

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

**ANTHONY BESSA DA SILVA**

**CONTROLE DE QUALIDADE NA INDÚSTRIA DE POLÍMEROS**

**JOÃO PESSOA**  
**2025**

**ANTHONY BESSA DA SILVA**

**CONTROLE DE QUALIDADE NA INDÚSTRIA DE POLÍMEROS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação de Engenharia Química do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba em cumprimento aos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Sharline Florentino de Melo Santos

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

S586c Silva, Anthony Bessa da.

Controle de qualidade na indústria de polímeros /  
Anthony Bessa da Silva. - João Pessoa, 2025.  
41 f. : il.

Orientação: Sharline Florentino de Melo Santos.  
Coorientação: Julice Dutra Lopes.  
TCC (Graduação) - UFPB/CT.

1. Polimerização. 2. Plástico. 3. Extrusora. 4.  
Polímeros de alta especialidade. I. Santos, Sharline  
Florentino de Melo. II. Lopes, Julice Dutra. III.  
Título.

UFPB/BSCT

CDU 66.01(043.2)

**ANTHONY BESSA DA SILVA**

## **CONTROLE DE QUALIDADE NA INDÚSTRIA DE POLÍMEROS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação de Engenharia Química do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba em cumprimento aos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Aprovado em 11 de setembro de 2025.

### **BANCA EXAMINADORA**

Documento assinado digitalmente  
 **SHARLINE FLORENTINO DE MELO SANTOS**  
Data: 18/09/2025 17:35:03-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Sharline Florentino de Melo Santos – Orientadora  
Centro de Tecnologia – Universidade Federal da Paraíba

Documento assinado digitalmente  
 **JULICE DUTRA LOPES**  
Data: 19/09/2025 16:59:12-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Julice Dutra Lopes – Examinadora  
Centro de Tecnologia – Universidade Federal da Paraíba

Documento assinado digitalmente  
 **ANA FLAVIA SANTOS COELHO**  
Data: 18/09/2025 17:52:44-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Flavia Santos Coelho - Examinadora  
Centro de Tecnologia – Universidade Federal da Paraíba

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, por ser o guia da minha vida e me preparar para conquistas importantes, me proporcionando clareza e propósito.

A minha família, em especial a minha mãe Márcia Bessa e meus irmãos Antônio Bessa e Desirée Bessa por todo suporte, dedicação e amor para que eu chegasse a este momento. Sem eles nada seria.

Aos professores de Engenharia Química, especialmente a Prof. Dra. Sharline Florentino, por aceitar me orientar nesta reta final.

À empresa na qual realizei meu estágio supervisionado e período empregatício, que oportunizou momentos de aprendizado, que possibilitaram a realização deste trabalho.

## RESUMO

Os polímeros desde sua descoberta tornaram-se alvo da humanidade no que tange suas possibilidades de aplicações, e com isso, objetivando a produção em larga escala, começaram a ser desenvolvidos os polímeros sintéticos. Esses polímeros, sejam convencionais, biodegradáveis ou baseados em recursos renováveis, para que gerem menos custos e sejam de alta rentabilidade, precisam passar por rigorosos processos de controle de qualidade em laboratório. Com base nesse preceito, este trabalho almeja explicar processos metodológicos aplicados numa indústria de polímeros de alta especialidade, descrevendo os resultados obtidos e o parâmetro padrão esperado para melhor elucidação do controle de qualidade. Em específico, cita-se as análises quantitativas de controle de carga, fluidez e umidade, e análises qualitativas de cor, odor e pellet dos materiais poliméricos fabricados em extrusora: PPTD20HF, PPTD20Alternativo, Composto Preto SX Plus, New Composto Branco e PPC4760R; além de relatar a inspeção preventiva e corretiva do maquinário e elaborar fluxograma de processos. Os resultados das análises mostraram não conformidade no teor de umidade nos bags 3 e 4 do PPTD20HF, porém, por meio do plano de ação implantado, foi possível liberar os bags para expedição na semana seguinte. Os processos metodológicos têm implicações importantes para a aplicação nas indústrias do mercado, otimizando o desempenho e a eficiência dos materiais.

**Palavras-chave:** polimerização, plástico, extrusora, polímeros de alta especialidade.

## ABSTRACT

Since their discovery, polymers have become a target for humanity's potential applications. With the goal of large-scale production, synthetic polymers began to be developed. These polymers, whether conventional, biodegradable, or based on renewable resources, must undergo rigorous laboratory quality control processes to generate lower costs and achieve high profitability. Based on this principle, this paper aims to explain methodological processes applied in a high-end polymer industry, describing the results obtained and the expected standard parameters to better elucidate quality control. Specifically, the following are cited: quantitative analyses of load, flowability, and moisture control, and qualitative analyses of color, odor, and pellets of the polymeric materials manufactured in an extruder: PPTD20HF, PPTD20Alternative, Black Compound SX Plus, New White Compound, and PPC4760R; In addition to reporting on the preventive and corrective inspection of the machinery, the process flowchart was prepared. The analysis results revealed non-compliance in the moisture content of bags 3 and 4 of the PPTD20HF. However, the implemented action plan allowed the bags to be released for shipment the following week. These methodological processes have important implications for application in industries across the market, optimizing material performance and efficiency.

Keywords: polymerization, plastic, extruder, high-specialty polymers.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>11</b>
2.1	OBJETIVOS GERAIS.....	11
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
<b>3</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>12</b>
3.1	INDUSTRIA DE POLÍMEROS NO BRASIL.....	12
3.2	POLÍMEROS.....	13
3.3	PROPRIEDADES DOS POLÍMEROS.....	14
3.3.1	PROPRIEDADE MECÂNICA.....	14
3.3.2	PROPRIEDADE TÉRMICA.....	15
3.3.3	PROPRIEDADE ELÉTRICA.....	15
3.3.4	PROPRIEDADE ÓTICA.....	16
3.3.5	PROPRIEDADE QUÍMICA.....	16
3.3.5.1	RESISTÊNCIA À OXIDAÇÃO.....	16
3.3.5.2	RESISTÊNCIA À DEGRADAÇÃO TÉRMICA.....	16
3.3.5.3	RESISTÊNCIA ÀS RADIAÇÕES ULTRAVIOLETA.....	17
3.3.5.4	RESISTÊNCIA À ÁGUA.....	17
3.3.6	DENSIDADE.....	17
3.3.7	ESTABILIDADE DIMENSIONAL.....	18
3.3.8	PROPRIEDADE FÍSICO-QUÍMICA.....	18
3.4	RECICLABILIDADE DOS POLÍMEROS.....	18
3.5	PRINCIPAIS TIPOS DE POLÍMEROS.....	20

3.6	PROCESSO DE PRODUÇÃO.....	23
3.6.1	EXTRUSÃO.....	23
3.6.2	INJEÇÃO.....	23
3.7	CONTROLE DE QUALIDADE DOS POLÍMEROS: ANÁLISES REALIZADAS.....	24
3.7.1	ANÁLISES QUANTITATIVAS.....	24
3.7.2	ANÁLISES QUALITATIVAS.....	25
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>26</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADO E DISCUSSÃO.....</b>	<b>29</b>
5.1	ANÁLISE DE CARGA.....	31
5.2	ANÁLISE DE FLUIDEZ.....	32
5.3	ANÁLISE DO TEOR DE UMIDADE.....	33
5.4	ANÁLISE QUALITATIVA DO ODOR.....	34
5.5	ANÁLISE QUALITATIVA DA COR.....	35
5.6	ANÁLISE QUALITATIVA DO PELLET.....	36
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>37</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>38</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Os seres humanos convivem e sempre conviveram com polímeros naturais, as proteínas, o DNA e os polissacarídeos que se encontram no organismo são exemplos destes (WAN, GALEMBECK, GALEMBECK, 2001). Contudo, os avanços alcançados pela descoberta das macromoléculas e pelo desenvolvimento das técnicas de polimerização, permitiram a criação dos polímeros sintéticos, popularmente chamados de plásticos (OLIVEIRA, et al., 2013), tais como polietileno, poliésteres, poliamidas, poliuretanas, policarbonatos e polisulfonas (WAN, GALEMBECK, GALEMBECK, 2001).

O plástico é amplamente conhecido como um polímero sintético desenvolvido pela polimerização de monômeros extraídos de produtos petroquímicos e combinados com outros produtos químicos (TORRES-AGULLO et al.; 2021). Monômeros são as unidades repetidas de polímeros de cadeia longa que são compostos de carbono, hidrogênio e oxigênio mantidos juntos por ligações covalentes. Etileno e propileno são exemplos comuns de monômeros leves amplamente utilizados na fabricação de plástico (HASSAN et al.; 2022).

Diferentes processos de polimerização conduzem a diferentes características (LENZI e LIMA, 2004). Os plásticos têm várias propriedades valiosas, como ser leve, tenacidade, alta resistência, boa rigidez, fabricação versátil, capacidades de design, bom isolamento, um mau condutor de eletricidade/calor e resistência à corrosão (ILYAS et al., 2018, PAN et al., 2020).

Esses materiais podem receber cargas orgânicas ou inorgânicas desta forma dando origem aos compósitos de matriz polimérica ou também é possível haver a mistura de um ou mais polímeros dando origem a uma mistura polimérica (blenda) (MARIA, 2017).

Os plásticos possuem uma diversa gama de aplicações e produtos que podem ser encontrados na forma de bens de consumo. Somente em 2021, foram produzidas globalmente mais de 390 milhões de toneladas do material (PLASTICS EUROPE, 2022) e de acordo com a tendência mundial, é esperado que 1,1 bilhão de toneladas por ano de plástico sejam produzidos anualmente em 2050 (GEYER, 2020).

