

# ESTUDO DA REDUÇÃO DA ESPESSURA DE CHAPAS EM PSAI NA TERMOFORMAGEM DE CAIXAS INTERNAS DE REFRIGERADORES

Diego Marcolin Antunes<sup>1</sup>  
Noeli Sellin<sup>2</sup>

**Resumo:** A influência da redução da espessura de chapas extrudadas em poliestireno de alto impacto (PSAI) utilizadas na fabricação de caixas internas de refrigeradores sobre a qualidade final das peças, consumos de matéria-prima e energia e na produtividade foi avaliada. Chapas com espessura reduzida foram extrudadas e conformadas em caixas internas pelo processo de termoformagem. Foi verificada uma distribuição não uniforme do PSAI, resultando em caixas com espessura fora dos padrões internos exigidos. Para contornar este problema, foram aplicados plugues conformadores (Feltro, Ambatex e Teflon), nos pontos de maior complexidade do molde na termoformagem das caixas, e aplicada ferramentas Seis Sigma, ensaios mecânicos e ciclagem térmica para avaliar a qualidade das mesmas. Uma comparação entre o consumo de matéria-prima e energia e produtividade antes e depois da redução da espessura das chapas e da implantação dos plugues foi efetuada. Os melhores resultados foram observados para as peças moldadas com uso dos plugues conformadores de Feltro. Houve redução de aproximadamente 4,5% no consumo de matéria-prima, aumento de produtividade em 103 chapas/dia na extrusora, 247 caixas internas/dia na termoformadora e queda do consumo de energia na etapa de pré-aquecimento de 8% e de aquecimento de 17 %.

**Palavras-chave:** Poliestireno de alto impacto, refrigeradores, termoformagem, plugues conformadores.

**Abstract:** The effect of the thickness reduction of extruded plates with high impact polystyrene (HIPS) used in the manufacturing of domestic refrigerators boxes on the final quality of the pieces, raw material and energy consumption and productivity was assessed. The plates were extruded with a reduced thickness and processed in the internal boxes by thermoforming process. A non-uniform distribution of the PSAI, resulting in boxes with thick outside the internal standards required has been observed. To solve this problem, molding auxiliaries (plugs made of Felt, Ambatex and Teflon) were applied in the points of major complexity in the thermoforming of boxes and Six Sigma tools, mechanical and thermal cycling tests were applied to evaluate their quality. A comparison between the consumption of raw materials and energy and productivity before and after reduction of the sheets thickness and use of the plugs were performed. The best results were observed for molded parts with the use of Felt plugs. A reduction of 4.5% in raw material consumption, increasing productivity of 103 sheets per day in the extruder, 247 internal boxes per day in the thermoforming machine and reduction in energy consumption in the pre-heating of 8% and heating of 17% were obtained.

**Keywords:** High impact polystyrene, refrigerators, thermoforming, molding auxiliaries.

<sup>1</sup> Mestrado em Engenharia de Processos, Universidade da Região de Joinville – UNIVILLE, Rua Paulo Malschitzki, 10, Campus Universitário, Zona Industrial, CEP 89219 710, Joinville – SC, Brasil. E-mails: <sup>1</sup>diego\_m\_antunes@whirlpool.com;

<sup>2</sup> Mestrado em Engenharia de Processos, Universidade da Região de Joinville – UNIVILLE, Rua Paulo Malschitzki, 10, Campus Universitário, Zona Industrial, CEP 89219 710, Joinville – SC, Brasil. nsellin@yahoo.com.br

