

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE CAMPINAS  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM PROCESSOS QUÍMICOS

LEONARDO USTULIN CAPENE  
JOÃO VITOR MOREIRA DA COSTA

**ESTUDO DE REVISÃO DAS PROPRIEDADES  
COLORIMÉTRICAS EM GARRAFAS PET**

CAMPINAS/SP

2025

LEONARDO USTULIN CAPENE  
JOÃO VITOR MOREIRA DA COSTA

**ESTUDO DE REVISÃO DAS PROPRIEDADES  
COLORIMÉTRICAS EM GARRAFAS PET**

Trabalho de Graduação apresentado por **Leonardo Ustulin Capene e João Vitor Moreira da Costa**, como pré-requisito para a conclusão do Curso Superior de Tecnologia em **Processos Químicos**, da Faculdade de Tecnologia de Campinas, elaborado sob a orientação do Prof. Ma. **Bianca Pavan Catarino**

CAMPINAS/SP

2025

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE CAMPINAS

## BIBLIOTECA

### Formulário de Solicitação de Ficha Catalográfica

#### Dados pessoais

Nome completo: Leonardo Ustulin Capene	
E-mail: leonardocapene@gmail.com	Fone: (19) 98877-7313
Curso: Processos Químicos	Data da Defesa: 02/12/2025
Nota: 7,5	

#### Dados da publicação

Autor(es): Leonardo Ustulin Capene e João Vitor Moreira da Costa	
Título: Estudo de revisão das propriedades colorimétricas em garrafas pet	
Orientador ( <b>nome completo e titulação</b> ): Prof. Ma. Bianca Pavan Catarino	
Curso: Processos Químicos	
Nº.de páginas: 37	Ano: 2025

#### Resumo e Palavras-chave

Este trabalho busca investigar como as cores impactam esteticamente, funcionalmente e economicamente no desenvolvimento de garrafa PET. A percepção das cores é determinada pela absorção e reflexão de comprimentos de onda específicos da luz visível, variando entre 380 e 780 nm. Nos polímeros, a coloração é fundamental não apenas pela estética, mas também pelas propriedades técnicas dos produtos. Pigmentos e corantes, sendo particulados sólidos insolúveis e substâncias solúveis, respectivamente, têm papéis distintos na coloração dos polímeros. A seleção apropriada desses materiais é essencial para a durabilidade, resistência e aceitação dos produtos finais. A compatibilidade dos pigmentos com o polímero e outros aditivos é crucial para garantir a qualidade e funcionalidade. A indústria investe em métodos de coloração que atendem às exigências estéticas, técnicas e ambientais. Esse trabalho abordará uma revisão literária sobre a coloração em garrafa PET, o impacto da escolha da cor nas propriedades técnicas dos materiais. A pesquisa fornece diretrizes para uma produção mais sustentável e competitiva, contribuindo para a inovação e qualidade na indústria de polímeros.

Palavras-chave: Corantes, Garrafa, PET, Pigmentos, Polímeros, Sustentabilidade.

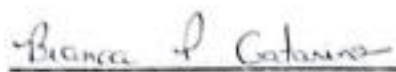
**JOAO VITOR MOREIRA DA COSTA  
LEONARDO USTULIN CAPENE**

**Estudos de revisão das propriedades colorimétricas em  
garrafas PET**


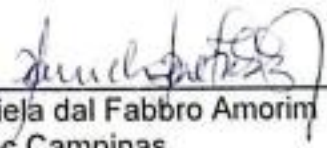
Trabalho de Graduação apresentado como exigência parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Processos Químicos, pelo CEETEPS / Faculdade de Tecnologia – Fatec Campinas.

Campinas, 02 de dezembro de 2025.

**BANCA EXAMINADORA**



\_\_\_\_\_  
Bianca Pavan Catarino  
Fatec Campinas

  
\_\_\_\_\_  
Nelson Maniasso  
Fatec Campinas  
\_\_\_\_\_  
Daniela dal Fabbro Amorim  
Fatec Campinas

## **RESUMO**

Este trabalho busca investigar como as cores impactam esteticamente, funcionalmente e economicamente no desenvolvimento de garrafa PET. A percepção das cores é determinada pela absorção e reflexão de comprimentos de onda específicos da luz visível, variando entre 380 e 780 nm. Nos polímeros, a coloração é fundamental não apenas pela estética, mas também pelas propriedades técnicas dos produtos. Pigmentos e corantes, sendo particulados sólidos insolúveis e substâncias solúveis, respectivamente, têm papéis distintos na coloração dos polímeros. A seleção apropriada desses materiais é essencial para a durabilidade, resistência e aceitação dos produtos finais. A compatibilidade dos pigmentos com o polímero e outros aditivos é crucial para garantir a qualidade e funcionalidade. A indústria investe em métodos de coloração que atendem às exigências estéticas, técnicas e ambientais. Esse trabalho abordará uma revisão literária sobre a coloração em garrafa PET, o impacto da escolha da cor nas propriedades técnicas dos materiais. A pesquisa fornece diretrizes para uma produção mais sustentável e competitiva, contribuindo para a inovação e qualidade na indústria de polímeros.

**Palavras-chave:** Corantes, Garrafa, PET, Pigmentos, Polímeros, Sustentabilidade.

## **ABSTRACT**

This study investigates how colors influence the aesthetic, functional, and economic aspects of PET bottle development. Color perception is determined by the absorption and reflection of specific wavelengths of visible light (380–780 nm). In polymers, coloration affects not only appearance but also technical performance. Pigments and dyes, which differ in solubility and structural behavior, play distinct roles in PET coloration. Their appropriate selection ensures durability, resistance, and consumer acceptance. This review discusses the main types of colorants used in PET bottles, their impact on optical, physical, and chemical properties, and their environmental implications. The findings provide guidelines for more sustainable and competitive production practices, supporting innovation in the polymer industry.

**Keywords:** Dyes, Bottle, PET, Pigments, Polymers, Sustainability.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Espectro de ondas eletromagnéticas.....	16
Figura 2 – Sistema CMYK.....	17
Figura 3 – Absorção das cores resumidas do espectro visível da luz e as prováveis cores observadas.....	18
Figura 4 - Fluxograma de Reciclagem da garrafa PET pelos métodos mecânica e Químico.....	22
Figura 5 – Diagrama de produção do polímero e das garrafas PET.....	24

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Comparação de pigmentos e corantes aplicados em garrafa PET .....	28
Tabela 2 - Comparativo entre cores de garrafas PET: vantagens e desvantagens .....	30
Tabela 3 - Influência da cor na estabilidade e aplicações típicas de garrafas PET .....	30

## LISTA DE ABREVIACOES

ABIPET	Associação Brasileira da Indústria do PET
ABIPLAST	Associação Brasileira da Indústria do Plástico
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
CMYK	Ciano, Magenta, Yellow (Amarelo) e Key (Preto)
DHTE	Dihidroetileno Tereftalato
DMT	Dimetiltereftalato
EEA	European Environment Agency
MEG	Monoetilenoglicol
PET	Polietileno Tereftalato
PTA	cido Tereftálico
PVC	Policloreto de Vinila

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\lambda$	Comprimento de onda (nm)
nm	Nanômetro ( $10^{-9}$ m)
°C	Graus Celsius (unidade de temperatura)

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO .....	14
1.2	JUSTIFICATIVA/PROBLEMÁTICA.....	14
1.3	OBJETIVOS.....	15
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRAFICA .....</b>	<b>16</b>
2.1	COMPREENDENDO AS CORES.....	16
2.2	POLÍMERO.....	19
2.3	GARRAFA PET.....	21
2.4	PROCESSOS DE PRODUÇÃO DA GARRAFA PET .....	23
	<b>2.4.2 SECAGEM DA RESINA.....</b>	<b>24</b>
	<b>2.4.3 MOLDAGEM DAS PRÉ-FORMAS .....</b>	<b>24</b>
	<b>2.4.4 REAQUECIMENTO .....</b>	<b>25</b>
	<b>2.4.5 ESTIRAMENTO E SOPRO .....</b>	<b>25</b>
	<b>2.4.6 RESFRIAMENTO E INSPEÇÃO.....</b>	<b>25</b>
	<b>2.4.7 RECICLAGEM.....</b>	<b>25</b>
	<b>2.4.8 PRINCIPAIS TIPOS DE PIGMENTOS.....</b>	<b>25</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>27</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>28</b>
4.1	LACUNAS IDENTIFICADAS NOS TRABALHOS ANALISADOS .....	31
4.2	TENDÊNCIAS E PERSPECTIVAS PARA NOVOS ESTUDOS.....	32
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>33</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>34</b>

# 1 INTRODUÇÃO

As cores acompanham a trajetória humana desde tempos antigos. Elas exercem papel relevante no cotidiano, com reflexos em aspectos culturais, psicológicos, estéticos, funcionais e econômicos. As cores influenciam o ser humano e seus efeitos, tanto em caráter fisiológico, como psicológico, intervêm em nossa vida, criando alegria ou tristeza, exaltação ou depressão, atividade ou passividade, calor ou frio, equilíbrio ou desequilíbrio, ordem ou desordem etc. (FARINA, 2006, p. 2).