Dentre a diversidade de polímeros que são classificados como termofixos, termoplásticos, borrachas e fibras (CANEVAROLO, 2002), os polímeros termoplásticos são os mais amplamente utilizados. Isso se dá pelo fato dos termoplásticos amolecem quando são aquecidos, e endurecem quando são resfriados e esses processos são totalmente reversíveis e que podem ser repetidos. Portanto, são recicláveis. Além do que, são polímeros de baixo custo, baixo nível de exigência mecânica, alta produção e facilidade de processamento (CANEVAROLO, 2010; CALLISTER, 2018). Apesar da existência de uma grande variedade de termoplásticos, apenas cinco deles, ou seja, o polietileno (PE), o polipropileno (PP), o

poliestireno (PS), o poli (cloreto de vinila) (PVC) e o PET o poli (tereftalato de etileno) representam cerca de 90% do consumo nacional (SPINACÉ e PAOLI, 2005).

No que se refere à origem dos plásticos produzidos, é estimado que atualmente cerca de 90,2% dos plásticos possuem matéria-prima de origem fóssil, 8,3% de reciclados e 1,5% de processos microbiológicos (PLASTICS EUROPE, 2022). A matéria-prima fóssil é a mais utilizada para a produção de plásticos, dependendo da região geográfica são utilizadas as reservas em gases ou em óleo, e aproximadamente 6% da extração mundial é destinada à produção dessas resinas (NEUFELD et al., 2016). Os setores de embalagem e construção civil são os principais consumidores do material, totalizando cerca 44% e 18% da produção mundial, respectivamente (PLASTICS THE FACTS, 2022).

A qualidade do polímero, por sua vez, é um tema extremamente complexo, tanto em termos de desenvolvimento de novos produtos quanto em termos do controle do processo de polimerização. O desenvolvimento de novos grupos de polímeros se dá em testes laboratoriais na base da tentativa e erro, e o controle do processo é feito através de amostragem seguida de caracterização em testes laboratoriais (ZANOTA, 1997).

A adequação de procedimentos operacionais padrão e de processos através da gestão da qualidade é essencial para as empresas se tornarem mais competitivas no mundo globalizado perante seus concorrentes.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GERAL**

Apresentar os principais procedimentos de controle de processos nas análises realizadas de uma empresa de polímeros, que fabrica PPTD20HF, PPTD20Alternativo, Composto Preto SX Plus, PPC4760R e New Composto Branco.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar as análises de carga, fluidez, umidade, cor, odor e pellet, comparando com os padrões da empresa.
- Apresentar a metodologia empregada para controle de processos.
- Elaborar fluxograma de processo de uma fábrica de compostos poliméricos.

### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 Indústria de polímeros no Brasil

A indústria de polímeros constitui hoje um dos pilares do estilo de vida contemporâneo. É enorme a quantidade de bens que nos cercam, produzidos de material polimérico, uma vez que eles são utilizados em quase todas as áreas das atividades humanas, principalmente nas indústrias automobilísticas, de embalagens, de revestimentos e de vestuário, e se incorporaram de forma permanente ao dia-a-dia de nossas vidas. Isso se deve também ao fato de que os materiais poliméricos vêm conquistando muitos mercados através da substituição de outros insumos, como papel, madeira e metais, segundo Gutiérrez (2009).

A chamada cadeia petroquímica, que compreende desde os produtores de derivados de petróleo até os transformadores de plásticos, pode ser dividida em três segmentos principais:

- I. Empresas de primeira geração: produtoras de matéria-prima;
- II. Empresas de segunda geração: destinadas à produção de resinas, que são produtos intermediários e materiais para transformação;
- III. Empresas de terceira geração: destinadas à produção de bens de consumo, embalagens e componentes.

A cadeia produtiva também engloba outros segmentos, que estão diretas ou indiretamente vinculados à produção, tais como: siderúrgicas; empresas metal-mecânicas, além de várias outras empresas que fornecem algum tipo de produto ou serviço destinados ao abastecimento dessa cadeia (CERQUEIRA e HEMAIS, 2001).

Segundo a ABIPLAST (Associação Brasileira da Indústria Plástica), em 2023 foram produzidos 7,04 milhões de toneladas de transformados plásticos, que geraram um faturamento de R\$ 123 bilhões. O parque fabril é formado por 12,4 mil empresas de transformados plásticos, que empregam 363,3 mil pessoas. Isso faz com que a indústria do plástico seja o quarto maior setor empregador da indústria de transformação brasileira. Vale destacar que 77,1% delas são micro e pequenas empresas. Embora participem com apenas 7,7% do faturamento do setor, essas empresas respondem por 32,5% do pessoal ocupado. Na lista de tipos de resina mais utilizados, o polipropileno (PP) ocupa a primeira posição (19,7%), seguido do polietileno de baixa densidade linear (PEBDL, 15,3%), polietileno de alta densidade (PEAD, 13,9%), policloreto de vinila (PVC, 13,8%), e polietileno de baixa densidade (PEBD, 7,6%). No caso do Brasil, a maior parte dos bens produzidos pela indústria de polímeros é absorvida pelo mercado interno, onde todos os custos são cobertos com certa margem de lucro (BARROS, 1998). O mercado internacional é visto como um escoadouro da produção residual. A intensidade de

capital, aliado à sua ciclicidade, pode explicar a lógica da formação de preços no setor. Os preços dos produtos nos mercados internos variam, acompanhando os ciclos favoráveis (falta de produto) e recessivos (excesso de oferta) (PERRONE, 1996).

Ao longo dos últimos trinta anos, a indústria de polímeros adquiriu um importante *status* em termos de produção, e hoje participa ativamente de diversos segmentos industriais, tais como têxteis, embalagens, eletro-eletrônicos, automobilístico, etc. Entretanto, a quase totalidade dos polímeros produzidos e consumidos no Brasil são *commodities* ou *pseudo-commodities*, tais como polietileno, polipropileno, poliestireno, PVC e PET. Os polímeros mais sofisticados de alto desempenho, que têm grande valor, em geral, ainda não são produzidos largamente no país (CERQUEIRA e HEMAIS, 2001).

### 3.2 Polímeros

Uma cadeia polimérica é uma macromolécula, formada a partir de unidades de repetição (meros) unidas por ligações primárias fortes. Estas são chamadas intramoleculares, pois dizem respeito às ligações dentro de uma mesma molécula, normalmente do tipo covalente. Por outro lado, as distintas cadeias poliméricas, ou segmentos de uma mesma cadeia, se atraem por forças secundárias fracas, ditas intermoleculares (SEBASTIÃO e CANEVAROLO, 2010).

As reações de polimerização de adição e polimerização de condensação são influenciadas pelas estruturas químicas dos monômeros e do polímero formado (CARROTHERS, 1929).

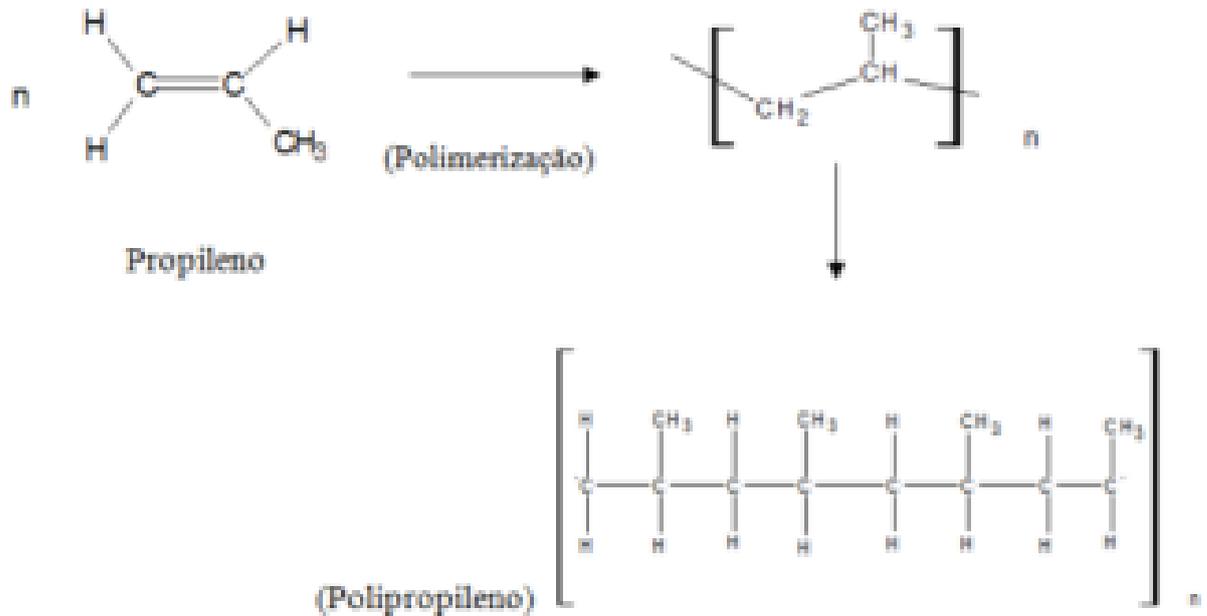
Nas reações de adição, o polímero é formado a partir de monômeros sem a ocorrência de eliminação de subprodutos. Portanto, o monômero e a unidade de repetição do polímero são muito semelhantes (CARRAHER JR, 2003).

Na condensação, os polímeros são formados através da reação entre monômeros polifuncionais, resultando na liberação de pequenas moléculas como subprodutos, como a água. Diferente dos polímeros de adição, os monômeros dos polímeros de condensação são ligados entre si por meio de grupos funcionais presentes na cadeia principal. Esses grupos resultam em diferenças na composição química entre o monômero e a unidade de repetição do polímero (CARRAHER JR, 2003).

O polipropileno é um termoplástico produzido por meio da polimerização, aquelas em que produtos simples, os monômeros, reagem entre si, combinando suas moléculas e formando macromoléculas, caracterizadas pela repetição de uma unidade básica. O monômero para produção de polipropileno é o propeno, um hidrocarboneto insaturado de fórmula  $C_3H_6$ , ou

seja, que contêm uma dupla reação carbono – carbono reativa (Petry, 2011). Na Figura 3.1 se tem a representação dessa polimerização.