## INTRODUÇÃO

Nos dias de hoje, o sucesso do gerenciamento de uma empresa exige uma sistemática em estabelecer e cumprir metas, pois a velocidade das mudanças econômicas, tecnológicas, sociais e ambientais tem aumentado a competitividade empresarial, sendo fator decisivo para a obtenção de uma rentabilidade igual ou superior à dos concorrentes de mercado (Slack, 2006). O que garante a sobrevivência das empresas no mercado competitivo é atender às metas de produzir produtos com alta qualidade e com baixo custo, aperfeiçoando seus processos produtivos, em busca de uma melhoria contínua (Peinado e Graeml, 2007). A filosofia Seis Sigma é uma das estratégias mais potentes desenvolvidas para desencadear melhorias em processos, produtos e serviços, bem como para reduzir custos de produção ou administrativos e melhorar a qualidade. Tais aspectos são atingidos pelo foco na eliminação de desperdício, na redução de defeitos e na redução da variação do processo (Rotondaro, 2002; Chowohury, 2002). Uma das ferramentas importantes dentro da filosofia Seis Sigma é o MSE (*Measure System Evaluation*), a partir do qual podem ser identificadas e quantificadas as diferentes fontes de variação que afetam os mecanismos de medição de variáveis de processo possibilitando uma ação direta nesta fonte para minimizar a variação ocorrida. Antes do início da coleta de dados para uso do MSE, é fundamental conhecer e minimizar a variação proveniente do processo de medição, por meio da realização de uma avaliação cuidadosa envolvendo equipamento, operadores, turnos, etc. (Wheeler, 1992). O objetivo da avaliação do sistema de medição (MSE) é prover uma visão geral sobre os erros de medição. Outra ferramenta Seis Sigma importante é o COV (*Component of Variation*). Este divide a variação geral do processo em proporções atribuíveis a causas em cada um dos vários estágios de um gráfico de amostragem. Por exemplo, a variação total do processo pode ser dividida entre um componente de variação “dentro da peça produzida”, um componente de variação “entre as peças”, “dentro do lote” e um componente de variação “entre lotes”. Isto deve ser feito para avaliar a estabilidade e a magnitude dos vários componentes de variação e, portanto, fornecer um foco ao trabalho de desenvolver o conhecimento sobre o processo (Wheeler, 1992).

Nas empresas de refrigeradores, a busca pela melhoria contínua e a redução de custos de seus processos tem aumentado significativamente. Melhorias na

etapa de termoformagem dos componentes plásticos dos refrigeradores, como gabinetes internos, portas e tampas, têm resultado em maior retorno financeiro para as empresas do setor. A sincronia entre calor e pressão durante o processo de moldagem propiciam às peças termoformadas, precisão nas suas dimensões e ótima qualidade no acabamento (Harada, 1998). Os moldes podem ser desenvolvidos de acordo com as necessidades, e incorporam soluções como: cantos com ângulos retos, inclinados ou arredondados, encaixes para empilhamento, aletas para ventilação, sistemas de encaixe e travamento para peças, etc. (Brydson, 2000; Sors *et al*, 2002).

Uma oportunidade de melhoria observada em uma empresa de refrigeradores foi na redução da espessura de chapas extrudadas em PSAI, que no processo de termoformagem, são conformadas em caixas internas dos refrigeradores. Neste processo, a chapa extrudada de PSAI é amolecida por aquecimento por convecção e irradiação e impulsionada contra os contornos de um molde, confeccionado em alumínio e previamente aquecido, e conformada sob vácuo em caixa interna (Fernandes, 2004). Dispositivos mecânicos, como plugues conformadores, geralmente, são empregados para auxiliar na moldagem de peças termoformadas, sendo utilizados para moldes com detalhes de alta complexidade de conformação. Segundo Sors *et al* (2002), o plugue tem a função de pré-estirar o material antes da moldagem, com o objetivo de uniformizar a espessura da peça moldada. O recurso consiste em repuxar mecanicamente o material aquecido antes da moldagem. Parâmetros e características do plugue, tais como: tipo de material, formato e localização no molde exercem influência na distribuição global e uniformidade do material a ser confeccionado (Harron *et al*, 2002).

Visando redução nos consumos de matéria-prima e energia e aumento na produtividade, neste trabalho, foi realizada a redução da espessura de chapas extrudadas em PSAI utilizadas na fabricação de caixas internas termoformadas de refrigeradores e avaliada a sua influência na qualidade final das caixas, por meio de ferramentas Seis Sigma, análises mecânicas e de ciclagem térmica.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o estudo, optou-se em reduzir a espessura das chapas extrudadas em PSAI que são conformadas na caixa interna do refrigerador modelo BRM 44 Maestro, pois era a chapa que apresentava maior espessura, de 4,2 mm, e o mais alto volume diário

de produção, de aproximadamente 1800 produtos/dia, dentre os demais modelos fabricados. Foi definida uma redução de espessura das chapas de 4,2 para no máximo 4,0 mm, pois com espessuras menores, não foi possível conformar as mesmas em caixas internas com qualidade dentro dos padrões exigidos pela empresa.