Restaurantes utilizam as cores de forma estratégica para estimular o apetite e potencializar a experiência gastronômica. Tonalidades quentes, como vermelho, amarelo e laranja, são recorrentes em ambientes, logotipos e cardápios por transmitirem energia, urgência e favorecerem o aumento da fome. Estudos sobre percepção visual indicam que as cores estão entre os primeiros elementos processados pelo cérebro humano, influenciando diretamente as emoções e, conseqüentemente, as escolhas alimentares. Essa influência foi confirmada em um estudo recente, no qual alimentos apresentados com filtros em cores quentes foram considerados significativamente mais apetitosos do que aqueles exibidos em tons frios, com índices de preferência que variaram entre 67% e 93% (CHEN et al., 2023).

Essa capacidade de influenciar emoções e comportamentos está diretamente relacionada à natureza física das cores. O que percebemos como vermelho, azul ou amarelo nada mais é do que diferentes comprimentos de onda da luz refletida pelos objetos. Assim, a interação entre a luz e o material não apenas determina a cor visível aos nossos olhos, mas também serve como base para os efeitos psicológicos que as tonalidades provocam, como no caso do aumento do apetite em ambientes com cores quentes. Compreender a luz como ondas eletromagnéticas permite conectar a experiência sensorial cotidiana à ciência que explica a percepção da cor.

No universo das embalagens, especialmente das garrafas PET, essa influência das cores ganha ainda mais relevância. A garrafa PET, amplamente utilizada em refrigerantes, sucos, águas minerais e outras bebidas, não é apenas um recipiente de proteção, mas também um meio de comunicação com o consumidor. A cor da garrafa transmite mensagens de qualidade, frescor, confiança e até diferenciação de marca.

Garrafas transparentes são amplamente utilizadas por transmitirem a sensação de pureza e naturalidade, razão pela qual são predominantes em águas minerais e bebidas leves. Já as versões verdes ou âmbar reforçam conceitos tradicionais e oferecem maior barreira à luz, sendo comuns em bebidas que exigem proteção adicional. Assim, a cor atua como elemento funcional e também comunicacional, influenciando expectativas de qualidade e diferenciação comercial.

Além do aspecto estético e de marketing, a escolha da cor também está relacionada à funcionalidade. Determinadas tonalidades oferecem maior proteção contra a degradação do líquido, preservando sabor e características do produto por mais tempo. Um exemplo bastante conhecido é o uso de garrafas verdes e marrons para bebidas como cervejas e refrigerantes de cola, que necessitam de maior barreira contra a luminosidade.

Portanto, compreender o papel das cores em garrafas PET é essencial não apenas para a indústria, mas também para o consumidor. Elas influenciam decisões de compra, impactam na preservação do conteúdo e ainda desempenham papel significativo no processo de reciclagem, já que algumas cores são mais fáceis de reaproveitar que outras. Nesse sentido, o estudo das cores em embalagens PET integra fatores culturais, sensoriais e práticos, unindo ciência, marketing e sustentabilidade.

Dessa forma, a análise das cores em garrafas PET ultrapassa a dimensão estética e assume importância estratégica na indústria de embalagens. A escolha da coloração influencia diretamente a estabilidade do produto, a proteção contra radiação, a viabilidade da reciclagem e até a percepção de qualidade pelo consumidor. Apesar disso, observa-se uma lacuna no entendimento aprofundado sobre os impactos físico-químicos e ambientais associados aos diferentes métodos de coloração aplicados ao PET. Considerando a relevância desse polímero tanto no contexto econômico quanto no ambiental, este trabalho propõe uma revisão bibliográfica voltada à investigação das propriedades colorimétricas em garrafas PET, abordando como as cores, os pigmentos e os corantes interferem nas propriedades técnicas, na sustentabilidade e na competitividade da produção de embalagens poliméricas.

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A coloração em garrafas PET desempenha um papel crucial em diversos setores industriais. Além de influenciar aspectos estéticos, a escolha da cor afeta diretamente propriedades técnicas e funcionais do produto, como barreira à luz, percepção de qualidade e apelo comercial. Métodos variados de coloração são utilizados, cada um com suas vantagens e limitações. A evolução das preferências do consumidor e as regulamentações ambientais impulsionam a inovação nessa área. Compreender a importância da coloração em garrafas PET é essencial para garantir a qualidade do produto e a competitividade da indústria.

## 1.2 JUSTIFICATIVA/PROBLEMÁTICA

Apesar de muitas vezes ser considerada um aspecto secundário no processo de fabricação de garrafas PET, a coloração desempenha um papel essencial tanto na estética quanto nas propriedades técnicas desses produtos. No entanto, a escassez de pesquisa sobre a importância da coloração em garrafas PET pode levar a escolhas inadequadas de pigmentos, métodos de coloração ou até mesmo à subestimação do impacto que a cor pode ter no desempenho e na aceitação do produto final.

Além disso, a crescente demanda por garrafas PET mais personalizadas e inovadoras requer uma abordagem mais profunda e estratégica em relação à coloração. A falta de conhecimento sobre as técnicas mais recentes, as tendências de mercado e as implicações ambientais da coloração pode resultar em produtos que não atendem às expectativas do consumidor moderno ou que não estão alinhados com as regulamentações ambientais em constante evolução.

Portanto, é crucial investigar e compreender de forma abrangente a importância da coloração em garrafas PET, a fim de otimizar a qualidade, a funcionalidade e a sustentabilidade desses produtos, garantindo assim a competitividade da indústria e a satisfação do consumidor.

### 1.3 OBJETIVOS

#### 1.3.1 OBJETIVO GERAL

Investigar, por meio de revisão bibliográfica, as propriedades colorimétricas das garrafas PET, analisando a influência das cores, pigmentos e corantes sobre as características físico-químicas, estabilidade, reciclabilidade e desempenho funcional das embalagens, com foco em práticas sustentáveis e competitividade industrial.

#### 1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

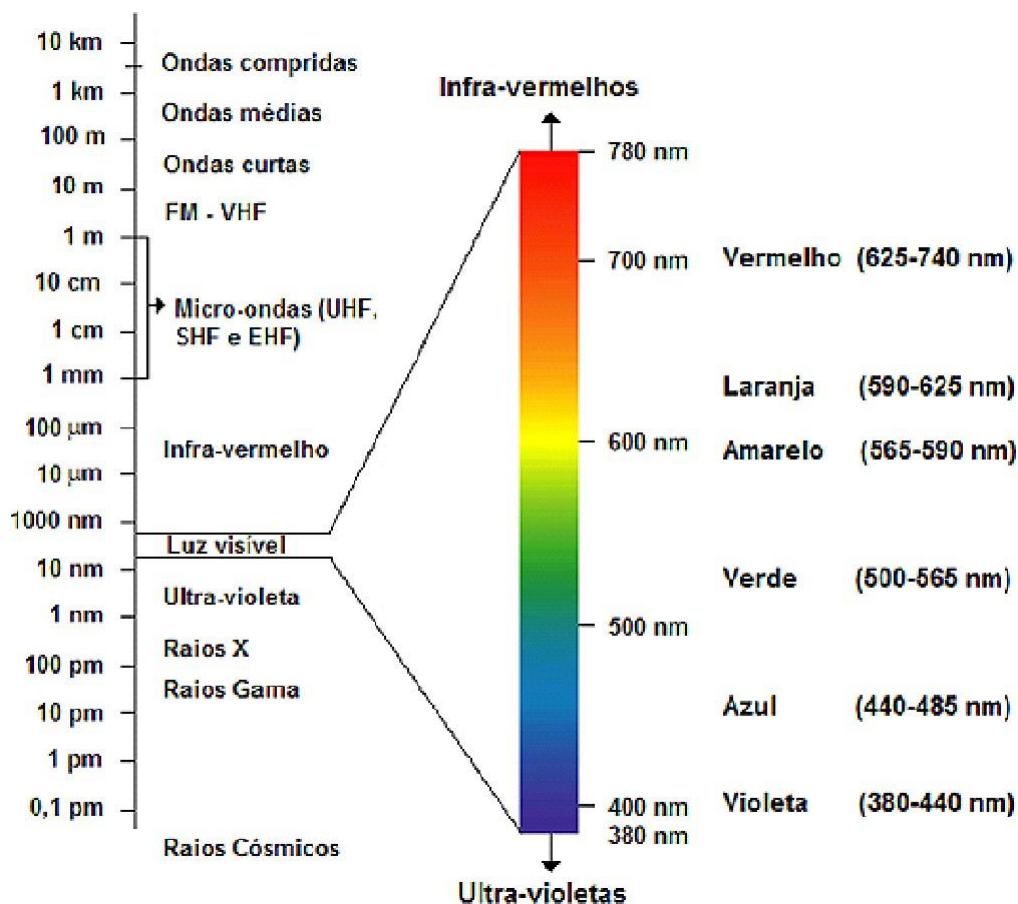
- a) Identificar os principais tipos de pigmentos e corantes utilizados na coloração de garrafas PET, suas propriedades e aplicações industriais;
- b) Avaliar a influência da cor sobre a estabilidade, resistência e proteção contra radiação UV em diferentes tipos de PET;

## 2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

### 2.1 COMPREENDENDO AS CORES

A visualização das cores ocorre devido à absorção e à reflexão de certos comprimentos de onda da luz incidente por parte de um corpo. A luz é uma forma de ondas eletromagnéticas, que pode ser caracterizada pelo seu comprimento de ondas, geralmente expresso em nanômetros (nm). O espectro eletromagnético contempla desde raios cósmicos que medem 0,001 nm à micro-ondas que medem até 300.000 nm, porém somente a luz visível afeta o sentido da visão, que fica nos intervalos de 380 a 780 nm de comprimento de onda, como ilustrado na Figura 1. (ARAÚJO; IRIS, 2021, P.88)

**Figura 1** - Espectro de ondas eletromagnéticas.



Fonte: HALLIDAY; RESNICK; WALKER (2016).

