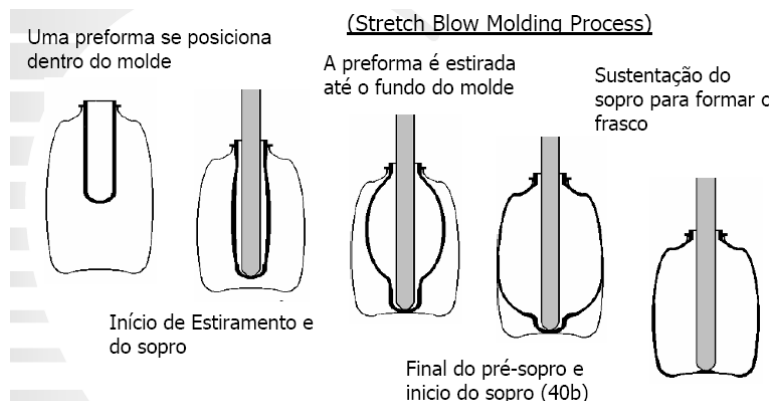


## PROCESSO DE SOPRO :

Este processo pode acontecer de duas formas diferentes. Na primeira, pré-formas são obtidas em moldes e máquinas-injetoras convencionais, armazenadas e transferidas ou vendidas ao transformador final. Uma sopradora exclusiva para este fim recebe as pré-formas injetadas, as reaquece por radiação (sem plastificar, apenas amolecer), para que fiquem maleáveis. Depois de aquecida a pré-forma é posicionada entre as placas do molde, e soprada após fechamento do molde. É comum se fazer o estiramento da pré-forma antes do sopro.

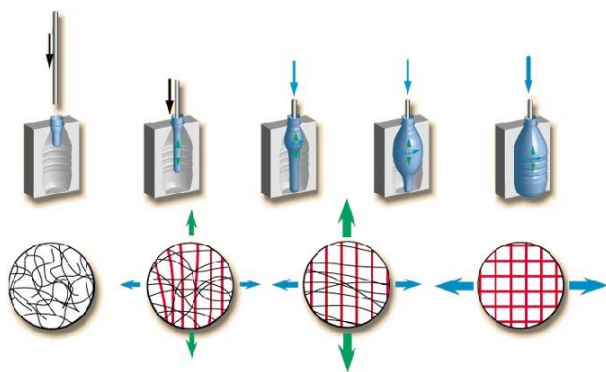
No segundo tipo de processo a mesma máquina realiza todas as etapas. A pré-forma é injetada em um molde bipartido. Após um resfriamento suficiente para assegurar a manutenção de sua forma geométrica, o molde de injeção abre e a pré-forma é posicionada em um molde de sopro, e soprada.



### *Vantagem do sopro de garrafas em PET*

- Alta transparência do frasco
- Baixo peso do frasco
- Alta Resistência ao Impacto
- Alta produtividade de Frascos
- Injeção do gargalo e do corpo da pré-forma ao mesmo tempo
- Melhor barreira à perda de CO<sub>2</sub>
- Maior segurança do consumidor no manejo das garrafas

Na etapa de sopro, a pré-forma, geralmente com o auxílio de robôs, é colocada dentro do molde “de sopro”, cuja cavidade tem a forma final do produto que se deseja. Uma haste penetra no gargalo da pré-forma para estirá-la, e é admitido ar comprimido em seu interior a uma pressão que pode variar entre 20 e 40 kgf/cm<sup>2</sup>. O corpo da pré-forma é inflado de forma controlada com a ajuda da haste de estiramento. Desta maneira, a pré-forma é estirada, orientando as moléculas de PET nas direções radial e axial, isto é, biorientada, até que encoste na cavidade do molde de sopro e adquira sua forma final.



### *Condições típicas de sopro das garrafas*

- Temperatura das pré-formas entre 100 e 110 °C
- Pressão de 40 bar

As partes que se estiram com menos facilidade – debaixo do pescoço e do fundo da embalagem - contém muita matéria amorfa. O PET amorfo é 20 a 30% mais permeável que a matéria biorientada e suas características mecânicas são 25 a 50% inferiores. As embalagens de melhor rendimento são obtidas distribuindo o material de maneira mais uniforme, sem acúmulo de material não estirado.