Figura 3.1 – Reação de polimerização do PP



Fonte: Rodrigues et al. (2017)

### 3.3 Propriedades dos polímeros

#### 3.3.1 Propriedade mecânica

As propriedades mecânicas são parâmetros ou características do material que determinam sua resposta diante de esforços mecânicos sofridos. A natureza da resposta é correlacionada ao tempo, temperatura e ao nível de solitação mecânica aplicada, além de depender indiretamente da estrutura do material, do peso molecular, das condições de ensaio, do modo como a amostra foi preparada e as interações interfaciais alcançadas (CRUZ, 2006).

Para a caracterização das propriedades mecânicas dos materiais poliméricos é necessário a realização de um ensaio tensão deformação. As propriedades são altamente sensíveis à taxa de deformação, à temperatura e à natureza química do ambiente (CALLISTER JR, 2002).

De acordo com Claudio R. Passatore as propriedades mecânicas podem ser alteradas com a adição de aditivos:

- I. Cargas inorgânicas minerais inertes (ex.  $\text{CaCO}_3$ ) permitem reduzir custo da peça sem afetar propriedades. Exemplo: piso de vinil/cadeiras de jardim (PP), que contém até 60% de cargas;
- II. Fibras (vidro, carbono, boro) ou algumas cargas minerais (talco, mica, caolim) aumentam a resistência mecânica;
- III. As cargas fibrosas podem assumir forma de fibras curtas ou longas, principalmente em redes e tecidos;
- IV. Negro de fumo em pneus (borracha) e filmes para agricultura (PE) aumenta resistência mecânica e a resistência ao ataque por ozônio e raios UV;
- V. Aditivos conhecidos como plastificantes podem alterar completamente as características de plásticos como o PVC e borrachas, tornando-os mais flexíveis e tenazes;
- VI. A fabricação de espumas é feita através da adição de agentes expansores, que se transformam em gás no momento da transformação do polímero, quando ele se encontra no estado fundido.

### 3.3.2 Propriedade térmica

De acordo com a definição mais recente aprovada pela *International Confederation of Thermal Analysis and Calorimetry* (ICTAC), afirma que "Análise Térmica (TA) é o estudo das relações entre uma propriedade da amostra e sua temperatura, enquanto a amostra é aquecida ou resfriada de maneira controlada" (ROUQUEROL, 2007). E, de acordo com Callister Jr. e Rethwisch (2016), a propriedade térmica é a resposta de um material à aplicação de calor. Tais técnicas permitem obter informações a respeito da variação de massa, estabilidade térmica, grau de hidratação, pureza, temperaturas de sublimação/fusão/ebulição, calor específico, diagramas de fase, cinética de reação, investigações catalíticas, transição vítrea, etc. (IONASHIRO, 2005).

### 3.3.3 Propriedade elétrica

Os polímeros são maus condutores de eletricidade e a maioria das propriedades desses isolantes é em função da temperatura, sendo as principais características elétricas dos materiais poliméricos são: rigidez dielétrica, resistividade, constante dielétrica, fator de potência e fator de dissipação, e resistência ao arco (MANO, 2000).

Pode-se melhorar sua condutibilidade elétrica introduzindo-se pós metálicos nesses materiais. A adição de cargas especiais condutoras (limalha de ferro, negro de fumo) pode

tornar polímeros fracamente condutores, evitando acúmulo de eletricidade estática, que é perigoso em certas aplicações (PASSATORE, 2013)

### **3.3.4 Propriedade ótica**

As propriedades óticas dos polímeros podem informar sobre a estrutura e ordenação moleculares, bem como sobre a existência de tensões sob deformação. As principais propriedades óticas dos materiais poliméricos são: transparência, índice de refração, birrefringência e fotoelasticidade (MANO, 2000). Uma das aplicações óticas dos polímeros é na geração de luz com LEDs poliméricos e laser de polímero (SCHNABEL, 2007)

### **3.3.5 Propriedade química**

Dentre as propriedades químicas mais importantes dos materiais poliméricos, diretamente relacionadas às suas aplicações, estão a resistência à oxidação, ao calor, às radiações ultravioleta, à água, a ácidos e bases, a solventes e a reagentes (MANO, 2000).

#### **3.3.5.1 Resistência à oxidação**

As ligações químicas presentes nos plásticos (covalentes/Van der Waals) lhes conferem maior resistência à corrosão por oxigênio ou produtos químicos do que no caso dos metais (ligação metálica). Isso, contudo, não quer dizer que os plásticos sejam completamente invulneráveis ao problema. Ex: um CD não pode ser limpo com terebintina, que danificaria a sua superfície. De maneira geral, os polímeros são atacados por solventes orgânicos que apresentam estrutura similar a eles. Ou seja: similares diluem similares (PASSATORE, 2013).

A oxidação pode ocorrer através de insaturações, rompendo as cadeias, diminuindo seu tamanho e conseqüentemente, a resistência mecânica do material. A presença de átomos de carbono terciário na cadeia, saturada ou insaturada, baixa a resistência à oxidação. Logo, a resistência dos materiais poliméricos é mais encontrada nas macromoléculas saturadas, isto é, contendo apenas ligações simples entre átomos de carbono (MANO, 2000).

#### **3.3.5.2 Resistência à degradação térmica**

Os termoplásticos amorfos, como o PC, PMMA, PVC bem como a resina UP, não se diferenciam consideravelmente em sua transparência do vidro que chega a 90%, isto corresponde a um nível de transmissão de 0,9. Porém uma desvantagem dos polímeros é que

influências do meio ambiente, como por exemplo, atmosfera ou variação de temperatura, pode causar turbidez e com isso, piora a transparência (PASSATORE, 2013)

A exposição de polímeros ao calor em presença de ar causa a sua maior degradação, dependendo da estrutura do polímero; envolve reações químicas às vezes bastante complexas. Essas reações são causadas pela formação de radicais livres na molécula, frequentemente com a interveniência do oxigênio, gerando radicais livres pela ruptura das ligações covalentes dos átomos nas cadeias macromoleculares insaturadas, ou nas cadeias contendo átomos de carbono terciário: nesses pontos, há maior facilidade de formação de hidroperóxidos, de rápida decomposição, causando a cisão das ligações covalentes carbono-carbono. Ao lado da alteração nas propriedades, é comum ocorrer também mudança de coloração da peça, por oxidação (MANO, 2000).

#### **3.3.5.3 Resistência às radiações ultravioleta**

As macromoléculas de estrutura insaturada apresentam baixa resiliência às radiações ultravioleta, que são absorvidas, gerando facilmente radicais livres. Às vezes ocorre modificação das propriedades mecânicas pelo enrijecimento do material, devido à formação de ligações cruzadas (MANO, 2000).

#### **3.3.5.4 Resistência à água**

A resistência à água em polímeros é avaliada pela absorção de umidade, que aumenta as dimensões da peça, o que prejudica a aplicação em trabalhos de precisão (MANO, 2000).

#### **3.3.6 Densidade**

Comercialmente, podem-se obter materiais poliméricos das mais diversas densidades, dependendo da utilização e processo que será aplicado. Essa diferenciação é chamada de grau, ou na forma mais conhecida, em inglês, “grade”. Quanto maior o grade do material, maior seu peso específico, e vice-versa (ANTUNES & MERCADO, 2000).

A densidade reflete a sua estrutura química e a sua organização molecular. Assim, as regiões cristalinas são mais compactas, enquanto que as regiões amorfas são mais volumosas (MANO, 2000).

Os polímeros apresentam uma densidade relativamente baixa se comparados a outros materiais. A faixa de variação de densidade destes materiais estende-se de aproximadamente

0,9 g/cm<sup>3</sup> até 2,3 g/cm<sup>3</sup>. Mais leves que metais ou cerâmica. Exemplo: o PE é 3 vezes mais leve que o alumínio e 8 vezes mais leve que o aço (PASSATORE, 2013).

### **3.3.7 Estabilidade dimensional**

A estabilidade dimensional dos plásticos é um importante indicador de desempenho, especialmente em aplicações que requerem um ajuste preciso e dimensões estáveis. A estabilidade dimensional dos plásticos é afetada pelo coeficiente de expansão térmica, absorção de água, stress interno, cristalinidade, enchimentos e modificadores e condições de processamento (MICHAEL, 2024).

### **3.3.8 Propriedade físico-química**

A permeabilidade a gases e vapores se destaca entre as propriedades físico-químicas dos polímeros, sendo importante para sua aplicação em embalagens. É medida pela quantidade do material permeante transferida na unidade de tempo e por unidade de área, através de uma camada de espessura unitária, sendo 1cmHg a diferença de pressão entre as faces (MANO, 2000).

## **3.4 Reciclabilidade dos polímeros**

Devido à versatilidade de uso, às excelentes condições de durabilidade, forma simplificada e rentável e a vasta propriedades dos polímeros, houve um enorme interesse na fabricação desses materiais para que atendessem aos diferentes interesses, aumentando a sua produção. Com esse consumo, apareceu o grande vilão ambiental dos tempos modernos. Os descartes plásticos são o grande problema do lixo urbano atual. Sabe-se que esses polímeros apresentam uma enorme resistência à degradação natural, portanto, se acumulam e prejudicam o ciclo de decomposição (FRANCHETTI; MARCONATO, 2006).

Segundo a OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico), o atual ciclo de vida do plástico está longe de ser circular, visto que globalmente, a produção anual de plástico dobrou, passando de 234 milhões de toneladas (Mt) em 2000 para 460 Mt em 2019. Os resíduos plásticos mais que dobraram, de 156 Mt em 2000 para 353 Mt em 2019. Considerando as perdas durante a reciclagem, apenas 9% dos resíduos plásticos foram reciclados, enquanto 19% foram incinerados e quase 50% foram para aterros sanitários. Os 22% restantes foram descartados em lixões não controlados, queimados em fossas a céu aberto ou lançados no meio ambiente.

Devido a esse aumento desenfreado, os impactos ambientais causados pelo descarte inadequado desse tipo de material são muitos, pois, além dos plásticos ocuparem um grande volume no lixo, eles acabam interferindo negativamente nos processos de compostagem e estabilização biológica. Além do fato de que, se não forem descartados corretamente, como é o caso dos lixões, encostas e rios, podem afetar diretamente o ecossistema da região, prejudicando a vida de seres vivos que residem nesses locais (NASCIMENTO et al., 2007).