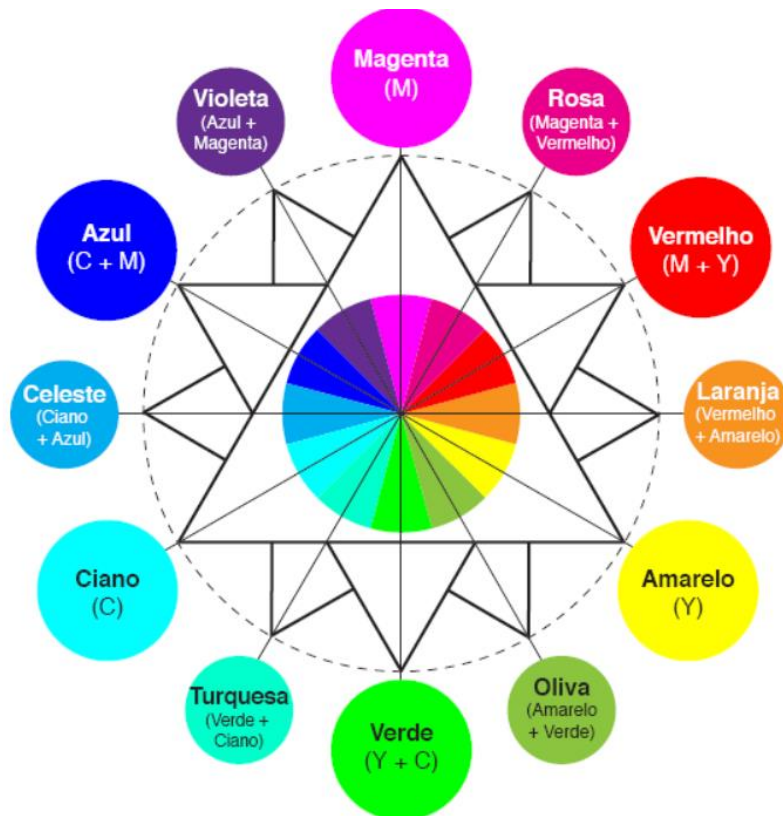
A cor é caracterizada por diferentes atributos, sendo a tonalidade o principal, que diferencia as cores de acordo com os comprimentos de onda do espectro visível, permitindo subdivisões ao longo de seu eixo cromático. Já a luminosidade, ou valor, refere-se ao grau de claridade da cor, dependendo da reflectância, e determina se a cor será percebida como clara ou escura.

A relação entre as cores absorvidas e observadas no espectro visível pode ser explicada com base no princípio da complementaridade cromática. A cor percebida pelo olho humano não corresponde diretamente à radiação luminosa absorvida pelo material, mas sim àquela que é

refletida ou transmitida. Dessa forma, quando uma substância absorve uma determinada faixa de comprimento de onda, a cor visível observada é a sua complementar.

Conforme ilustrado na Figura 2 o círculo cromático baseado no sistema CMYK, as cores primárias (ciano, magenta e amarelo) e suas respectivas combinações dão origem às cores secundárias (verde, vermelho e laranja) e terciárias. Nessa organização, cores opostas no círculo são complementares, o que explica a correspondência entre absorção espectral e percepção visual.

**Figura 2** – Sistema CMYK.



Fonte: ARAÚJO; IRIS (2021).

Por exemplo, a absorção de radiação na região violeta (380–420 nm) leva à observação de uma tonalidade verde-oliva. De forma semelhante, a absorção do azul (420–480 nm) resulta em amarelo, a absorção do ciano (480–490 nm) corresponde ao vermelho, e a absorção do verde (490–560 nm) leva ao magenta. Seguindo a mesma lógica, a absorção de amarelo (560–590 nm) resulta em azul, a absorção de laranja (590–620 nm) gera azul-celeste, e a absorção de vermelho (620–780 nm) tem como cor observada o ciano.

A Figura 3 mostra a relação entre as cores absorvidas e as cores observadas no espectro visível, com base no princípio da complementaridade cromática. Ela demonstra que:

**Figura 3** - Absorção das cores resumidas do espectro visível da luz e as prováveis cores observadas.

Faixa aproximada de comprimentos de onda (nm)	Faixa espectral de cor absorvida	Provável cor observada
380-420	Violeta	Verde-oliva
420-480	Azul	Amarelo
480-490	Ciano	Vermelho
490-560	Verde	Magenta
560-590	Amarelo	Azul
590-620	Laranja	Azul-celeste
620-780	Vermelho	Ciano

Fonte: ARAÚJO; IRIS (2021).

Essa correlação entre espectro de absorção e cor observada é essencial para estudos de pigmentação, caracterização de soluções e análises ópticas, sendo aplicada em áreas que vão da ciência dos materiais às artes visuais.

Essas propriedades físicas influenciam diretamente o comportamento dos pigmentos e corantes, materiais responsáveis por conferir coloração aos substratos. Um pigmento é uma partícula sólida, orgânica ou inorgânica, que pode apresentar uma viabilidade de cores, desde cores primárias (magenta, amarelo e ciano), cores secundárias (vermelho, verde e azul), e terciárias (rosa, laranja, olivia, turquesa, celeste e viloleta). E podem atingir o efeito ótico de fluorescência. Permanecendo insolúvel no substrato e sem reagir quimicamente com ele. Ao contrário das tintas ou corantes, que se dissolvem e perdem suas características estruturais, os pigmentos fornecem cor por dispersão mecânica. Estudos recentes reforçam a importância da estabilidade, das propriedades ópticas e da fluorescência para aplicações industriais modernas (CAVALCANTI, 2021).

A solubilidade de um corante depende de grupos funcionais específicos em sua estrutura molecular, como hidroxila, amino, carboxila ou sulfonato, que determinam se ele atuará como pigmento ou corante em diferentes substratos. Corantes reativos reagem quimicamente com fibras, enquanto pigmentos permanecem dispersos fisicamente, sendo essa distinção essencial na indústria para garantir durabilidade e intensidade da coloração (SILVA, 2023).

Também a compatibilidade do pigmento com os materiais em que será incorporado é fundamental, assegurando a obtenção da cor desejada sem reações indesejadas. Segundo Sauron e Felisberti, os pigmentos podem ser classificados em orgânicos e inorgânicos, conforme sua estrutura química.

Os pigmentos orgânicos apresentam coloração quando sua estrutura permite ressonâncias eletrônicas, possibilitando a absorção de radiações na região visível do espectro. Já os pigmentos inorgânicos são formados por complexos de metais de transição, embora nem todos os metais produzam compostos adequados para uso como corantes, apesar de muitos formarem compostos coloridos.

Nos polímeros, a incorporação de pigmentos e corantes ultrapassa a função meramente estética, exercendo papel fundamental na proteção e no desempenho do material. A escolha criteriosa da coloração pode contribuir para maior resistência à radiação UV, retardar processos de degradação fotoquímica, otimizar propriedades ópticas e até facilitar a triagem em processos de reciclagem (LEWANDOWSKI; SKÓRCZEWSKA, 2022).

Além disso, a utilização de pigmentos inorgânicos e aditivos específicos pode aumentar a estabilidade térmica e a durabilidade de produtos poliméricos em diferentes aplicações industriais (ELGHARBAWY, 2022). Estudos recentes também apontam que a engenharia de materiais coloridos permite desenvolver polímeros com características funcionais avançadas, unindo estética, desempenho técnico e sustentabilidade (KHANJAR et al., 2024).

## 2.2 POLÍMERO

Os polímeros são macromoléculas compostas por unidades repetitivas chamadas meros, conectadas por ligações covalentes, com propriedades físicas e químicas que lhes conferem múltiplas aplicações industriais. Callister e Rethwisch (2014) os classificam em termoplásticos, termofixos e elastômeros, categorização essa frequentemente utilizada em engenharia de materiais.