#### ■ RATIO ( $\tau$ ) DE BIORIENTACION :

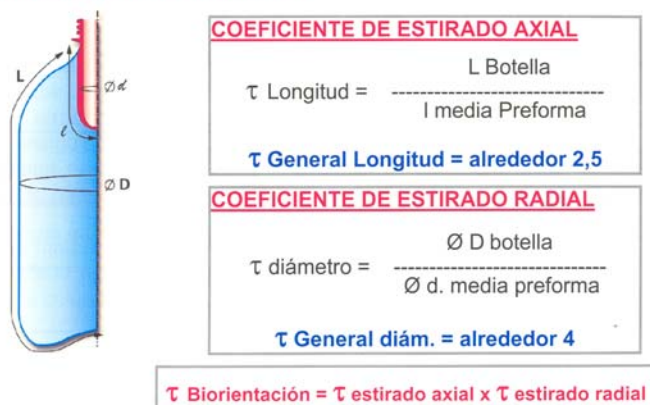


Figura (1): Coeficiente de distribuição da matéria. Quanto mais próximo K de 1, maior a otimização da distribuição de material

Com o objetivo de obter uma distribuição de material ótima deve-se criar um perfil de aquecimento da pré-forma antes de soprá-la.

A orientação depende da taxa de estiramento do material, da temperatura do processo e da viscosidade intrínseca do PET. O produto dos raios dos estiramentos axial e radial é chamado taxa de biorientação. Quanto mais elevada é esta taxa, melhores são os rendimentos mecânicos e as propriedades de barreira de envase. O raio de biorientação da pré-forma é cerca de 20 a 30% mais alto no interior da pré-forma do que na parede externa. Devido a esta diferença de estiramento, a temperatura na face interna da pré-forma deve ser ligeiramente mais alta do que na externa para otimizar a biorientação. Com resina com viscosidade intrínseca mais alta, o controle da pré-forma durante o sopro é melhor, o que permite controlar melhor a distribuição do material.

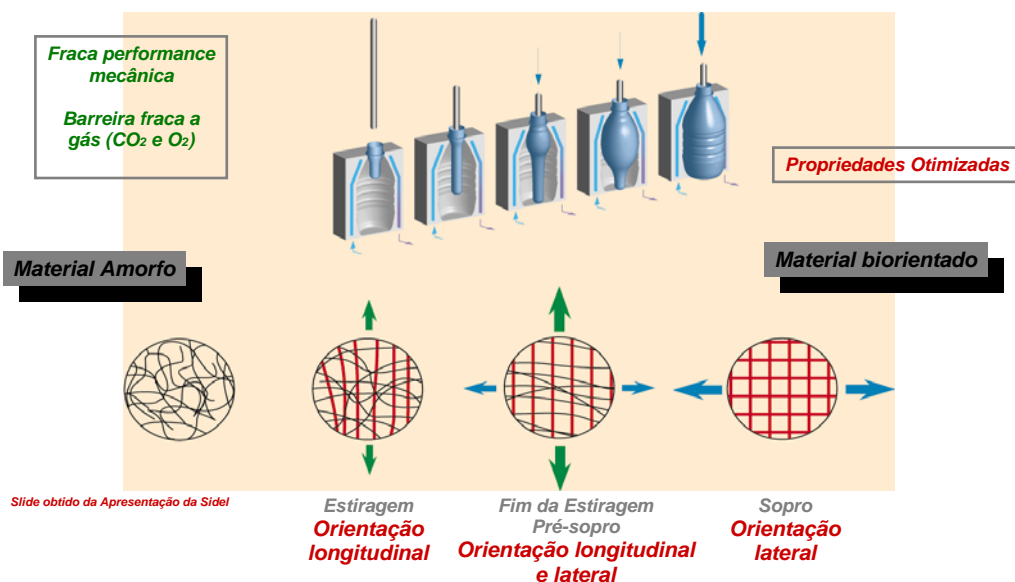


Figura (2): Processo de Estiramento e Sopro – Biorientação do material

A qualidade do processo depende da repetibilidade da fabricação das embalagens. A homogeneidade da produção é assegurada pelo mesmo processo de aquecimento para todas as pré-formas e o sincronismo de estiramento/sopro.