O Brasil recicla 4% do lixo, conforme levantamento da Abrema (Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente) a partir de dados do SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento) de 2023. Apesar do pouco reaproveitamento, as empresas importam para o país toneladas de resíduos sólidos. Nos primeiros 6 meses de 2024, foram compradas 102,8 mil toneladas de restos de materiais, conforme informações do painel Comex Stat, do MDIC (Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços) (INSTITUTO ATMOS, 2024).

O PET, PE e o PP são os polímeros reciclados pelas empresas recicladoras, e cerca da metade destas empresas reciclam de 20 até 50 t/mês. Entre as principais aplicações dos polímeros reciclados estão as utilidades domésticas. Já o PET reciclado é utilizado como fibra têxtil (41%), mantas de não tecido (16%), cordas (15%), resinas insaturadas (10%), embalagens (9%), cerdas de vassouras e escovas (5%) e de outros produtos (4%) (SPINACÉ, 2014)

De acordo com Spinacé e Paloli (2005) a reciclagem de polímeros pode ser classificada em quatro categorias: primária, secundária, terciária e quaternária.

Reciclagem primária: consiste na conversão dos resíduos poliméricos industriais por métodos de processamento padrão em produtos com características equivalentes àquelas dos produtos originais produzidos com polímeros virgens; por exemplo, aparas que são novamente introduzidas no processamento.

Reciclagem secundária: conversão dos resíduos poliméricos provenientes dos resíduos sólidos urbanos por um processo ou uma combinação de processos em produtos que tenham menor exigência do que o produto obtido com polímero virgem, por exemplo, reciclagem de embalagens de PP para obtenção de sacos de lixo.

Reciclagem terciária: processo tecnológico de produção de insumos químicos ou combustíveis a partir de resíduos poliméricos.

Reciclagem quaternária: processo tecnológico de recuperação de energia de resíduos poliméricos por incineração controlada.

A reciclagem primária e a secundária são conhecidas como reciclagem mecânica ou física, o que diferencia uma da outra é que na primária utiliza-se polímero pós-industrial e na

secundária, pós-consumo. A reciclagem terciária também é chamada de química e a quaternária de energética.

### 3.5 Principais tipos de polímeros

A variedade de polímeros diferentes que podem ser produzidos é responsável pela versatilidade dos plásticos. Além disso, os polímeros são geralmente misturados ou "compostos" com uma ampla gama de aditivos para personalizar e melhorar ainda mais o desempenho dos plásticos. Algumas das funções mais importantes dos aditivos são prevenir o envelhecimento, colorir o plástico, tornar o material rígido flexível, funcionar como lubrificante, melhorar a resistência ao impacto, reduzir a inflamabilidade e gerar espuma como agente de expansão (OECD, 2022). A figura 3.2 apresenta os principais tipos de polímeros e suas aplicações.

Figura 3.2 - Principais tipos de polímeros e exemplo de suas aplicações

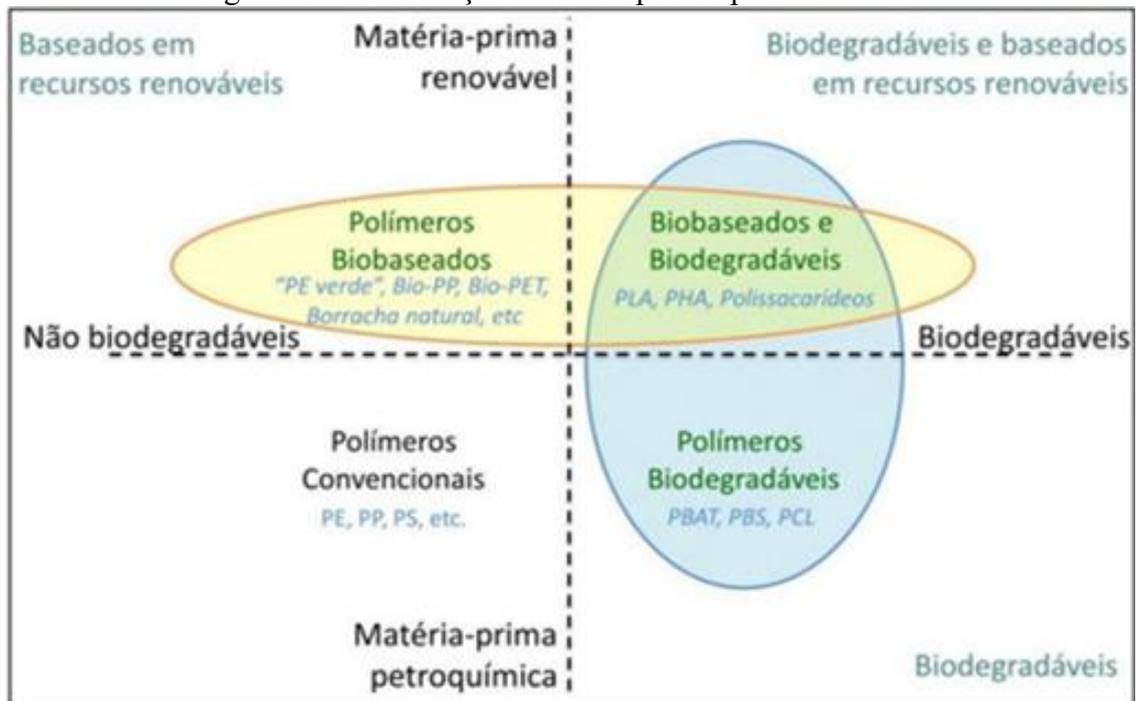
<b>POLÍMERO</b>	<b>ABREVIÇÃO</b>	<b>EXEMPLO DE USO</b>
Polipropileno	PP	Embalagens de alimentos, peças automotivas
Polipropileno de baixa densidade	LDPE	Sacos rutilizáveis, filme para embalagem de alimentos
Polipropileno de alta densidade	HDPE	Brinquedos,frascos de xampu,cachimbos
Policloreto de vinila	PVC	Caixilhos de janelas, revestimentos de pisos, tubulações, isolamento de cabos
Poliestireno	PS	Embalagens de alimentos, isolamento, equipamentos eletrônicos
Tereftalato de poliestireno	PET	Garrafas de bebidas
Poliuretano	PUR	Isolamento, colchões
ABS, elastômeros, plásticos de base biológica, PBT, PC, PMMA, PTFE,...	Outros	Pneus, embalagens, eletrônicos, automotivo,...
Fibras feitas de diferentes polímeros	Fibras	Aplicações têxteis, mas também em muitos outros setores

Fonte: Adaptado de OECD (2022)

A estrutura dos polímeros pode ser classificada de acordo com a sua composição. Os homopolímeros são aqueles em que a cadeia principal é composta por uma única unidade de repetição. Já os copolímeros são compostos por duas ou mais unidades de repetições diferentes na sua cadeia principal. Além disso, no que diz respeito a configuração das cadeias, os polímeros são geralmente classificados como lineares, ramificados e ligações cruzadas (CANEVAROLO JR, 2002)

A figura 3.3 apresenta as diferenças encontradas entre cada tipo de polímero de acordo seu tipo de origem. Nota-se a implementação de plásticos de base biológica, biodegradáveis e compostáveis, que é considerada uma alternativa verde ao plástico à base de petróleo devido à sua fonte renovável ou biodegradabilidade, oferecendo vários benefícios, como menor pegada de carbono, eficiência energética, independência e segurança ecológica. Por outro lado, existem algumas desvantagens, como custo mais alto, reciclagem limitada, uso indevido de termos e falta de legislação (NIZAMUDDIN e CHEN, 2024).

Figura 3.3 – Diferenças entre os tipos de polímeros



Fonte: <https://cutt.ly/CiH9wY6>

Os polímeros biodegradáveis são materiais que podem se decompor na presença de dióxido de carbono, metano, água, compostos inorgânicos ou biomassa, devido à ação de enzimas de microrganismos (FRANCHETTI e MARCONATO, 2006).

Os biopolímeros são substâncias poliméricas obtidas a partir de fontes renováveis através da ação de diversos organismos, incluindo microrganismos, plantas e animais. Além

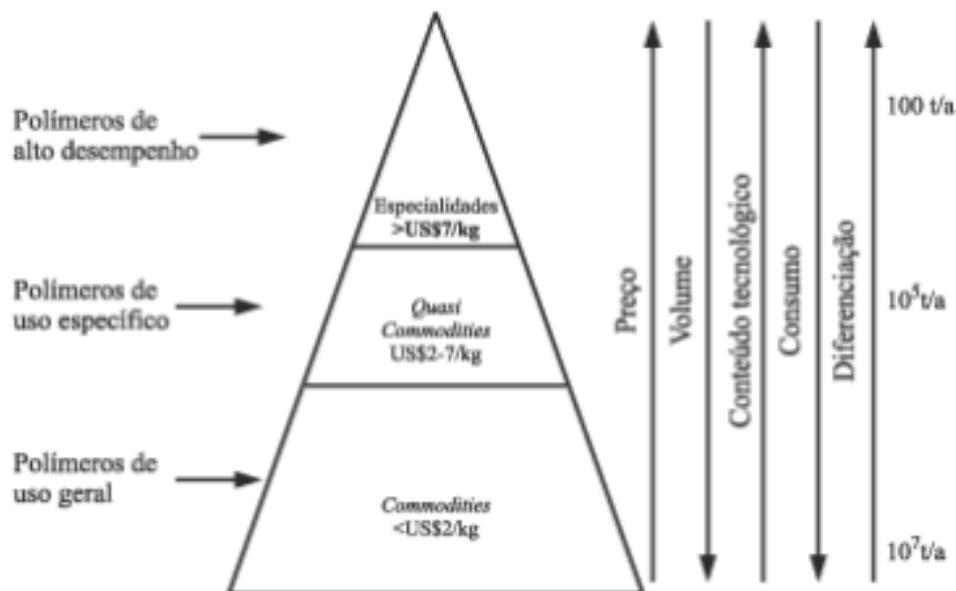
disso, também é possível sintetizá-los quimicamente utilizando açúcares, óleos, amido e gordura. A maioria dos biopolímeros é biodegradável e não apresenta toxicidade para o meio ambiente (FLIGER, 2003)

Hemais (2003) descreve a classificação dos polímeros no mercado, que ocorre pela escala de produção, grau de diferenciação, nível de consumo e valor agregado. De forma geral, podem ser separados em três grupos:

- I. Polímeros tipo *commodities*, produzidos em larga escala, são utilizados em finalidades gerais, consumidos em grandes quantidades e com um baixo valor agregado.
- II. Polímeros quase-*commodities*, produzidos em larga escala, porém menos que os *commodities*, apresenta certa diferenciação de acordo com sua aplicação.
- III. Polímeros de especialidades, são produzidos em pequena escala, apresentam um alto desempenho com propriedades bem definidas e incomuns, direcionados a produtos específicos.