Já Canevarolo (2006) resume que os termoplásticos podem ser remoldados várias vezes ao serem aquecidos, os termofixos adquirem rigidez irreversível após cura, e os elastômeros têm alta elasticidade e recuperação de forma. Recentemente, Khanjar et al. (2024) estenderam essa base ao comparar esses grupos na produção de compósitos termoestáveis e termoplásticos, destacando avanços em desempenho mecânico e estabilidade térmica.

O avanço técnico e econômico dos polímeros na última década evidencia sua importância em direção à sustentabilidade. A European Environment Agency (2024) destaca o papel essencial dos plásticos na transição para uma economia circular, enfatizando esforços regulatórios e de reciclagem por toda a União Europeia. Complementando, o relatório PlasticsEurope (2023) aponta que setores como embalagens, construção civil e automotivo continuam dominando o consumo de polímeros, com crescente demanda por biopolímeros e compósitos sustentáveis.

No Brasil, o Perfil ABIPLAST (2023) indica que a indústria de transformação de

plásticos mantêm alta relevância econômica, com forte impulso em reciclagem e inovação, especialmente no setor de embalagens.

As aplicações práticas desses materiais incluem desde filmes para conservação de alimentos até embalagens ativas com agentes antimicrobianos. Em um artigo de 2022 na *Frontiers in Nutrition*, são discutidas estratégias como embalagens biodegradáveis, ativas e inteligentes, destacando métodos avançados de fabricação (filmes multicamadas, emulsificados) e funcionalidades como resistência mecânica, barreira de umidade e liberação controlada de compostos bioativos. Ainda na indústria, biopolímeros vêm sendo testados em espumas de proteção, filmes biodegradáveis agrícolas (mulching), revestimentos para transporte de itens frágeis e fertilizantes de liberação controlada.

Finalmente, o contexto de mercado reforça a expansão desses materiais: entre 2018 e 2021 houve quase 1.746 publicações sobre biopolímeros, com crescente número de citações; o valor de mercado passou de USD 6,95 bi (2018) a um estimado de USD 14,92 bi em 2023, com a União Europeia como principal consumidora global e a Ásia-Pacífico em crescimento acelerado. Apesar dessa tendência de inovação, polímeros tradicionais como o policloreto de vinila (PVC) ainda ocupam posição central no setor industrial, sobretudo na construção civil, cabos elétricos e revestimentos. Essa coexistência entre materiais convencionais e novas alternativas sustentáveis exemplifica o equilíbrio atual do mercado de polímeros. (ELGHARBAWY, 2022; LEWANDOWSKI; SKÓRCZEWSKA, 2022).

Embora novas alternativas em materiais sustentáveis, como biopolímeros e compósitos biodegradáveis, estejam sendo amplamente estudadas, o polietileno tereftalato (PET) ainda mantém posição de destaque na indústria de embalagens. Tal predominância se deve à sua combinação equilibrada de propriedades físico-químicas, incluindo elevada resistência mecânica, transparência, leveza e boa barreira parcial a gases, além de apresentar alta reciclabilidade. Essas características conferem ao PET um perfil competitivo, tanto em termos de desempenho quanto de sustentabilidade, favorecendo sua ampla aplicação em setores como bebidas, alimentos, cosméticos e produtos de limpeza.

No contexto brasileiro, o consumo e a reciclagem do politereftalato de etileno (PET) têm adquirido relevância crescente, tanto sob o ponto de vista econômico quanto ambiental. Segundo o 13º Censo da Reciclagem do PET no Brasil, realizado pela Associação Brasileira da Indústria do Plástico (ABIPLAST, 2024), o país reciclou aproximadamente 410 mil toneladas de embalagens PET pós-consumo, representando um aumento de cerca de 14 % em relação ao ano anterior. Esse volume movimentou um faturamento estimado em R\$ 5,66 bilhões, dos quais cerca de 40 % ficaram com catadores, cooperativas e sucateiros, evidenciando a importância social da cadeia de reciclagem. Contudo, observa-se que as recicladoras ainda operam com

ociosidade média de 23 %, podendo chegar a 40 % em determinadas regiões, em razão das limitações na coleta e na oferta de matéria-prima.

De forma paralela, o consumo de resina PET virgem atingiu aproximadamente 688 mil toneladas em 2022, apresentando crescimento acumulado de 21 % nos últimos cinco anos (MOLDES INJEÇÃO PLÁSTICOS, 2023). Tais indicadores reforçam a expressiva participação do PET no mercado nacional de embalagens e demonstram sua importância estratégica no contexto da economia circular. Diante desse cenário, torna-se fundamental compreender de que maneira fatores estéticos, como a coloração, podem influenciar não apenas a aceitação comercial e o desempenho técnico das garrafas PET, mas também a eficiência nos processos de triagem óptica e reciclagem, contribuindo diretamente para o aprimoramento de práticas industriais mais sustentáveis.

### 2.3 GARRAFA PET

O Polietileno Tereftalato (PET) é um polímero termoplástico da categoria dos poliésteres e é amplamente utilizado na produção de embalagens, especialmente no segmento de bebidas. Suas características físico-químicas incluem alta resistência à tração e ao impacto, baixa permeabilidade a gases como o dióxido de carbono e o oxigênio, transparência, facilidade de moldagem por sopro e a possibilidade de reciclagem por meio de reprocessamento mecânico e químico.

A garrafa PET surgiu em substituição as garrafas de PVC, No entanto, preocupações quanto à migração de aditivos, limitações no processo de reciclagem e a ascensão do PET como alternativa mais segura e reciclável levaram ao declínio dessa aplicação (ABIPLAST, 2023; PLASTICSEUROPE, 2023). Essa transição evidencia como o desenvolvimento de novos materiais pode influenciar significativamente a substituição do PVC em determinados nichos de mercado. Como o polietileno Tereftalato (PET), que possui vasta aplicação nas garrafas PET.

No setor de alimentos e bebidas, o PET é comumente empregado na fabricação de embalagens para refrigerantes com gás, águas minerais, sucos, bebidas energéticas, chás prontos e, mais recentemente, cervejas e vinhos. Sua notável capacidade de suportar pressão interna assegura a integridade da embalagem, enquanto a barreira parcial contra gases contribui para manter a carbonatação e o aroma das bebidas.

Além disso, o PET é utilizado em embalagens de óleos comestíveis, vinagres, molhos e condimentos, onde sua transparência ajuda a tornar o produto mais atrativo para o consumidor, que consegue ver o conteúdo facilmente.

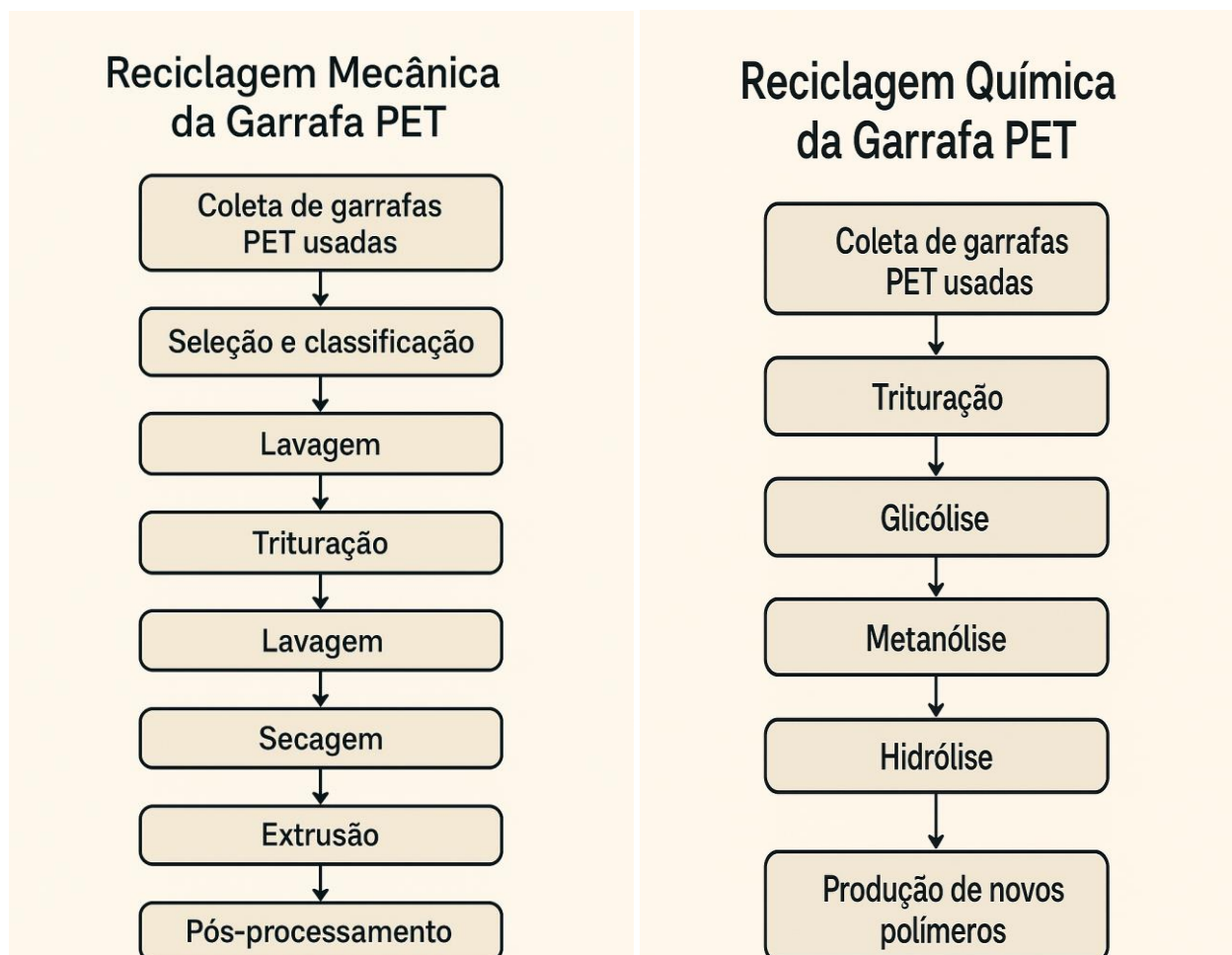
Na área de higiene, limpeza e cosméticos esse plástico é usado para envasar detergentes,