A cristalização a frio é o principal fator responsável pelo refugo do material. Ela ocorre quando são usadas temperaturas inadequadas durante o aquecimento das pré-formas. O fenômeno se dá porque as moléculas adquirem mobilidade suficiente para se rearranjarem em uma estrutura cristalina, o que reduz a elasticidade do material, impossibilitando a obtenção da forma final desejada a partir do sopro das pré-formas.

O processo de sopro passa pelas seguintes etapas:

1. Abastecimento de pré-forma fria
2. Aquecimento de pré-forma no forno
3. Transferência da pré-forma aquecida para a "roda de sopra"
4. Realização do estiramento, pré-sopro e sopro da pré-forma para formar a embalagem
5. Transferência da garrafa soprada para a saída da máquina

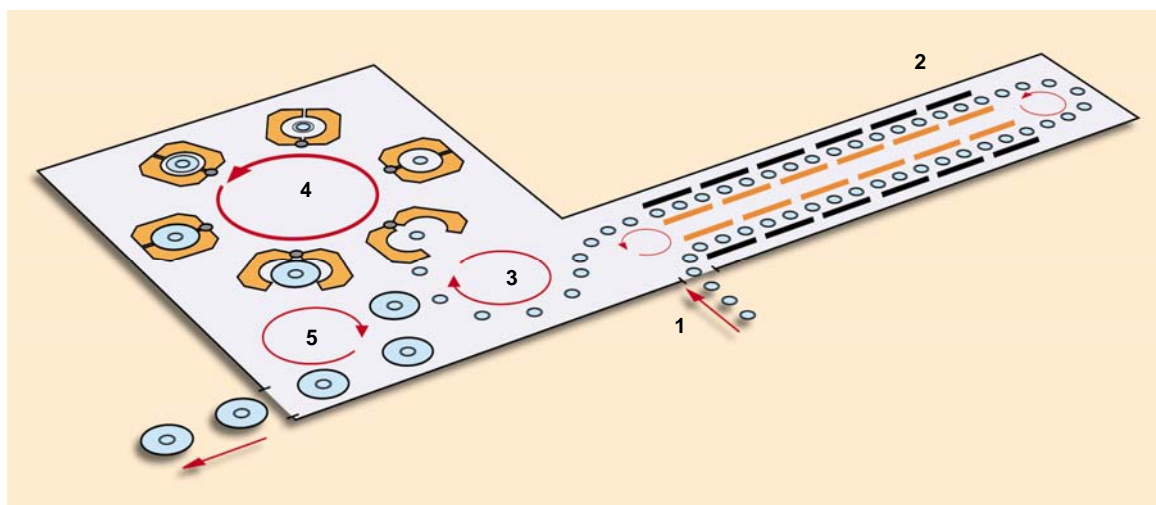


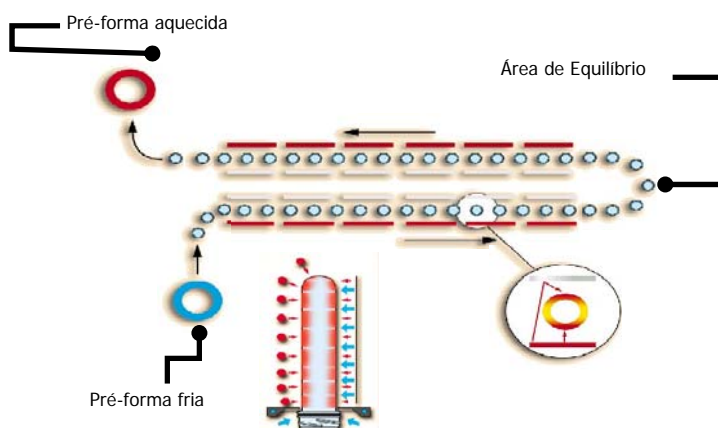
Figura (3): Etapas do Processo de Formação da Garrafa