Essas separações podem ser mais bem observadas na Figura 3.4, onde Hemais (2003) representa esses polímeros e como as características deles afetam o seu mercado.

Figura 3.4 – Classificação dos polímeros



Fonte: Hemais (2003)

### 3.6 Processo de produção dos compostos poliméricos

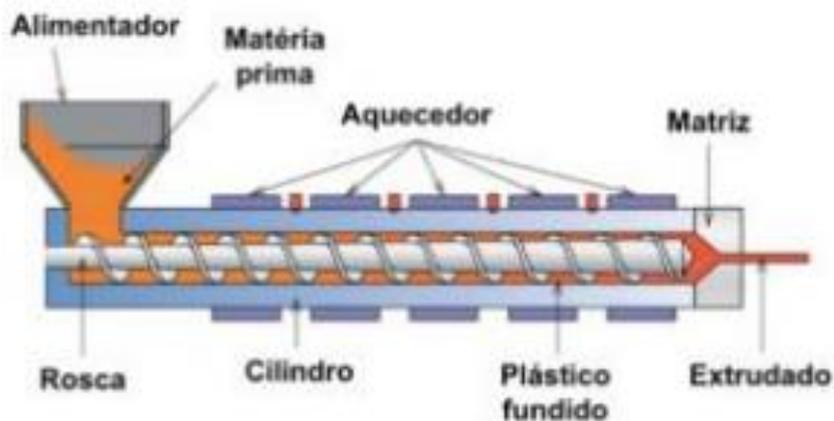
#### 3.6.1 Extrusão

O processo de extrusão consiste na obtenção de produtos por meio da passagem do material fundido através de uma matriz, formando depois sua solidificação. O processo é realizado a partir da fusão e homogeneização do material com pressão, vazão e temperaturas controladas (BRETAS, 2005).

O polímero na forma de pellets (grãos) é alimentado através do funil para a carcaça que está aquecida, onde o material é fundido e bombardeado para dentro da matriz por meio da rosca. Esse equipamento é denominado extrusora, e é mais que uma bomba, pois proporciona energia térmica para fundir o polímero e é responsável pela mistura e homogeneização (BRETAS, 2005).

A figura 3.5 apresenta o esquema de uma máquina extrusora e seus principais componentes.

Figura 3.5 - Esquema de uma máquina extrusora utilizada na fabricação dos compostos poliméricos



Fonte: Byengenharia (2019)

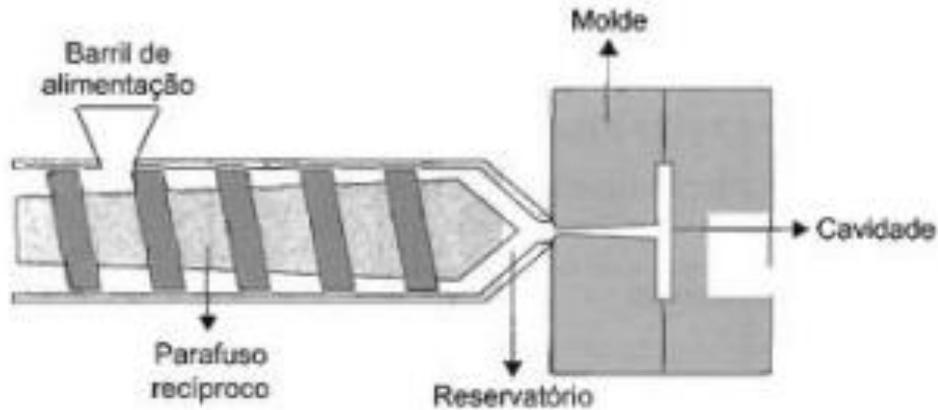
#### 3.6.2 Injeção

Para transformar termoplásticos em artigos para uso final, ou em corpos de prova, a moldagem por injeção é o método mais utilizado. É um processo, simples e rápido e razoavelmente econômico (GIROTO, 2016).

A injeção de polímeros consiste num processo de moldagem, que envolve o enchimento rápido sob pressão de uma cavidade de um molde com o polímero, seguido da solidificação, formando o produto. Esse processo torna possível a fabricação de uma imensa variedade de produtos, com formas e tamanhos diferentes (BRETAS, 2005).

A figura 3.6 apresenta o esquema de uma máquina injetora e seus principais componentes.

Figura 3.6 - Esquema de uma máquina injetora para fabricação das peças de artigo de uso final



Fonte: Bretas (2005)

### 3.7 Controle de qualidade dos polímeros

#### 3.7.1 Análises quantitativas

##### a. Índice de fluidez

A medida do Índice de Fluidez (IF) ou *Melt Flow Index* (MFI) foi criado para controle de qualidade da produção de materiais poliméricos, principalmente termoplásticos, com a intenção de determinar um índice de processabilidade fácil de ser obtido (CANEVAROLO, 2002).

O procedimento para determinar o MFI diz respeito à medida da taxa de fluxo de um polímero através de um orifício de dimensões especificadas, com controle de carga, temperatura e posição do pistão do equipamento. Esse ensaio é bastante sensível a detalhes dos procedimentos, por isso necessita de maior atenção (CANEVAROLO, 2002).

Segundo Costa (2015) o índice de fluidez é uma avaliação da massa molecular do polímero e é um valor inversamente proporcional à viscosidade da massa, em outras palavras, quanto maior a fluidez, mais o polímero flui nas condições de teste (processamento). Conhecer o índice de fluidez é vital para antecipar condições e controlar o seu processamento.

A *American Society for Testing and Materials* (ASTM) é uma organização de normas internacionais, e fornece uma definição formal do índice de fluidez (MFI) em sua norma ASTM D1238: O índice de fluidez é a taxa de fluxo (em gramas por 10 minutos) de material fundido através de um orifício calibrado de um plastômetro de extrusão, sob condições de temperatura e pressão especificadas (ASTM, 2014).

### **b. Teor de carga**

No processamento de polímeros puros, isto é, sem adição de cargas, observa-se que não atendem às especificações técnicas que as peças finais fabricadas a partir deles devem possuir. Por isso, propriedades dos polímeros tais como resistência à tração, resistência química a ataques ácidos e básicos, resistência à deformação ao calor, entre outras, são aprimoradas através da adição de cargas minerais, tratadas superficialmente ou não, em quantidades adequadas. As cargas são mais baratas e substituem uma parte do volume do polímero, que é mais caro, fazendo com que o custo do produto final seja menor (CALLISTER JR e RETHWISCH, 2016; LIMA, 2007)

Cada tipo de carga mineral tem propriedades diferentes e são influenciadas pelo tamanho da partícula, forma, dureza, composição química e estrutura cristalina. Além disso a escolha da carga leva em consideração as condições de extração e disponibilidade no Brasil (LIMA, 2007).

### **c. Teor de umidade**

O controle do teor de umidade em polímeros é essencial para a estabilidade dos grãos produzidos quando submetidos à injeção. Como exemplo, tem-se os grãos de PET, que podem atingir níveis elevados de até 0,6% em peso. Se a resina for submetida à fusão com esses níveis de umidade, sofre uma rápida degradação (hidrolise), reduzindo o seu peso molecular, o que é refletido na perda da viscosidade intrínseca e conseqüentemente perdas de suas propriedades físicas. Portanto, a secagem cuidadosa e controlada da resina é uma operação essencial antes de sua transformação (PASSATORE, 2013).

## **3.7.2 Análises qualitativas**

### **a. Odor**

Tecnologias têm sido desenvolvidas para melhorar as etapas e a qualidade do produto reciclado, pois não há legislação específica para os polímeros reciclados, desta maneira, são tratados de forma similar à matéria virgem, com os mesmos limites de pureza, controle e propriedades para que impacte na saúde dos consumidores (exceto produtos reprocessados no mesmo processo de transformação) (SANTOS, 2004). Um dos grandes desafios é a presença de odores desagradáveis nas embalagens plásticas que podem impactar na indústria. Este odor é derivado de impurezas como madeira, celulose (ródulo, por exemplo), tintas de impressão,

óleo de gorduras (KUNSTSTOFFE INTERNATIONAL, 2021) que durante o processo de degradação do polímero na fase de extrusão, forma-se compostos orgânicos altamente voláteis, causando a mudança química e gerando odores que migram para o plástico (WYPYCH, 2017).

#### **b. Cor**

O controle de qualidade na cor de polímeros é um aspecto estético, que se não for devidamente controlado durante o processo de produção, pode prejudicar a qualidade do produto, a satisfação do cliente e a reputação da marca, principalmente em setores onde pequenas variações de cor podem ser notadas e tratadas como não conformidade.

#### **c. Pellet**

A inspeção dos grãos de matéria-prima constituinte na fabricação de determinado tipo polimérico é um fator determinante para a qualidade do pellet produzido, haja vista que deformidades e contaminações podem se fazer presentes.