desinfetantes, amaciantes, sabonetes líquidos, shampoos e condicionadores. Nesse contexto, ele se destaca por ter uma resistência química moderada e por permitir a adição de ingredientes que aumentam a proteção contra agentes externos.

O setor de produtos químicos domésticos também aproveita o PET em embalagens para xaropes, soluções aquosas e lubrificantes, desde que a formulação seja compatível com o polímero e não cause a degradação da estrutura do material.

Outro ponto importante é a reciclagem do PET após o uso. Essa reciclagem pode acontecer de duas formas: mecânica, que envolve moagem, lavagem e reprocessamento por extrusão, ou química, que inclui processos como glicólise, metanólise e hidrólise. Esses métodos permitem transformar o PET em novas resinas ou subprodutos. O material reciclado tem diversas aplicações na indústria têxtil, sendo usado na fabricação de fibras de poliéster para roupas, tapetes e estofados. Também é utilizado na produção de enchimentos para travesseiros e brinquedos, em cerdas de vassoura, filmes plásticos e até na construção civil, na fabricação de telhas e tijolos ecológicos.

**Figura 4** – Fluxograma de Reciclagem da garrafa PET pelos métodos mecânica e químico.



Assim, a garrafa PET não é apenas um recipiente para produtos de uso rápido, mas também se torna um material importante na economia circular. Ela oferece bom desempenho, é versátil na indústria e tem um grande potencial de ajudar a cuidar do meio ambiente.

#### 2.4 PROCESSOS DE PRODUÇÃO DA GARRAFA PET

O politereftalato de etileno (PET) é um polímero termoplástico da família dos poliésteres, amplamente utilizado na fabricação de embalagens rígidas. Suas propriedades de resistência mecânica, leveza, transparência e reciclabilidade tornam-no ideal para o acondicionamento de bebidas, produtos alimentícios e itens de higiene.

As garrafas PET apresentam diversas cores, que variam de acordo com a função do produto. A cor transparente é a mais comum, especialmente para água mineral, enquanto tons verde e âmbar protegem bebidas sensíveis à luz, como refrigerantes e cervejas. Outras cores podem ser utilizadas para estratégias de marketing e diferenciação de produto.

Observa-se na figura que o processo de produção do polímero PET e das garrafas PET de refrigerante tem início no petróleo, o qual passa por um processo de destilação da nafta. A partir daí, são obtidos diferentes monômeros como benzeno, propeno, butadieno, etileno, tolueno, xileno, entre outros.

A Figura 5 a seguir mostra a produção da garrafa PET tem início na indústria petroquímica, a partir do refino do petróleo e da obtenção de seus derivados, como a nafta. Esse composto é submetido à destilação, originando diferentes hidrocarbonetos que servem de base para a síntese de intermediários fundamentais — entre eles o monoetilenoglicol (MEG) e o ácido tereftálico purificado (PTA). Esses dois reagentes passam por uma reação de condensação que resulta na formação do polímero polietileno tereftalato (PET), que posteriormente é processado na forma de pellets e moldado nas etapas subsequentes de produção.

**Figura 5** – Diagrama de produção do polímero e das garrafas PET.



Fonte: KOSCHEVIC, BITTENCOURT (2016).

#### 2.4.1 SÍNTESE DA RESINA

Esses compostos servem de base para a obtenção de intermediários importantes, como MEG (monoetileno-glicol), DMT (dimetiltereftalato cristalizado) e PTA (ácido tereftálico), que são as matérias-primas diretas para a produção do polímero PET. Que é obtido por reação de condensação entre PTA e MEG, formando um polímero de alto peso molecular. A resina resultante é extrudada em pellets, que podem passar por uma etapa de polimerização em estado sólido para aumentar a viscosidade e a resistência mecânica da garrafa final.

O polímero pode ser classificado em termoendurecido (termofixo) ou termoplástico, sendo este último o utilizado para a fabricação das garrafas. Para isso, ocorre o processo de transesterificação, dando origem ao DHTE (dihidroetileno tereftalato).

#### 2.4.2 SECAGEM DA RESINA

Antes da moldagem, os pellets de PET são submetidos à secagem, para remoção de umidade. Isso evita a degradação do polímero durante o aquecimento e garante propriedades físicas adequadas para a moldagem.

#### 2.4.3 MOLDAGEM DAS PRÉ-FORMAS

Os pellets secos são fundidos e injetados em moldes, formando as pré-formas, que possuem a rosca da garrafa já definida. Esta etapa estabelece o peso e a geometria básica do produto final.

#### **2.4.4 REAQUECIMENTO**

As pré-formas são aquecidas em fornos infravermelhos até atingirem a temperatura de aproximadamente 100°C para o processo de estiramento biaxial, condição necessária para conferir resistência e transparência às garrafas. (MOURA, 2024).

#### **2.4.5 ESTIRAMENTO E SOPRO**

As pré-formas aquecidas são estiradas axial e radialmente dentro de moldes, adquirindo o formato final da garrafa. O estiramento biaxial orienta as moléculas do PET, proporcionando alta resistência mecânica e estabilidade dimensional.

#### **2.4.6 RESFRIAMENTO E INSPEÇÃO**

Após o sopro, as garrafas são resfriadas e submetidas a inspeções visuais e testes de dimensão, peso e resistência. Somente produtos aprovados seguem para o envase.

#### **2.4.7 RECICLAGEM**

O PET pós-consumo pode ser reciclado, retornando como flakes para a fabricação de novas garrafas, fibras têxteis ou outros produtos, contribuindo para a sustentabilidade do processo industrial.

#### **2.4.8 PRINCIPAIS TIPOS DE PIGMENTOS**

Os pigmentos utilizados em garrafas de politereftalato de etileno (PET) têm como principal função conferir coloração, proteger o conteúdo da embalagem contra a radiação luminosa e contribuir para o apelo estético do produto. De modo geral, esses pigmentos podem ser classificados em inorgânicos, orgânicos e de efeito, cada um apresentando características físico-químicas e funcionais distintas.

Os pigmentos inorgânicos são compostos minerais, geralmente óxidos metálicos, sulfetos ou carbonatos, caracterizados por sua baixa solubilidade, alta estabilidade térmica e resistência à luz. Essas propriedades os tornam ideais para aplicações que exigem elevada durabilidade e proteção contra condições severas de uso, como exposição prolongada ao calor e à radiação ultravioleta.

Entre os pigmentos inorgânicos, o óxido de ferro é o mais amplamente empregado na coloração de garrafas PET, por apresentar opacidade, alta resistência térmica e baixo custo, além de proporcionar tonalidades que variam do amarelo ao marrom-avermelhado (SANTOS, 2016). Esse pigmento é especialmente indicado para embalagens expostas à luz ou ao calor, como produtos de limpeza e óleos industriais.

Os pigmentos orgânicos, por sua vez, são compostos sintéticos à base de carbono, amplamente utilizados quando se busca cores vivas e alta intensidade cromática. Esses pigmentos apresentam boa dispersão na matriz polimérica e conferem excelente aparência estética às embalagens. No entanto, possuem menor estabilidade térmica e resistência à luz em comparação aos pigmentos inorgânicos, o que limita seu uso a produtos que não sofrem altas temperaturas durante o processamento ou o armazenamento (RODRIGUES, 2018).

Entre os principais exemplos destacam-se a quinacridona e a ftalocianina, que produzem tons vibrantes de vermelho, azul e verde.

Por fim, os pigmentos de efeito englobam substâncias como pigmentos perolados e metálicos, responsáveis por gerar brilho, iridescência e efeitos visuais especiais. Além do aspecto decorativo, esses pigmentos também contribuem para a diferenciação de marca e agregam valor estético ao produto final (MARTINS, 2020). São frequentemente utilizados em embalagens premium ou promocionais, onde a aparência desempenha papel fundamental na percepção de qualidade pelo consumidor.