### **AQUECIMENTO DA PRÉ-FORMA:**

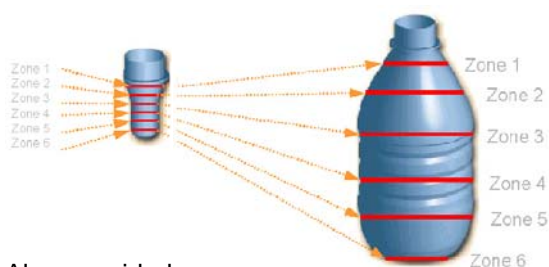
Em algumas sopradoras é possível obter aquecimento através de lâmpadas infravermelhas de comprimento de onda curto, controladas individualmente. As zonas de temperatura da pré-forma podem ser controladas e com isto é possível ajustar e distribuir as espessuras de parede da embalagem.

Em algumas máquinas de sopro a potência de aquecimento é auto-regulada de acordo com as temperaturas registradas por uma câmera infravermelha que avalia a temperatura das pré-formas na saída do forno. Desta forma é possível estabilizar a temperatura do forno durante o tempo. A sincronização de todos os movimentos assegura a precisão e a perfeita repetibilidade das condições de estiramento/sopro, fator essencial para regularizar a distribuição do material.

Um fator que influencia a biorientação é a temperatura do sopro das pré-formas.



Influência das lâmpadas na distribuição do material:



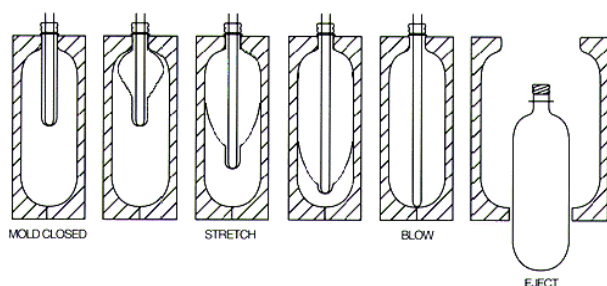
#### Alguns cuidados a serem adotados no forno de aquecimento de pré-formas:

- ✓ as pré-formas não devem balançar no forno para não prejudicar o aquecimento .
- ✓ as proteções não devem encostar-se às pré-formas e os ventiladores devem estar ligados.
- ✓ a curva de aquecimento deve ser suave

#### Algumas variáveis de controle de processo na etapa de aquecimento de pré-formas no forno:

- ✓ *Potência de aquecimento do forno:* controla a temperatura das zonas de aquecimento de acordo com a temperatura medida na saída da pré-forma do forno. Aumenta ou diminui com o objetivo de manter uma temperatura constante, mantendo o controle de processo apropriado.
- ✓ *Fluxo de ar dos ventiladores do forno:* as sopradoras apresentam um ou mais ventiladores para o resfriamento do forno. Cada ventilador é dotado de uma abertura de ventilação controlável. Uma vez encontrado o fluxo correto de ar, não é necessário ajustar a abertura novamente
- ✓ *Temperatura da pré-forma:* se a pré-forma estiver muito fria ou quente, ocorrerá má distribuição de material.
  - Se estiver fria: pode ocorrer perolização, maior resistência ao estiramento, maior orientação, maior resistência, parede lateral espessa, base fina
  - Se estiver aquecida demais: pode ocorrer haze, baixa resistência ao estiramento, menos orientação, menos resistência, parede fina, base espessa

#### **ESTIRAMENTO, PRÉ-SOPRO E SOPRO DA PRÉ-FORMA:**



#### Alguns parâmetros a serem observados durante o processo de estiramento, pré-sopro e sopro:

- ✓ Ponto de estiragem, ponto e duração de pré-sopro, sopro, escape do ar, folga entre haste de estiragem e base do molde, pressão de estiragem, pressões de pré-sopro e sopro.
- **Estiramento:**
- ✓ *Pressão da haste de estiragem:* a pressão adequada é necessária para se ter uma estiragem constante e uniforme.
- **Pré-sopro:**
- ✓ *Tempo de pré-sopro:* entre o fechamento do molde e início da estiragem até o início do pré-sopro. Tempos longos (ponto atrasado) movimentam mais material na direção do fundo da garrafa, tempos curtos (ponto adiantado) movimentam mais material para a parte de cima.