### **4. METODOLOGIA**

Neste trabalho foram realizadas análises conforme ciclo de produção logístico, no ano de 2025, em uma indústria de compostos poliméricos localizada no município do Conde – PB, que tem se destacado entre os líderes da indústria de manufatura de compostos termoplásticos no mercado nacional por sua excelência em pesquisa, desenvolvimento e fabricação de compostos avançados, atendendo a diversas aplicações industriais, adaptando-se as necessidades de diferentes setores.

Desse modo, para realização deste trabalho, foram escolhidas uma amostra de cada produto polimérico de alta especialidade, sendo amostras do:

- I. PPTD 20 Alternativo e PPTD 20 HF (Polipropileno com 20% de carga mineral): o polipropileno com talco é um material composto que combina as propriedades do polipropileno com as vantagens do talco como carga mineral. Essa combinação resulta em um material com características únicas e diversas aplicações na linha automotiva, em peças plásticas produzidas para sistemistas

e montadoras, material estrutural da caixa de ar condicionado, aplicado no revestimento de porta e outros acabamentos externos (Minaspol, 2023).

- II. New Composto Branco (Polipropileno Branco com Carbonato de Cálcio): é uma variante obtida para aumentar a rigidez e diminuir o custo do material. O carbonato de cálcio é um agente de carga comum, utilizado para reduzir o consumo de polipropileno puro e melhorar suas propriedades mecânicas. Diversas aplicações na linha branca, sendo um material altamente flexível e apresenta alta resistência térmica e ao impacto (Minaspol, 2023).
- III. Composto Preto SX Plus (Polipropileno Preto com Carbonato de Cálcio – Ultravioleta): o polipropileno com carbonato de cálcio é uma variante obtida para aumentar a rigidez e diminuir o custo do material. O carbonato de cálcio é um agente de carga comum, utilizado para reduzir o consumo de polipropileno puro e melhorar suas propriedades mecânicas. Com a utilização de aditivação que proporciona resistência a raios ultravioleta (Minaspol, 2023).
- IV. PPC4760R (Polipropileno Copolímero Preto 47.60R): o polipropileno de alto impacto é utilizado em diversas aplicações devido às suas propriedades únicas. Ele é produzido através da polimerização de propileno e de um monômero de etileno, resultando em uma estrutura molecular que combina rigidez com resistência ao impacto. Com elevada resistência ao impacto é o material adequado para uso de componentes sujeitos a esforços mecânicos. Suporta cargas de impacto sem sofrer deformações ou fraturas e é ideal para aplicações automotivas. Boa resistência a produtos químicos, solventes e agentes atmosféricos. Possui aplicações como para-barro, caminhões, ônibus, caminhonetes e veículos de passeio. Uma combinação de flexibilidade e alto impacto (Minaspol, 2023).

Esses materiais foram avaliados de acordo com dois parâmetros:

- I. Análises quantitativas: teor de carga, índice de fluidez e umidade.
- II. Análises qualitativas: odor, cor e pellet.

No controle de carga, o equipamento utilizado é a mufla operada a temperatura em torno de 600-770 graus celsius quando há cadinhos, esses cadinhos são utilizados para conter amostras de polímeros de 2,5g até 3g e após aquecidos durante 1 hora são esfriados no

dessecador durante 10min. O cálculo de carga se dá através da relação do peso final do cadinho com amostra subtraído pelo peso do cadinho sem amostra, cujo resultado é dividido pelo peso da amostra e multiplicado por 100, que estabelece o valor em carga da amostra. Em caso de não conformidade durante a produção, podem ser adicionados materiais no misturador já cheio, assim como alterado a formulação nos misturadores vazios. As análises de carga são feitas a cada 1h:30min e sua duração é de 1hora, e em caso de não conformidade devem ser refeitas imediatamente.

No controle de fluidez, o equipamento utilizado é o Indexador de fluxo de fusão, o plastômetro, da marca *XH Instruments Testing System*, que é ajustado na temperatura de 230 graus celsius com tempo de fluxo de material fundido através de orifício de 5 minutos, com intervalos de corte de 10 segundos para uma verificação do fluxo de massa de determinada quantidade em gramas de polímeros. Após o corte, são pesadas em balança digital e o valor aferido é multiplicado por 0,6 fornecendo assim o valor de fluidez do material polimérico. Em caso de não conformidade durante a produção, o ajuste é feito com peróxido, aumentando ou diminuindo, ou em alguns casos fazendo ajustes no quantitativo do rafia ou talco. As análises de fluidez são feitas a cada 1h:30min para registro, porém em caso de não conformidades, seu controle é constante até que seja feito o ajuste e garantido o controle do mesmo, retornando após isso a duração inicial para registro.

A metodologia utilizada para realização da análise de teor de umidade é própria do equipamento da marca Marte. Sua análise consiste na inserção de 9,5g à 11g de amostra para análise de produto. A seleção de produto acabado indica que o material será submetido a uma temperatura de 60°C até 180°C durante o período de 10 minutos enquanto a leitura do teor de umidade é efetuada. Nisso, o detector aponta, em porcentagem, o valor de umidade aferido no equipamento. Em caso de inconformidades, isto é, nas umidades acima de 0,20%, os bags ficam de quarentena na fábrica até que sua umidade abaixe e fique dentro do especificado, porém caso identificado durante ciclo de produção, a matéria-prima ficará de quarentena até que sua umidade abaixe. As análises de umidade são feitas a cada 1h:30min para registro, e em caso de não conformidades (acima de 0,20%), as matérias-primas são inspecionadas, bem como a torre de resfriamento.

As análises de cor, odor e pellet são qualitativas, pois são tratadas por análises de propriedades sensoriais e todas as análises sensoriais foram realizadas pelo autor deste trabalho de acordo com os treinamentos e experiência de laboratório, comparando com os padrões estabelecidos pela empresa.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico serão apresentados os resultados e discussões acerca das análises quantitativas do teor de carga, umidade e fluidez e das análises qualitativas de odor, cor e pellet comparado com os padrões da empresa., além de apresentar a elaboração do fluxograma de processos aplicado a indústria que opera uma extrusora.

É de responsabilidade dos laboratoristas armazenar, após a produção de cada material, amostras por bag em potes de 200mL, referente a determinada batelada, de modo que cada tipo de polímero é devidamente separado. Nesse caso, quando há o recebimento de reclamações sobre determinado lote do produto, o pote associado é consultado e utilizado como contraprova. As amostras são armazenadas durante 3 meses no laboratório, período este passado, são descartadas.

A quantidade estimada da batelada de determinado composto polimérico varia de acordo com a necessidade logística que atenderá o cliente e o abastecimento de estoque. A empresa opera similar ao modelo *Just-in-Time (JIT) Production* ou Produção Enxuta, visando assim produzir apenas o necessário e quando necessário, evitando dessa forma estoques excessivos, que não gerem custo imediato. Os produtos poliméricos produzidos se enquadram em polímeros de alta especialidade.

As análises realizadas são registradas no embarque controlado pelo laboratorista, e caso aprovadas, são elaboradas etiquetas de liberação a serem fixadas nos bags produzidos. A quantidade em determinado bag varia de 1100kg para o Alternativo, HF e PPC4760R e de 1200kg para o Composto Preto e o Composto Branco; e logo após os bags são lacrados com destino aos clientes segundo a programação logística. Em contrapartida, em caso de reprovação, os bags são posicionados na “ilha de reprovação”, local este destinado a produtos em não conformidade e conforme orientação da gerência são realocados na linha de produção para o ajuste necessário.

No mezanino, local onde ficam os misturadores, matérias-primas e operadores de produção, existem dois misturadores, cuja capacidade varia até 500kg, sendo a média quantitativa de produção por misturador em torno de 350kg, garantindo uma correta homogeneização.

Utiliza-se uma extrusora, maquinário convencional com motor elétrico, rosca, matriz, funil de alimentação, carcaça, rosca, misturador vertical com secador, turbina de transporte de material, cilindro de aquecimento, torres de resfriamento, ensacadeira, além de outros sistemas, obtendo produtos por meio da passagem do material fundido através de uma matriz. As

manutenções preventivas e corretivas do maquinário são essenciais para a manutenção da qualidade do produto produzido. As matérias primas utilizadas seguem a ordem de mistura de determinado composto polimérico e suas quantidades não são exatas durante todo o ciclo de produção, pois existem variações numa mesma sacaria ou bag recebido de fornecedor, motivo este, que torna essencial a operação do controle de qualidade nesta indústria de forma constante.

Os tipos de polímeros analisados passam pelo mesmo processo produtivo e linha de produção, cujo fluxograma de processos está expresso na Figura 5.1.

Figura 5.1- Fluxograma do processo de produção de compostos poliméricos



Fonte: Autoria própria

Nas análises do embarque controlado, no presente trabalho, a coleta foi efetuada no topo do bag, assim como é feita nas demais coletas e as tratativas de não conformidades foram feitas conforme procedimento padrão, porém não caberá neste trabalho fazer o registro do quantitativo exato utilizado para ajuste, informação está confidencial.

. Logo, explica-se somente os resultados finais das análises por bag de determinado lote por composto polimérico e se apresenta detalhes da metodologia empregada nas análises e ajustes realizados, bem como relata-se os parâmetros padrão esperados durante a produção.

A relação de lotes por composto polimérico e os parâmetros padrão esperados durante a produção segue a relação do quadro abaixo:

Quadro 5: Relação coletada dos cinco compostos poliméricos e padrões esperados nas análises

Nome do material	Lote	Data de análise	Qtd de bags	Especificação padrão de carga	Especificação padrão de fluidez	Especificação padrão de umidade	Especificação padrão do odor	Especificação padrão da cor	Especificação padrão do pellet
<b>PPTD20 HF</b>	16256	05/03/2025	5	18-22%	20 - 28 g/10min	<0,20 %	Inodor	Preto	Oval
<b>PPTD20 ALTERNATIVO</b>	15265	01/03/2025	5	18-22%	16 – 20 g/10min	<0,20 %	Inodor	Preto	Oval
<b>PPC 4760R</b>	16811	16/05/2025	5	< 7%	15 - 22 g/10min	<0,20 %	Inodor	Preto	Oval
<b>Composto Preto SX Plus</b>	16271	06/03/2025	5	9-12%	22- 27 g/10min	<0,20 %	Inodor	Preto	Oval
<b>New Composto Branco</b>	17046	20/06/2025	5	9-12%	22-28 g/10min	<0,20 %	Inodor	Azul Claro	Oval

### 5.1 Análise de carga

O quadro 5.1 apresenta os valores obtidos a partir das análises do teor de carga dos cinco compostos poliméricos avaliados em cada bag produzido por lote.