### 3 METODOLOGIA

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa bibliográfica de natureza exploratória e descritiva, com enfoque em revisão sistemática da literatura científica. A metodologia adotada visa compreender de forma aprofundada as propriedades colorimétricas em garrafas PET, considerando aspectos estéticos, funcionais e técnicos associados à coloração dos polímeros.

Inicialmente, foi realizada uma busca ampla em bases de dados científicas, periódicos de alto impacto e livros especializados na área de ciência dos materiais, polímeros e aditivos. A pesquisa considerou publicações no período de 1991 a 2024, abrangendo tanto estudos clássicos quanto pesquisas recentes que abordam pigmentos, corantes e suas interações com o polímero PET.

Os critérios de inclusão priorizaram trabalhos que apresentassem dados experimentais, análises de estabilidade e efeitos de diferentes cores sobre a resistência, durabilidade e propriedades ópticas das garrafas PET. Também foram considerados estudos que discutissem aspectos ambientais, regulamentares e industriais da coloração, garantindo uma visão integrada entre ciência, tecnologia e sustentabilidade.

A coleta de informações incluiu a análise de:

- Características físico-químicas de pigmentos e corantes aplicáveis ao PET;
- Tipos de pigmentos (orgânicos, inorgânicos e de efeito) e corantes solúveis;
- Influência da cor na proteção contra radiação UV, oxidação e degradação de produtos;
- Métodos de incorporação de aditivos na resina PET durante o processo de produção;
- Implicações ambientais e regulamentares da utilização de aditivos coloridos.

As informações coletadas foram organizadas, comparadas e sintetizadas de forma crítica, permitindo a construção de um panorama atualizado sobre as propriedades colorimétricas de garrafas PET. Esse procedimento assegura que os resultados da revisão forneçam diretrizes consistentes para o desenvolvimento industrial e sustentável de embalagens coloridas, conciliando estética, funcionalidade e responsabilidade ambiental.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos a partir da revisão bibliográfica demonstram que a coloração das garrafas PET está diretamente relacionada a fatores estéticos, funcionais e ambientais. Os estudos analisados evidenciam que pigmentos e corantes aplicados ao PET exercem papel significativo não apenas na aparência do produto, mas também em sua resistência à radiação ultravioleta (UV), durabilidade e preservação do conteúdo envasado.

Em relação aos pigmentos, observou-se que os inorgânicos, principalmente os à base de óxidos metálicos, apresentam maior estabilidade térmica e capacidade de proteção contra a degradação fotoquímica, sendo amplamente aplicados em embalagens destinadas a bebidas sensíveis à luz, como cervejas e sucos. Por outro lado, os pigmentos orgânicos e de efeito oferecem cores mais vivas e atrativas, o que confere maior apelo estético, embora apresentem menor resistência térmica e durabilidade sob exposição intensa à luz e ao calor. Já os corantes solúveis, menos recorrentes nas referências, tendem a apresentar maior suscetibilidade à migração e volatilização, o que pode comprometer a segurança e a estabilidade do produto final (RODRIGUES, 2018; SANTOS, 2016; MARTINS, 2020).

A Tabela 1 apresenta um resumo dos principais tipos de pigmentos e corantes aplicados em garrafas PET, destacando suas propriedades, vantagens e limitações segundo diferentes autores.

**Tabela 1** – Tipos de pigmentos e corantes aplicados em garrafas PET e suas principais características.

Tipo	Exemplo	Solubilidade	Propriedades	Vantagens	Aplicações
Pigmento inorgânico	Óxido de ferro	Insolúvel	Alta estabilidade térmica	Opacidade, menos cores vibrantes	Garrafas expostas à luz ou calor
Pigmento orgânico	Quinacridona, ftalocianina	Insolúvel	Cores vibrantes, boa dispersão	Aparência estética	Garrafas para bebidas e produtos de consumo
Pigmento de efeito	Pigmentos perolados e metálicos	Insolúvel	Brilho, iridescência	Valor estético, diferenciação de marca	Embalagens premium ou promocionais
Corante solúvel	Azul brilhante, vermelho ácido	Solúvel	Migração na resina, coloração uniforme	Cores translúcidas, efeito brilhante	Aplicações limitadas, decoração interna de PET

Fonte: Adaptado de Martins (2020), Santos (2016) e Rodrigues (2018).

Observa-se, conforme apresentado na Tabela 1, que os pigmentos inorgânicos, como os óxidos metálicos (TiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e COO), predominam na coloração de garrafas PET devido à sua elevada estabilidade térmica e resistência à fotodegradação. Em contrapartida, os corantes

orgânicos apresentam melhor dispersão e variedade cromática, porém menor resistência à luz e à temperatura. Essa tendência é corroborada por Saron e Felisberti (2006), que destacam o TiO<sub>2</sub> como o agente de opacificação mais utilizado em embalagens translúcidas destinadas a bebidas sensíveis à luz.

A análise dos estudos sobre pigmentos, corantes e estabilidade colorimétrica em garrafas PET evidencia uma tendência industrial de preferência pelos pigmentos inorgânicos, especialmente os baseados em óxidos metálicos. Essa escolha se deve à alta resistência térmica, estabilidade à luz e baixo risco de migração química, conforme apontam Santos (2016) e Martins (2020).

Apesar dos avanços em pigmentos orgânicos e híbridos, a indústria ainda prioriza segurança e desempenho técnico em detrimento da estética quando se trata de embalagens que exigem durabilidade e proteção funcional. Complementando essa análise, a Tabela 3 apresenta a influência da coloração sobre a estabilidade das garrafas PET e suas aplicações típicas, evidenciando a relação entre funcionalidade e design.

A relação entre a cor da garrafa PET e o posicionamento comercial do produto também foi amplamente destacada. As garrafas transparentes continuam sendo as mais vendidas mundialmente, especialmente em águas minerais, sucos claros e refrigerantes leves, por proporcionarem simplicidade, apelo visual e baixo custo de produção. Essa preferência decorre da associação da transparência à pureza e qualidade — atributos valorizados pelos consumidores (RODRIGUES, 2018; ABIPET, 2025).

As garrafas verdes ocupam a segunda posição em popularidade, predominando em bebidas cítricas e refrigerantes de cola. Sua proteção intermediária contra a radiação UV e o apelo tradicional contribuem para seu uso constante, embora sua participação venha diminuindo em função da reciclagem facilitada das garrafas incolores.

A cor âmbar é característica de cervejas, chás e óleos, produtos altamente sensíveis à luz. Mesmo com menor atratividade estética, sua proteção superior garante maior conservação e durabilidade, o que justifica sua escolha em segmentos específicos (SARON; FELISBERTI, 2006). Para uma visão comparativa, a Tabela 2 sintetiza as principais vantagens e desvantagens associadas às diferentes cores de garrafas PET, considerando aspectos de proteção, apelo estético e reciclabilidade.

As garrafas azuis são associadas a produtos premium, especialmente águas minerais e bebidas funcionais, por transmitirem sensação de frescor e modernidade, embora ofereçam proteção apenas moderada.

Já as embalagens pretas ou escuras têm aplicação restrita no setor alimentício, sendo mais

comuns em produtos de limpeza ou óleos lubrificantes, onde a proteção total contra a luz é tecnicamente necessária.

**Tabela 2** – Comparativo entre cores de garrafas PET: vantagens e desvantagens.

Cor	Vantagens	Desvantagens
Transparente (cristal/natural)	Permite a visualização total do conteúdo, transmite sensação de pureza e qualidade; amplamente aceita pelo consumidor.	Alta permeabilidade à luz UV e visível; favorece a degradação de compostos sensíveis; exige uso de aditivos protetores.
Verde	Reduz parcialmente a passagem de luz; oferece proteção moderada a bebidas gaseificadas; apelo visual tradicional.	Proteção limitada contra radiação UV; restrita a alguns tipos de bebidas.
Âmbar (marrom)	Fornecer excelente proteção contra radiação UV; ideal para bebidas sensíveis à luz, como cervejas e óleos.	Reduz transparência e atratividade estética; dificulta visualização do conteúdo.
Azul	Associada à pureza, frescor e qualidade; comum em águas minerais e bebidas funcionais; estética moderna.	Proteção apenas moderada; caráter mais estético que funcional; pode limitar a reciclagem.
Preta / Tons escuros	Bloqueia totalmente a luz; evita degradação e proliferação de microrganismos; muito estável.	Produto fica invisível; baixa aceitação em bebidas; uso mais comum em produtos de limpeza e industriais.

Fonte: Adaptado de ABIPET (2025); Saron e Felisberti (2006); Martins (2020).

A Tabela 2 evidencia que as garrafas incolores e verdes dominam o mercado de bebidas, especialmente águas e refrigerantes, pela associação com pureza e frescor. As garrafas âmbar, por sua vez, oferecem melhor proteção contra radiação UV, sendo amplamente empregadas para cervejas e medicamentos (RODRIGUES, 2018). Nota-se, ainda, que cores escuras, embora funcionais, dificultam a triagem óptica na reciclagem, reduzindo a qualidade do PET reciclado (ABIPET, 2023).