(Pré-sopro) adiantado

Pré-sopro atrasado

### • **Pré-sopro x Estiramento:**

- ✓ *Duração de pré-sopro:* tempo que permite o insuflamento lento e uniforme da pré-forma a caminho de seu formato final. Depende da pressão de pré-sopro, razão de estiragem, vazão de ar e temperatura da pré-forma. A variação dos parâmetros permite obter a distribuição de material necessária para a produção de garrafas de boa qualidade.
- ✓ *Pressão de pré-sopro:* a pressão e vazão de ar são fatores chave para a correta taxa de expansão e distribuição de material.
- ✓ *Vazão de ar de pré-sopro:* controla a taxa de expansão inicial. Através dos reguladores de vazão individuais é possível equalizar a vazão de ar em todos os moldes e garantir a qualidade uniforme das garrafas.

### • **Sopro:**

- ✓ *Tempo de sopro:* inicia quando a alta pressão de ar é introduzida e termina com o escape do ar da garrafa. O tempo correto de duração do sopro é necessário para o resfriamento e definição do formado da garrafa.
- ✓ *Pressão de sopro:* necessária para boa definição da garrafa.
- ✓ *Temperatura do molde:* juntamente com o tempo de sopro, controla a quantidade de resfriamento que ocorre até que a garrafa saia do molde. O resfriamento adequado do molde influencia na definição da garrafa e mais importante, no encolhimento da garrafa após sua saída do molde.

### **EMBALAGEM:**

*Algumas variáveis a serem observadas na embalagem: (equipamento de dois estágios)*

#### ✓ Transparência da garrafa :

Depende da temperatura e/fluxo de ar no forno. Se estiverem incorretos, afetarão a transparência da garrafa. Depende também da taxa de expansão da pré-forma. Se estiver excessiva, afeta a transparência.

#### ✓ Cristalinidade

É um arranjo ordenado das moléculas do PET, formando uma estrutura entrelaçada que difunde a luz e resulta em perda de transparência.

Depende do tempo de aquecimento da pré-forma, que é fixado pela velocidade da máquina (número de garrafas produzidas por hora). O controle do processo é feito pela potência de aquecimento e fluxo de ar no forno.

*Condição de superaquecimento da pré-forma:* deve-se verificar se a pré-forma apresenta manchas esbranquiçadas. Se positivo, o problema é aquecimento excessivo.

#### ✓ Branqueamento por stress

Névoa esbranquiçada na garrafa. Frequentemente é observada na superfície da garrafa. Segurando-se a garrafa contra a luz, pode ser vista como mancha irregular.

Pode surgir quando a pré-forma é aquecida a uma temperatura abaixo da mínima necessária ao processo. O polímero frio demais não consegue fluir suavemente, reage ao stress de expansão e faz surgir as micro-fissuras na parede da garrafa. Essas fissuras difundem a luz e produzem um efeito esbranquiçado.

Ou pode surgir se ocorrer uma expansão muito rápida da pré-forma (pressão de ar muito alta). O polímero não tem tempo suficiente para se expandir suavemente, surgindo micro-fissuras na parede da garrafa. O ponto de pré-sopro e temperatura adequados garantem uma expansão uniforme da pré-forma até o formado desejado.

Para verificar se é cristalinidade ou branqueamento por stress, podemos olhar as pré-formas na saída do forno: se já estiver com branqueamento, o problema é na cristalização e não por stress.