Quadro 5.1: Resultado das análises de teor de carga (em %)

Nome do material	PPTD20HF	PPTD20ALTERNATIVO	PPC 4760R	Composto Preto SX Plus	New Composto Branco
<b>Lote</b>	16256	15265	16811	16271	17046
<b>Carga (Bag 1)</b>	21,95	19,93	6,31	10,22	10,11
<b>Carga (Bag 2)</b>	21,98	20,59	6,77	9,89	9,96

<b>Carga (Bag 3)</b>	21,73	18,92	6,45	9,80	10,24
<b>Carga (Bag 4)</b>	21,48	19,61	6,97	9,32	11,55
<b>Carga (Bag 5)</b>	20,91	19,78	5,99	9,54	11,91
<b>Faixa Padrão</b>	18-22	18-22	< 7	9-12	9-12

Os valores encontrados estão de acordo com o parâmetro especificado para cada composto polimérico. Ressalta-se que houve maior variações nos valores do Composto Preto SX Plus e New Composto Branco ao longo dos cinco bags, é devido principalmente a trocas mais frequentes de matéria-prima, cujo valores em carga não estavam totalmente uniformes.

## 5.2 Análise de fluidez

O quadro 5.2 apresenta os valores obtidos a partir das análises de fluidez dos cinco compostos poliméricos avaliados em cada bag produzido por lote.

Quadro 5.2: Resultado das análises de fluidez (em g/10min)

<b>Nome do material</b>	<b>PPTD20HF</b>	<b>PPTD20ALTERNATIVO</b>	<b>PPC 4760R</b>	<b>Composto Preto SX Plus</b>	<b>New Composto Branco</b>
<b>Lote</b>	16256	15265	16811	16271	17046
<b>Fluidez (Bag 1)</b>	20,10	18,13	15,18	24,87	27,76
<b>Fluidez (Bag 2)</b>	21,84	17,85	16,19	25,09	27,14
<b>Fluidez (Bag 3)</b>	26,89	17,08	17,28	26,44	26,95
<b>Fluidez (Bag 4)</b>	27,13	16,72	17,0	22,81	27,48
<b>Fluidez (Bag 5)</b>	24,42	17,63	18,0	24,05	27,73
<b>Faixa Padrão</b>	20 - 28	16 – 20	15 - 22	22- 28	22- 27

Os valores encontrados estão de acordo com o parâmetro especificado para cada composto polimérico. Ressalta-se no bag de PPTD 20HF um aumento na fluidez do material ao longo dos cinco bags, em virtude de trocas de matéria-prima, que conforme prolongar da produção, as que tinham fluidez maior em sua composição foram se introduzindo na produção.

### 5.3 Análise do teor de umidade

O quadro 5.3 apresenta os valores obtidos a partir das análises do teor de umidade dos cinco compostos poliméricos avaliados em cada bag produzido por lote.

Quadro 5.3: Resultado das análises de teor de umidade

<b>Nome do material</b>	<b>PPTD20HF</b>	<b>PPTD20ALTERNATIVO</b>	<b>PPC 4760R</b>	<b>Composto Preto SX Plus</b>	<b>New Composto Branco</b>
<b>Lote</b>	16256	15265	16811	16271	17046
<b>Umidade (Bag 1)</b>	0,16%	0,15%	0,13%	0,08%	0,03%
<b>Umidade (Bag 2)</b>	0,16%	0,14%	0,15%	0,10%	0,05%
<b>Umidade (Bag 3)</b>	0,21%	0,16%	0,18%	0,05%	0,03%
<b>Umidade (Bag 4)</b>	0,23%	0,16%	0,16%	0,11%	0,04%
<b>Umidade (Bag 5)</b>	0,18%	0,15%	0,12%	0,08%	0,06%
<b>Faixa Padrão</b>	<0,20%	<0,20%	<0,20%	<0,20%	<0,20%

Os valores encontrados, com exceção dos bags 3 e 4 do PPTD 20 HF estão de acordo com o parâmetro especificado para cada composto polimérico. O elevado teor de umidade constatado nesses dois bags é resultado de alguma matéria prima com umidade em regiões do bag/sacaria, ao qual não foi identificado pelo controle de qualidade durante a etapa de recebimento em níveis acima do especificado, ou até mesmo em problemas na torre de resfriamento, que acarreta problemas na injeção do material, como a hidrólise do material. A

ação tomada com relação aos dois bags em não conformidade do HF foi deixá-los abertos por um tempo maior e não liberar na expedição de entrega ao cliente, caso ainda na mesma semana. Na semana seguinte, ao efetuar as análises, por meio de uma nova coleta, verificou-se que a umidade do bag 3 e 4 reduziram-se e ficou da seguinte forma: bag 3 a umidade foi de 0,15% e bag 4 a umidade foi de 0,17%. Dessa forma, os bags foram liberados para expedição.

#### 5.4 Análise qualitativa do odor

O quadro 5.4 apresenta os valores obtidos a partir das análises qualitativas do odor dos cinco compostos poliméricos avaliados em cada bag produzido por lote.

Quadro 5.4: Resultado das análises qualitativa de odor

<b>Nome do material</b>	<b>PPTD20HF</b>	<b>PPTD20ALTERNATIVO</b>	<b>PPC 4760R</b>	<b>Composto Preto SX Plus</b>	<b>New Composto Branco</b>
<b>Lote</b>	16256	15265	16811	16271	17046
<b>Odor (Bag 1)</b>	INODOR	INODOR	INODOR	INODOR	INODOR
<b>Odor (Bag 2)</b>	INODOR	INODOR	INODOR	INODOR	INODOR
<b>Odor (Bag 3)</b>	INODOR	INODOR	INODOR	INODOR	INODOR
<b>Odor (Bag 4)</b>	INODOR	INODOR	INODOR	INODOR	INODOR
<b>Odor (Bag 5)</b>	INODOR	INODOR	INODOR	INODOR	INODOR
<b>Faixa Padrão</b>	INODOR	INODOR	INODOR	INODOR	INODOR

Os valores encontrados estão de acordo com o parâmetro especificado para cada composto polimérico. No caso do odor, principalmente relacionado a rafia, produto polimérico reciclável, e caso seja identificado bag com forte odor, o mesmo deve ser reprovado na análise de recebimento de matéria prima e devolvido ao fornecedor, porém caso esteja em linha de produção, pode-se adicionar neutralizador.

### 5.5 Análise qualitativa da cor

O quadro 5.5 apresenta os valores obtidos a partir das análises qualitativas da cor dos cinco compostos poliméricos avaliados em cada bag produzido por lote.

Quadro 5.5: Resultado das análises qualitativa de cor

Nome do material	PPTD20HF	PPTD20ALTERNATIVO	PPC 4760R	Composto Preto SX Plus	New Composto Branco
<b>Lote</b>	16256	15265	16811	16271	17046
<b>Cor (Bag 1)</b>	Preto	Preto	Preto	Preto	Azul Claro
<b>Cor (Bag 2)</b>	Preto	Preto	Preto	Preto	Azul Claro
<b>Cor (Bag 3)</b>	Preto	Preto	Preto	Preto	Azul Claro
<b>Cor (Bag 4)</b>	Preto	Preto	Preto	Preto	Azul Claro
<b>Cor (Bag 5)</b>	Preto	Preto	Preto	Preto	Azul Claro
<b>Faixa Padrão</b>	Preto	Preto	Preto	Preto	Azul Claro

Os valores encontrados estão de acordo com o parâmetro especificado para cada composto polimérico. A figura 5.5 apresenta uma foto do padrão de coloração para polímeros de cor preta

Figura 5.5 – Foto do aspecto visual do polímero de coloração preto



Fonte: Autoria própria

A cor do material segue especificação do fornecedor e de sua marca, portanto, contaminações devem ser rigorosamente evitadas e bags contaminados recebidos do fornecedor

devem ser devolvidos, porém caso esteja em linha de produção pode-se adicionar Master Preto ou Master Branco/Azul a depender do composto.

### 5.6 Análise qualitativa do pellet

A tabela 5.6 apresenta os valores obtidos a partir das análises qualitativas do pellet dos cinco compostos poliméricos avaliados em cada bag produzido por lote.

Tabela 5.6: Resultado das análises qualitativa do pellet

<b>Nome do material</b>	<b>PPTD20HF</b>	<b>PPTD20ALTERNATIVO</b>	<b>PPC 4760R</b>	<b>Composto Preto SX Plus</b>	<b>New Composto Branco</b>
<b>Lote</b>	16256	15265	16811	16271	17046
<b>Pellet (Bag 1)</b>	Oval	Oval	Oval	Oval	Oval
<b>Pellet (Bag 2)</b>	Oval	Oval	Oval	Oval	Oval
<b>Pellet (Bag 3)</b>	Oval	Oval	Oval	Oval	Oval
<b>Pellet (Bag 4)</b>	Oval	Oval	Oval	Oval	Oval
<b>Pellet (Bag 5)</b>	Oval	Oval	Oval	Oval	Oval
<b>Faixa Padrão</b>	Oval	Oval	Oval	Oval	Oval

Os valores encontrados estão de acordo com o parâmetro especificado para cada composto polimérico. A identificação em casos de inconformidade se percebe durante a produção com base em polímeros murchos ou muito grandes e com muito pó, caso identificados, deve-se avaliar as matérias-primas e proceder a reprovação do respectivo bag/sacaria se muito deteriorado. Ressalta-se que as sacarias/bags recebidos do fornecedor devem passar por análises de recebimento de matéria-prima, e inconformidades devem ser tratadas prioritariamente neste momento, para que a devolução aconteça, e quando não identificados pelo controle de qualidade e inseridos em linha de produção e posteriormente identificados, a sua devolução se torna dificultosa, fazendo com que haja fracionamento em linha de produção. A figura 5.6 apresenta uma foto de pellet com manchas por contaminação.