**Tabela 3** – Influência da cor na estabilidade e aplicações típicas de garrafas PET.

Cor da PET	Nível de proteção contra luz/UV	Efeito na estabilidade do produto	Aplicações típicas
Transparente (cristal)	Muito baixa	Alta exposição à radiação, acelerando a degradação de compostos sensíveis (vitaminas, antioxidantes, corantes naturais). Necessita de aditivos para maior proteção.	Água mineral, refrigerantes claros
Verde	Média	Reduz parcialmente a passagem de radiação visível/UV, diminuindo oxidação e perda de carbonatação.	Refrigerantes (citrus, cola, guaraná)
Azul	Média-baixa	Oferece barreira limitada; tem função mais estética que protetiva. Proporciona leve redução da oxidação.	Águas minerais premium, bebidas funcionais
Âmbar (marrom)	Alta	Excelente barreira contra radiação UV; preserva compostos fotossensíveis e aumenta a vida útil do produto.	Cervejas, sucos, chás, fármacos líquidos
Preta / cores escuras	Muito alta	Máxima proteção contra degradação foto-oxidativa, praticamente eliminando a passagem de luz.	Óleos lubrificantes, produtos de limpeza, fármacos especiais

Fonte: Adaptado de ABIPET (2025); Rodrigues (2018); Saron e Felisberti (2006).

Conforme exposto na Tabela 3, a coloração exerce impacto direto sobre a estabilidade térmica e fotoquímica das garrafas PET. As tonalidades mais escuras absorvem maior energia luminosa, retardando a degradação do conteúdo, mas acelerando a degradação superficial do polímero. Já as cores claras, especialmente o transparente e o verde-claro, apresentam menor absorção de radiação, preservando o brilho e a aparência, mas com menor capacidade de barreira (MARTINS, 2020; SANTOS, 2016).

Esses resultados confirmam que a coloração das garrafas PET reflete uma busca por equilíbrio entre estética e funcionalidade, onde o mercado tende a privilegiar a aparência e a percepção de valor do produto, enquanto a ciência e a engenharia buscam maximizar a estabilidade e a reciclabilidade.

Do ponto de vista ambiental, há um movimento crescente voltado à substituição de pigmentos metálicos potencialmente tóxicos — como os baseados em chumbo e cádmio — por alternativas sustentáveis e recicláveis. Martins (2020) aponta avanços significativos no desenvolvimento de pigmentos híbridos e orgânicos de baixo impacto ambiental, embora ainda haja limitações quanto à estabilidade térmica e fotoquímica desses materiais em longo prazo.

Durante a revisão, identificou-se também a escassez de estudos que correlacionem diretamente o tipo de pigmento com a reciclabilidade do PET, uma vez que a presença de cor tende a reduzir a qualidade do material reciclado e restringir sua reutilização em novos produtos. A maioria dos trabalhos concentra-se em análises separadas — ora químicas, ora ópticas —, sem integrar completamente os impactos ambientais e industriais da coloração, o que reforça a necessidade de abordagens multidisciplinares.

Dessa forma, a coloração em garrafas PET deve ser compreendida como um elemento multifuncional, capaz de influenciar desde a proteção e conservação do produto, até sua atratividade comercial, sustentabilidade e viabilidade de reciclagem. O desafio atual da indústria é equilibrar esses fatores de modo a otimizar o ciclo de vida das embalagens, sem comprometer o desempenho técnico ou o apelo estético.

#### 4.1 LACUNAS IDENTIFICADAS NOS TRABALHOS ANALISADOS

Apesar do avanço nas pesquisas sobre pigmentos e corantes aplicados em PET, ainda existem lacunas significativas na literatura. Muitos estudos focam em análises isoladas, sem abordar de forma integrada os efeitos da coloração na degradação térmica, reciclabilidade e impactos ambientais.

Outra lacuna observada está na escassez de dados experimentais recentes que relacionem o tipo de pigmento utilizado às propriedades ópticas e mecânicas do PET reciclado. Há poucos trabalhos que avaliam a influência dos pigmentos na qualidade do material pós-reciclagem, o que é crucial para o avanço da economia circular.

Além disso, verifica-se a ausência de padronização metodológica entre os estudos revisados, o que dificulta a comparação direta de resultados. Poucos autores discutem os efeitos sinérgicos entre pigmentos, aditivos estabilizantes e exposição a radiações (UV e térmica), fatores que impactam diretamente a durabilidade e o desempenho das embalagens.

#### 4.2 TENDÊNCIAS E PERSPECTIVAS PARA NOVOS ESTUDOS

As tendências apontam para o desenvolvimento de pigmentos sustentáveis, que aliem baixa toxicidade, alta estabilidade térmica e fotoquímica, e compatibilidade com processos de reciclagem. Pesquisas futuras devem priorizar o uso de pigmentos híbridos orgânico-inorgânicos e nanocompósitos, capazes de oferecer proteção eficiente à radiação UV sem comprometer a reciclabilidade do PET.

Também há espaço para estudos que integrem análises de ciclo de vida (ACV), impactos ambientais e eficiência energética dos métodos de coloração. Essas abordagens podem contribuir para um modelo sustentável de produção de embalagens, alinhado aos princípios da economia circular e às metas globais de redução de resíduos plásticos.

Outra tendência promissora está no uso de tecnologias de espectroscopia e fotodegradação acelerada, que podem quantificar de forma precisa a estabilidade colorimétrica e prever o comportamento do PET ao longo do tempo. A integração entre ciência dos materiais, engenharia química e design de embalagens será determinante para o avanço de soluções inovadoras, estéticas e sustentáveis.

Em síntese, a evolução da coloração em garrafas PET caminha para um cenário de equilíbrio entre estética, funcionalidade e sustentabilidade. A continuidade de pesquisas nessa área permitirá ampliar o entendimento sobre a relação entre pigmentação, desempenho técnico e impacto ambiental, consolidando o papel do PET como material versátil, eficiente e cada vez mais alinhado às exigências ambientais do século XXI.

## 5 CONCLUSÃO

O presente estudo atingiu o objetivo de investigar, por meio de revisão bibliográfica, as propriedades colorimétricas das garrafas PET, destacando que a coloração exerce papel determinante não apenas na estética das embalagens, mas também em sua funcionalidade, estabilidade e sustentabilidade. Verificou-se que a escolha adequada de pigmentos e corantes influencia diretamente a proteção do produto contra a radiação ultravioleta, a durabilidade do material e a aceitação comercial pelo consumidor.

Constatou-se que os pigmentos inorgânicos, por apresentarem elevada estabilidade térmica e resistência à luz, são amplamente utilizados quando se busca desempenho técnico e proteção funcional, enquanto os pigmentos orgânicos e de efeito atendem, sobretudo, às demandas estéticas e de diferenciação de mercado. Os corantes solúveis, embora proporcionem transparência e brilho, demonstraram menor estabilidade e segurança para aplicações prolongadas.

Do ponto de vista ambiental, observou-se que a coloração influencia diretamente a reciclabilidade do PET, visto que determinadas tonalidades dificultam o processo de triagem e reduzem a qualidade do material reciclado. Assim, a adoção de pigmentos sustentáveis e compatíveis com os processos de reciclagem desponta como tendência necessária para equilibrar apelo visual, desempenho técnico e responsabilidade ambiental.

Com base nos resultados discutidos, conclui-se que a coloração em garrafas PET deve ser compreendida como um elemento multifuncional e estratégico, capaz de integrar aspectos científicos, tecnológicos e mercadológicos. O estudo alcançou seus objetivos ao analisar os efeitos das cores, pigmentos e corantes sobre as propriedades físico-químicas e sobre a sustentabilidade das embalagens.

Sugere-se que futuras pesquisas aprofundem a análise experimental da influência dos pigmentos e aditivos na reciclabilidade do PET, bem como o desenvolvimento de novas alternativas de coloração baseadas em pigmentos naturais ou biopoliméricos. Essas investigações poderão contribuir para o avanço da economia circular e para a consolidação de práticas mais sustentáveis na indústria de embalagens.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIPLAST – Associação Brasileira da Indústria do Plástico. Perfil 2022 – Indústria de Transformação e Reciclagem de Plástico. São Paulo: ABIPLAST, 2023. Disponível em: <https://www.abiplast.org.br/>. Acesso em: 8 set. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Produção por centrais de matérias-primas petroquímicas (CPQ). 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-de-derivados-de-petroleo-e-processamento-de-gas-natural/producao-por-centrais-de-materias-primas-petroquimicas-cpq>. Acesso em: 21 set. 2025.

ANJOS, Carlos Alberto Rodrigues; et al. Sistema de embalagem para cerveja em PET modificado com náilon. Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) 2006. Disponível em: [https://unicamp.br/unicamp/unicamp\\_hoje/ju/julho2006/ju329pag09.html](https://unicamp.br/unicamp/unicamp_hoje/ju/julho2006/ju329pag09.html) Acesso em: 21 set. 2025.