*Aspecto Perolizado:*

<u>Possíveis Causas:</u> Temperatura da pré-forma muito baixa na sopragem	<u>Ações:</u> Aumentar a temperatura do forno ou da zona concernente
--	---

Pressão ou vazão do pré-sopro muito alta	Diminuir a pressão ou a vazão do pré-sopro
Velocidade de estiramento muito alta	Diminuir a velocidade de estiramento
Pré-forma encostando-se à vareta de estiramento	Verificar espessura da vareta de estiramento ou adiantar o início do pré-sopro

✓ Altura

Normalmente a altura da garrafa é função do encolhimento, que por sua vez é função da temperatura da pré-forma, da temperatura do molde e do tempo de resfriamento no molde. Se a pré-forma estiver quente demais, a garrafa não irá se resfriar suficientemente dentro do molde, e causa um maior encolhimento após sua saída do molde. Um molde frio demais influencia o encolhimento da garrafa após sua saída do molde.

O tempo de resfriamento é controlado pela velocidade da máquina. Se a velocidade não se alterar, o tempo de resfriamento do molde não será o fator de variação da altura.

✓ Volume

O volume da garrafa também é função do encolhimento. A temperatura do molde, o tempo de resfriamento do molde, e a temperatura da pré-forma são potenciais fatores de variação de volume.

Alteração de volume pode ser causada pela variação de temperatura do molde (mais quente = mais encolhimento após a saída da garrafa do molde) ou pela variação da temperatura da pré-forma.

✓ Perpendicularidade:

Normalmente é resultante de resfriamento insuficiente na base. (água de resfriamento desligada, temperatura excessiva da pré-forma, velocidade da máquina, base da pré-forma fria demais, peso excessivo da base, insuficiente vazão de água na base do molde).

✓ Flange empenada:

Normalmente é causada por excesso de aquecimento no forno, especialmente a temperatura das lâmpadas da zona 1. Outras causas são: fluxo de ar insuficiente, posicionamento incorreto da proteção refrigerada do gargalo no forno e flanges danificadas durante a injeção.

✓ Riscos:

Se forem constatados riscos na área do flange, verifique a transferência com relação à abertura e fechamento do molde, se os riscos ocorrerem ao longo da linha divisória, verifique se a linha divisória do molde esta danificada. Se o problema surgir acima do flange, verifique as pinças de transferência.

✓ Arranhões:

Normalmente são causados pelos trilhos de saída. Ajuste-os corretamente para evitar esse problema.

✓ Bico de injeção descentralizado:

Se ocorrer em apenas um dos moldes é provável que a haste de estiragem esteja regulada alta demais ou a taxa de estiragem não esteja correta. Se o problema ocorrer aleatoriamente as possíveis causas serão: altura incorreta da haste de estiragem, ponto de pré-sopro adiantado, pressão de estiragem baixa, causando estiragem inconstante.

*Fundo da garrafa fora de centro:*

<u>Possíveis Causas:</u>	<u>Ações:</u>
Pré-sopro adiantado	Atrasar o início do pré-sopro
Pressão de pré-sopro muito alta	Diminuir a pressão do pré-sopro
Pressão de sopro adiantada	Atrasar início do sopro
Temperatura da pré-forma muito alta no sopro	Diminuir a temperatura do forno ou da zona concernente
Haste de estiramento torta	Trocar haste de estiramento
Haste de estiramento mal ajustada	Ajustar a folga entre a haste de estiramento e o fundo do molde
Folga na bucha do difusor	Trocar a bucha do difusor

✓ Dobras na base:

Pode ser resultante do excesso de temperatura no centro da pré-forma, causando a movimentação do material para a base e conseqüentemente excesso de peso na base. As causas podem ser: ponto de pré-sopro atrasado ou base da pré-forma fria.