Figura 5.6 – Foto de exemplo de contaminação em lote aleatório



Fonte: Autoria própria

## 6. CONCLUSÃO

O controle de processos é indispensável numa indústria de polímeros, seja qualitativamente e quantitativamente, bem como na inspeção do maquinário de forma preventiva e corretiva, e não conformidades devem ser avaliadas rigorosamente, pois podem afetar processos de injeção e extrusão, gerando custos.

A explicação metodológica em casos de não conformidades com relação a análises de fluidez, carga, umidade, odor, cor e pellet possibilita agilidade no controle de processos, permitindo o desenvolvimento de polímeros que atendam aos rigorosos padrões de desempenho e durabilidade e o conhecimento do fluxograma de processos permite compreender as etapas de processo em uma indústria de produção de compostos poliméricos.

## REFERÊNCIAS

- ANTUNES, A.; MERCADO, A. **A aprendizagem tecnológica no Brasil: a experiência da Indústria Química e Petroquímica.** Rio de Janeiro, RJ: E-Papers, 2000.
- AGULLO-TORRES, A., et al. **Visão geral sobre a ocorrência de microplásticos no ar e implicações do uso de máscaras faciais durante a pandemia de COVID-19.** *Ciência. Meio Ambiente Total*, 800 (2021).
- BRETAS, R. E. S.; D'ÁVILA, M. A. **Reologia de polímeros fundidos.** São Paulo: EdUFSCar – Editora da Universidade Federal de São Carlos, 2005.
- BARROS, H. M. - **Gestão de pesquisa & desenvolvimento: o caso da indústria brasileira de polímeros,** Tese de Mestrado, IMA / Universidade Federal do Rio de Janeiro (1998).
- BY ENGENHARIA. **O que é extrusão de plástico** Disponível em: <<https://byengenharia.com.br/o-quee-extrusao-de-plastico/>>. Acesso em: 16 de ago. 2025.
- CALLISTER JR., William D. **“Ciência e Engenharia dos Materiais - Uma Introdução.”** LTC – Livros Técnicos e Científicos S.A. Rio de Janeiro, 2002.
- CARRAHER JR., CE (2003). **Química de Polímeros de Seymour/Carraher.** Sexta Edição (6ª ed.). CRC Press. Disponível em: <<https://doi.org/10.4324/9780203911303>>. Acesso em 31 de ago. 2025.
- CAROTHERS, W. H. **Studies on polymerization and ring formation: introduction to the general theory of condensation polymers.** *Journal of The American Chemical Society.* [s.l], v. 51, n. 8, p. 2548-2559, ago. 1929. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021.1929>
- CERQUEIRA, V.; HEMAIS, C. A. **Estratégia Tecnológica e a Indústria Brasileira de Transformação de Polímeros.** *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, vol. 11, núm. 3, setembro, 2001, pp. E7-E10 Associação Brasileira de Polímeros São Paulo, Brasil.
- CANEVAROLO Jr. S. V. **Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros.** 2. ed. São Paulo: Artliber Editora, 2013.
- CRUZ, M. C. A. **Correlações entre propriedades dinâmico-mecânicas e durabilidade sob fadiga mecânica em compósitos de polipropileno.** 247 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas e da Terra), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2006.
- FACTORI, I. M. **Processamento e propriedades de compósitos de poliamida 6.6 reforçada com partículas de vidro reciclado** [Dissertação de Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais]. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo; 2009
- FRANCHETTI, S. M. M.; Marconato, J. C. **Polímeros biodegradáveis – uma solução parcial para diminuir a quantidade dos resíduos plásticos.** *Química. Nova*, v. 29, n.4, p. 811- 816, 2006.

FLIEGER, M. et all. **Plásticos biodegradáveis a partir de fontes renováveis**. Folia microbiológica, v.48, n. 1, p.27-44, 2003. Folia microbiológica, v.48, n.1, p. 27-44, 2003.

GEYER, R. **Production, use, and fate of synthetic polymers. Plastic waste and recycling**, p. 13–32, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817880-5.00002-5>. Acesso em: 03 ago. 2025

GUTIÉRREZ, C.; T. Emmanuel. **Futuro en los plásticos**. Ciências, nº 96, octubre diciembre, p.62-69, 2009.

T. HASSAN, et al. **Caracterização de plásticos e polímeros: Um estudo abrangente** Série de conferências do IOP: Mater. Sci. Eng, 1225, 2022

ILYAS, M. et al. (2018). **Plastic waste as a significant threat to environment - A systematic literature review**, De Gruyter. Disponível em: <https://doi.org/10.1515/reveh-2017-0035>. Acesso em 28 de ago. de 2025

IONASHIRO, M. **Fundamentos da Termogravimetria e Análise Térmica Diferencial / Calorimetria Exploratória Diferencial**. Giz: São Paulo, 2005.

KUNSTOFFE INTERNATION. **Odor and Out**. 2017. Disponível em: <https://en.kunststoffe.de/a/specialistarticle/odor-and-out-260562>. Acesso em 16 de ago. de 2025

MANO, E. B. **Polímeros como materiais de engenharia**. São Paulo: Blucher Ltda, 2000.

RP PROTO. Site do Michael. **Estabilidade dimensional dos plásticos**. Disponível em: <https://www.rproto.com/pt/blog/dimensional-stability-of-plastics>. Acesso em 30 de ago. 2025

MINASPOL INDUSTRIA E COMERCIO DE COMPOSTOS POLIMÉRICOS. Site da empresa, 2025. **Ficha de dados**. Disponível em: <https://minapol.com.br/> Acesso em 29 de ago. 2025

NASCIMENTO, R. M. M. et al. **Embalagem cartonada longa vida: lixo ou luxo?** Química Nova na Escola. n.25, p. 3-7, 2007.

NEUFELD, L.; STASSEN, F.; SHEPPARD, R.; GILMAN, T. **The new plastic economy: rethinking the future of plastics**. World Economic Forum, 2016. Disponível em: <http://www.repositorio.poli.ufrj.br/dissertacoes/dissertpoli2087.pdf>. Acesso em 03 ago. 2025.

OECD (2022), **Global Plastics Outlook: Economic Drivers, Environmental Impacts and Policy Options**, OECD Publishing, Paris. Disponível em: <https://doi.org/10.1787/de747aef-en>. Acesso em 28 ago. 2025.

OLIVEIRA, M. A. M., NELE, M., PINTO, J. C. **Polimerização RAFT em miniemulsão**. Polímeros, 23 (6), 784-797, 2013.

D. PAN, F. SU , C. LIU , Z. GUO. **Progresso da pesquisa para gestão de resíduos plásticos e fabricação de produtos de valor agregado** Adv. Compos. Matéria Híbrida, 3 (2020), pp. 443-461

PASSATORE, C. R. **Química dos polímeros**. Apostila. Centro Paulo de Souza, Escola Técnica Estadual Tiquatira, São Paulo, 2013.

PLASTICS EUROPE. **Plastics – the facts 2022**. 2022. Disponível em: <<https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2022/>>. Acesso em 03 ago. 2025.

PLASTICS EUROPE, 2020. **Plastics - The Facts 2020, an Analysis of European Latest Plastics Production, Demand and Waste Data**. Disponível em <<https://www.plasticseurope.org/en/resources/publications/4312-plastics-facts-2020>>. Acesso em 29 ago. 2025

PETRY, A. **Mercado brasileiro de polipropileno com ênfase no setor automobilístico**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Química), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

INSTITUTO ATMOS, 2024. **Brasil recicla apenas 4%, mas importa lixo para a indústria**. Disponível em <<https://www.poder360.com.br/conteudo-patrocinado/brasil-recicla-apenas-4-mas-importa-lixo-para-a-industria/>>. Acesso em 10 set. 2025.

RODRIGUES, A. C. S.; MOREIRA, J.F.M, SOUZA FILHO, L.B.; NUNES, V.D.B. **Vias de reciclagem dos polímeros polipropileno (PP) e poliestireno (PS): um estudo bibliográfico**. Revista Iberoamericana Polímeros y Materiales Polímeros. 18, n. 3, 2017.

ROUQUEROL, J.; WADSO, I.; HAINES, P. J. **Handbook of Thermal Analysis & Calorimetry**; Gallagher, P.; Brown M., eds.; Elsevier: Amsterdam, 2007, vol. 5, p. 21-62.

SANTOS, A. S. F.; AGNELLI, J. A. M.; MANRICH, S. **Tendências e desafios da reciclagem de embalagens plásticas**. *Polímeros*. Vol. 14, n.5, pp.307-312. 2004

SCHNABEL, W. **Polymers and light: fundamentals and technical applications**. John Wiley & Sons, 2007

SEBASTIÃO V. CANEVAROLO JR. **Ciência dos polímeros**. 3edição. São Paulo: Artliber, 2010.

SPINACÉ, M. A. S.; PALOLI, M. A. D.; **A tecnologia de reciclagem de polímeros**. Química Nova, Vol. 28, N. 1, 65-72, 2005.

LENZI, M. K., Lima, E. L., Pinto, J. C. **Modelagem da polimerização simultânea de estireno em suspensão e emulsão**. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 14 (2), 112- 121, 2004

LIMA, A. B. T. **Aplicações de Cargas Minerais em Polímeros**. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

WAN, E., Galembeck, E., Galembeck, F. **Polímeros sintéticos**. Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola, 5-8, maio 2001.

WYPYCH, G. **Handbook of Odors in Plastic Materials**. ChemTecPublishing. 2 Ed. Toronto, 2017.

ZANOTA, A. **Nova Tendência de Mercado: Polietilenos de Alta Fluidez**. Nota Técnica, Brasilplat- 1997.