## 2.1 Obtenção da chapa plástica com espessura reduzida

Na obtenção das chapas com espessura reduzida foi utilizada uma extrusora de rosca dupla com parafuso de 75 mm, da marca americana Davies, com capacidade produtiva de 650 kg/hora, com empilhamento automático. As matérias-primas, com composição de 27% de PSAI reprocessado (*scrap*), 70% do mesmo em material virgem e 3% de concentrado de cor, foram alimentadas em um misturador com dosagem gravimétrica direto na extrusora. Nesta, a mistura foi submetida a uma temperatura média de 180 °C, sendo empurrada por uma rosca refrigerada internamente com água a 21 °C, até a matriz. Ao sair da extrusora, o material foi submetido a uma temperatura de 210 °C e, em seguida, foi puxado por 3 rolos laminadores com velocidade de 3,2 rpm, dimensionados entre si para se obter espessura de chapa de 4,0 mm. Os laminadores foram refrigerados internamente com água a 30 °C, para evitar que o material aderisse na sua superfície. Na seqüência, o material extrudado foi resfriado por ventiladores até chegar ao rolo puxador, responsável por resgatar o material dos rolos laminadores até o corte na guilhotina, produzindo-se chapas com dimensões de 4,0x825x2000 mm e peso de aproximadamente 7 kg.

## 2.2 Conformação da caixa interna com chapa de espessura reduzida

Após a extrusão, as chapas com espessura de 4,0 mm foram levadas para uma termoformadora, da marca italiana Rigo, para serem manufaturadas em caixas internas, adotando-se os parâmetros de processo empregados pela empresa, conforme dados apresentados na Tabela 1. As temperaturas nas etapas de pré-aquecimento e aquecimento na termoformagem variaram de 20 a 80 °C, para as chapas de 4,0 mm com uso de plugues e de 20 a 90 °C para as chapas de 4,2 mm. Primeiramente, foram fabricadas 20 caixas até a estabilização do processo e depois mais 6 peças para medição da espessura visando avaliar sua qualidade.

**Tabela 1:** Parâmetros de processo na moldagem das chapas.

PARÂMETRO	TEMPO DE MOLDAGEM (S)
Tempo de estiramento (balão)	2,0 ± 1,0
Tempo de vácuo	27,0 ± 5,0
Resfriamento	5,0 ± 3,0
Tempo de ciclo	52

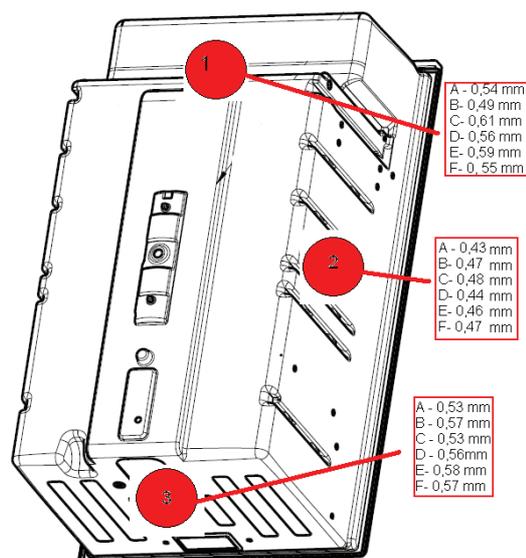
Para ser considerada aprovada, segundo requisitos implantados pela área de qualidade e engenharia de processo da empresa, a caixa interna deve possuir, em todos os pontos, espessura maior ou igual a 0,64 mm, pois com uma espessura menor à especificada, quando for colocada dentro do gabinete do refrigerador (Figura 1) pode apresentar quebras, fissuras, transparências e ondulações em todo o seu perímetro influenciando na sua qualidade final.

**Figura 1:** Colocação da caixa interna no gabinete do refrigerador.



A espessura das caixas foi medida por ultrassom empregando um medidor da marca Panametrics Mickness, modelo Gage 25. Após as medidas, foram encontrados 3 pontos na caixa interna, nos quais os valores ficaram abaixo de 0,64 mm, conforme apresentado na Figura 2.

**Figura 2:** Regiões da caixa interna com espessura fora dos padrões de qualidade.



Para verificar se a variação na medida de espessura nestes pontos estava relacionada ao método de fabricação, peças ou operadores de diferentes turnos de trabalho, foram confeccionadas caixas internas com chapas de 4,0 mm, medida sua espessura e empregada a ferramenta Seis Sigma MSE (*Measure System Evaluation*) (Bass, 2007). Dos resultados do MSE, observou-se que a maior variação nas medidas de espessura foi entre pontos de medidas e peças, ou seja, estava relacionada ao processamento das mesmas. Desta forma, verificou-se que a redução de espessura da chapa de 4,2 mm para 4,0 mm, sem alteração no processo de moldagem ou na termoformadora, não seria eficiente para produção de caixas com qualidade dentro dos padrões exigidos pela empresa.