ARAÚJO, Hiram; IRIS, Ademário. E-book - Análise Instrumental - Uma Abordagem Prática. Rio de Janeiro: LTC, 2021. E-book. p.115. ISBN 9788521637486. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521637486/>. Acesso em: 16 set. 2025.

AUTOR DESCONHECIDO. Bioplástico Colorido. 2023. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/wp-content/uploads/2023/08/bioplastico-colorido.pdf>. Acesso em: 27 mai. 2024.

AUTOR DESCONHECIDO. Como funciona a pigmentação dos polímeros antes do envio. 2023. Disponível em: <https://fortymil.com.br/como-funciona-a-pigmentacao-dos-polimeros-antes-do-envio/>. Acesso em: 25 mai. 2024.

AUTOR DESCONHECIDO. Espectrofotômetro de Balcão 700 (CF57 / CF57U). 2013. Disponível em: <https://www.xrite.com/cf57-cf57u-compact-countertop-spectrophotometer>. Acesso em: 16 abr. 2024.

AUTOR DESCONHECIDO. Os Prós e os Contras do PVC. Maex Engenharia. 2011. Disponível em: <https://maex.com.br/os-pros-e-os-contras-do-pvc/>. Acesso em: 15 mai. 2024.

BONDIOLI, F.; MANFREDINI, T.; NOVAES DE OLIVEIRA, A. P. Pigmentos Inorgânicos: Projeto, Produção e Aplicação Industrial. 1998. Disponível em: <https://app.periodikos.com.br/article/587657017f8c9d6e028b4603/pdf/ci-3-4-6-587657017f8c9d6e028b4603.pdf> Acesso em: 27 mai. 2024.

FREITAS, Eduardo de. "Nafta"; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/naftacombustivel.htm>. Acesso em 27 de maio de 2025.

CANEVAROLO, S. V. Ciência dos Polímeros. 2. ed. São Paulo. Disponível em: Artliber, 2006. [https://www.artliber.com.br/amostra/ciencia\\_dos\\_polimeros.pdf](https://www.artliber.com.br/amostra/ciencia_dos_polimeros.pdf). Acesso em: 21 set. 2025

ELGHARBAWY, A. S. Poly Vinyl Chloride Additives and Applications – A Review. Journal of Risk Analysis and Crisis Response, v. 12, n. 3, p. 143–151, 2022. DOI: 10.54560/jracr.v12i3.335.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (EEA). The role of plastics in Europe's circular economy. 2024. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/>. Acesso em: 8 set. 2025.

FARINA, Modesto. Psicodinâmica das cores em comunicação. São Paulo: Edgard Blücher, 2006. Disponível em: [https://www.academia.edu/40122222/Psicodin%C3%A2mica\\_das\\_Cores\\_em\\_Comunica%C3%A7%C3%A3o\\_EDI%C3%A7%C3%A3o\\_REVISTA\\_E\\_AMPLIADA](https://www.academia.edu/40122222/Psicodin%C3%A2mica_das_Cores_em_Comunica%C3%A7%C3%A3o_EDI%C3%A7%C3%A3o_REVISTA_E_AMPLIADA)

GÄCHTER, R.; MÜLLER, H. Plastics additives handbook: stabilizers, processing aids, plasticizers, fillers, reinforcements, colorants for thermoplastics. 3. ed. Munich: Hanser Publishers, 1990. Acesso em: 18 abr. 2024.

HAO, Zhimin; IQBAL, Abul. Some aspects of organic pigments. 1997. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/1997/cs/cs9972600203>. Acesso em: 17 abr. 2024.

LAPA, H. M.; MARTINS, L. M. D. R. S.; et al. p-Xylene Oxidation to Terephthalic Acid: New Trends. Molecules, v. 28, n. 4, p. 1922, 2023. DOI: 10.3390/molecules28041922.

LEWANDOWSKI, K.; SKÓRCZEWSKA, K. A Brief Review of Poly(Vinyl Chloride) (PVC) Recycling. *Polymers*, v. 14, n. 15, 3035, 2022. DOI: 10.3390/polym14153035.

MARÇON, Auri Cesar. Estudo comparativo ambiental de embalagens (PET vs vidro e alumínio). Clube da Embalagem / ABIPET. 2024. Disponível em: <https://abipet.org.br/2024/08/21/analise-de-ciclo-de-vida-do-pet-atesta-beneficio-ambiental-da-garrafa-pet-em-comparacao-com-outras-embalagens/>. Acesso em: 10 set. 2025

Meio ambiente e materiais poliméricos: breves considerações com ênfase ao politereftalato de etileno (PET) e processos de degradação - Scientific Figure on ResearchGate. Available from: [https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Diagrama-de-producao-do-polimero-e-das-garrafas-PET\\_fig1\\_379821273](https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Diagrama-de-producao-do-polimero-e-das-garrafas-PET_fig1_379821273). Acesso em: 10 set. 2025

OPLAN, S.; OKUN, Deanna T.; MILLER, Marcia E.; HILLMAN, Jennifer A.; LANE, Charlotte R.; PEARSON, Daniel R. Carbazole Violet Pigment 23 from China and India. Publication 3744. United States International Trade Commission, 2004. Acesso em: 18 abr. 2024.

PANG, J.; ZHENG, M.; SUN, R.; WANG, A.; WANG, X.; ZHANG, T. Synthesis of ethylene glycol and terephthalic acid from biomass for producing PET. *Green Chemistry*, v. 18, p. 342-359, 2016. DOI: 10.1039/C5GC01771H.

PLASTICSEUROPE. *Plastics – the fast Facts 2023*. Bruxelas, 2023. Disponível em: <https://plasticseurope.org>. Acesso em: 8 set. 2025.

QUINDICI, Marcos. *O Segredo das Cores*. 1. ed. São Paulo: All Print Editora, 2013. Acesso em: 16 abr. 2024.

RABELLO, M. *Aditivção de polímeros*. São Paulo: Artliber Editora, 2000. Disponível em: [https://issuu.com/arletesiqueira/docs/aditivacao\\_de\\_polimeros\\_-\\_rabelo](https://issuu.com/arletesiqueira/docs/aditivacao_de_polimeros_-_rabelo). Acesso em: 9 jun. 2024.

RABIEI, Samira; NAZARI, Maryam. Effects of Food Plate Size and Color on Visual Perception of Satiety in Adolescents; a New Strategy toward Weight Management. *Iran Journal of Public Health*, v.52, n.6, p.1289–1296, 2023. DOI: 10.18502/ijph.v52i6.12995.

RODOLFO, Antonio Jr.; AGNELLI, José Augusto Marcondes; PESSAN, Luiz Antonio. Tecnologia do PVC. 2. ed. PW Gráficos e Editores Associados Ltda, 2006. Disponível em: [https://www.braskem.com/Portal/Principal/Arquivos/Download/Upload/Tecnologia%20do%20PVC%20a%20edi%C3%A7%C3%A3o\\_22.pdf](https://www.braskem.com/Portal/Principal/Arquivos/Download/Upload/Tecnologia%20do%20PVC%20a%20edi%C3%A7%C3%A3o_22.pdf). Acesso em: 18 abr. 2024.

RODRIGUES, T. T. Polímeros nas indústrias de embalagens. Universidade Federal de Uberlândia, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/24082/1/Pol%C3%ADmerosInd%C3%BAstriasEmbalagens.pdf>. Acesso em: 24 set. 2025.

ROMÃO, W.; SPINACÉ, M. A. S.; DE PAOLI, M.-A. Poly(ethylene terephthalate), PET: A review on the synthesis processes, degradation mechanisms and its recycling. *Polímeros*, v. 19, n. 2, p. 121-132, 2009. DOI: 10.1590/S0104-14282009000200009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/po/a/M977rShFktsw4DpHbqk6KYN/?lang=pt>. Acesso em: 24 set. 2025.

SANTOS, L. K. Investigação de rotas de biohidrometalurgia. Universidade Federal de Uberlândia, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/17683/1/InvestigacaoRotaBiohidrometalurgia.pdf>. Acesso em: 24 set. 2025.

SARON, Clodoaldo; FELISBERTI, Maria Isabel. Ação de colorantes na degradação e estabilização de polímeros. 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/9f5PvxxkJ6cbvKYkWvTHyLkm/>. Acesso em: 8 mai. 2024.

SCHLINTL, Carina; SCHIENLE, Anne. Effects of Coloring Food Images on the Propensity to Eat: A Placebo Approach With Color Suggestions. *Frontiers in Psychology*, v.11, 2020. DOI: 10.3389/fpsyg.2020.589826. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/psychology/articles/10.3389/fpsyg.2020.589826/full>. 1 set. 2025.

SILVA, L. S. Corantes reativos: estrutura química e propriedades. 2023. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/33565/1/adsorcaocorantebiomassafungica.pdf>. Acesso em: 1 set. 2025.