*Excesso de material no fundo da garrafa:*

<u>Possíveis Causas:</u>	<u>Ações:</u>
Fundo da pré-forma mal aquecido	Aumentar a temperatura do forno ou da zona concernente
Pré-sopro atrasado	Adiantar o início do pré-sopro
Pressão de pré-sopro muito baixa	Aumentar a pressão de pré-sopro

## Métodos de Análise de Garrafas

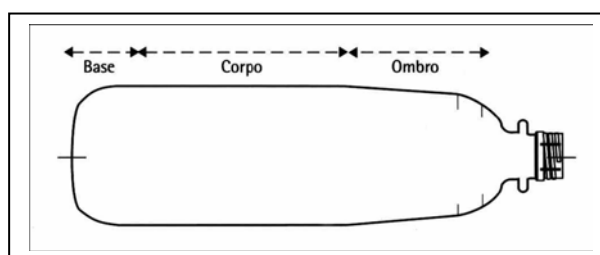
### A. Definição

Recipiente para líquidos e/ou semilíquidos de gargalo com capacidade inferior a 3,0 litros.

Pode ser de formato variado, natural ou pigmentado, fabricado por processo de injeção/estiramento e sopro.

### B. Terminologia

- 1- Acabamento
- 2- Ombro
- 3- Corpo
- 4- Base



### C. Defeitos

#### Definições:

**1) Defeitos críticos:** são defeitos que impedem a utilização da garrafa no que diz respeito ao cumprimento das funções de conter ou proteger.

Sujidades internas aderentes / Furos e cortes / Deformação no acabamento da rosca / Lascas ou riscos na superfície de vedação / Rebarbas no acabamento da rosca / Linha de molde irregular / Delaminação / Cratera / Pescoço torto / Deformação da base de apoio

**2) Defeitos funcionais (secundários):** são defeitos que limitam a utilização da garrafa.

Oclusão de gases e vapores / Deformação no anel de suporte, corpo e fundo / Distribuição irregular / Excesso de material no ponto de injeção da base

**3) Defeitos de aparência (estético):** são defeitos que não impedem funcionalmente a utilização da garrafa, afetando, entretanto, o aspecto e a apresentação comercial do produto envasado.

Marcas de batidas e riscos / Embaçamento / Gravações apagadas / Cor / Impurezas / Sujidade externa / Ondulações / Fiapo no corpo / Linha de molde irregular

Métodos de Ensaio	Objetivo	Aparelhagem	Procedimento	Resultados
Visual	Inspecionar visualmente as garrafas quanto aos defeitos	Fonte de luz forte	Avaliar as amostras consultando os tipos na classificação de defeitos visuais. Verificar forma, odor e especificação	Nº de embalagens defeituosas
Dimensional	Verificar as principais cotas do acabamento	Paquímetro	Medição da altura total, dos diâmetros do gargalo e da garrafa	Milímetros (mm)
Peso	Verificar alterações na distribuição do material na embalagem	Balança eletrônica	Pesar amostras	Gramas (g)
Capacidade Volumétrica	Verificar alterações que possam afetar operações de enchimento	Balança eletrônica, termômetro, paquímetro de profundidade, piseta, água destilada, tabela para conversão pela densidade aparente da água	Pesar amostras e tarar a balança. Encher a garrafa com água destilada. Acertar o nível com paquímetro de profundidade, segundo especificação do fabricante. Depois completar até a boca para obter capacidade total. Medir temperatura da água	Gramas (g) que serão convertidas para Mililitros (ml) de acordo com a tabela de conversão
Espessura	Distribuição do material ao longo da parede da garrafa	Medidor de espessura ou micrômetro	Determinar a espessura em pontos frágeis da garrafa ou, pelo menos, em quatro regiões: pescoço, ao longo do corpo, base e fundo	Milímetros (mm)
Carga Vertical	Verificar carga que causa deformação no corpo da garrafa	Dinamômetro	Posicionar a garrafa no centro da placa de compressão, acionar o equipamento e verificar a carga máxima de resistência registrada	Kilogramas-força (kgf)
Resistência à Queda Livre	Resistência ao impacto	Carbonatador, área com piso de concreto liso	Encher a garrafa com água carbonatada a 4,0 volumes de CO <sub>2</sub> . Tampá-la. Posicioná-la de modo que caia livremente causando impacto sobre a sua superfície de apoio. Soltá-la de uma altura de 2,0 metros	Nº de falhas/amostragem