gutta percha, natural rubber and balata—chemical characterization of polyisoprenes in the context of

cultural heritage. **Heritage Science**, v. 11, n. 125, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s40494-023-00954-z>. Acesso em: 14 mai. 2025.

THE EDITORS OF ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA. Balata. **Encyclopaedia Britannica**, 2011. Disponível em: <https://www.britannica.com/topic/balata>. Acesso em: 23 fev. 2025.

VALDETARO, Denise C.O.F.. Variação genética, morfologia e patogenicidade de *Ceratocystis fimbriata* em *Hevea brasiliensis* no Brasil. **Trop. plant pathol.** **40**, 184–192, 2015. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40858-015-0036-6>. Acesso em: 30 out. 2025.

VAN KREVELEN, Dirk Willem., Graphical-statistical method for the study of structure and reaction processes of coal, **Fuel**, v. 29, pp. 269–284, 1950.

ZHANG, Xiyu; YIN, Zhenxing; XIANG, Songbai; YAN, Huayu; TIAN, Hailing. **Degradation of polymer materials in the environment and its impact on the health of experimental animals: a review.** **Polymers**, v. 16, n. 19, p. 2807, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym16192807>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4360/16/19/2807>. Acesso em: 11 jun. 2025

**DECLARAÇÃO DE ORIGINALIDADE DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO OU TESE DE DOUTORADO**

Declaro que a presente dissertação/tese é original, elaborada especialmente para este fim, não tendo sido apresentada para obtenção de qualquer título e que identifico e cito devidamente todas as autoras e todos os autores que contribuíram para o trabalho, bem como as contribuições oriundas de outras publicações de minha autoria.

Declaro estar ciente de que a cópia ou o plágio podem gerar responsabilidade civil, criminal e disciplinar, consistindo em grave violação à ética acadêmica.

Brasília, 03 de março de 2026.



Assinatura do/a discente: \_\_\_\_\_

Programa de Pós Graduação em Química

Nome completo: Krysten Costa Dias

Título do Trabalho: Balata: Características e Possíveis Aplicações

Nível:  Mestrado    Doutorado

Orientador: Floriano Pastore Júnior