Em função disto, realizou-se a confecção e implantação de plugues conformadores (em diferentes materiais: Ambatex, Feltro e Náilon) para auxiliar na moldagem. Geralmente, são empregados plugues conformadores fixos em processos de moldagem (Harron, 2002). Neste trabalho, foram implantados além dos plugues fixos, plugues móveis, conforme mostrado na Figura 3. A distribuição dos plugues no molde foi realizada conforme os problemas encontrados na moldagem da chapa com espessura reduzida, com a função de pré-estirar o material antes da moldagem e uniformizar a espessura da peça moldada.

No processo, os plugues são movimentados quando a chapa plástica entra em contato com o molde, e recuados quando é ligado o sistema de refrigeração do molde, para evitar que o molde não desça para a posição inicial com os plugues em contato, evitando assim a quebra dos mesmos e também do molde.

**Figura 3:** Distribuição dos plugues acionados no molde.



A conformação das chapas plásticas, empregando os plugues no molde do refrigerador modelo BRM 44, foi realizada na mesma termoformadora, descrita anteriormente, modificando somente os parâmetros de processo de moldagem (conforme Tabela 2), considerando a necessidade de regulagem

do tempo de estiramento da chapa, do tempo de vácuo e do tempo de resfriamento da peça conformada, diminuindo assim, o tempo de ciclo de todo o processo de confecção da caixa interna.

**Tabela 2:** Parâmetros de processo na moldagem das chapas com o uso de plugues.

PARÂMETRO	TEMPO DE MOLDAGEM (S)
Tempo de estiramento (balão)	1,8 ± 1,0
Tempo de vácuo	24,0 ± 5,0
Resfriamento	5,0 ± 3,0
Tempo de ciclo	47

### 2.3 Análise da aplicação dos plugues

A ferramenta do Seis Sigma COV (*Component of variation*) (Wheeler, 1992) foi empregada para verificar a variação da espessura da caixa interna em relação ao método de conformação sem o uso de plugues e empregando os plugues fabricados nos três diferentes materiais, partindo dos resultados do MSE. As medidas obtidas foram apresentadas em uma planilha no Excel e transpostas para um software, no qual foi gerado um gráfico, permitindo determinar o limite de variação médio das medidas realizadas nas peças para cada configuração.

### 2.4 Ensaios de tração das caixas internas moldadas com plugues

Para avaliar as propriedades mecânicas das amostras de caixas internas moldadas a partir das chapas com espessura reduzida, com e sem o uso dos plugues (de Teflon, Ambatex e Feltro), foram realizados ensaios de tração, utilizando uma máquina EMIC, modelo DL-2000, com velocidade de deslocamento de até 500 mm/min. e célula de carga com capacidade máxima de 200 kgf, adotando procedimentos conforme a norma ASTM D 638-99. Para os ensaios, foram retirados corpos de prova dos 3 pontos da caixa interna, nos quais foram colocados os plugues conformadores (na parte superior, inferior e na lateral). Os ensaios foram realizados em 6 amostras das caixas obtidas das chapas com espessura de 4,0 mm com e sem o emprego dos 3 tipos de plugues

### 2.5 Ensaios de ciclagem térmica das caixas internas

Os ensaios de ciclagem térmica das caixas internas produzidas com a espessura de chapa reduzida foram realizados para verificar a ocorrência de microfissuras que poderiam ocorrer durante a conformação da mesma e que não são detectadas durante a inspeção visual nos testes de controle de

qualidade. Essas microfissuras podem ocasionar problemas futuros de qualidade do refrigerador durante seu uso na casa dos clientes. Nos testes foram analisadas amostras de caixa interna confeccionadas a partir de chapas com espessura de 4,0 mm sem e com o auxílio dos plugues de Ambatex, Teflon e Feltro, totalizando oito amostras, duas para cada tipo.

Os ensaios foram realizados na empresa, em uma câmara isolada de ciclagem térmica, marca Thermotron Holland, seguindo procedimentos baseados na norma NTW 1834. Para os testes, as amostras de caixas internas foram previamente cobertas com uma camada de óleo oléico utilizado para acelerar a degradação do material PSAI e deixar visíveis as imperfeições, caso aconteçam, como quebras ou fissuras. Depois foram colocadas na câmara e submetidas a uma temperatura inicial de 50 °C, por 10 horas, seguida de rampa de resfriamento por 2 horas até atingir 23 °C, permanecendo por mais 10 horas. Depois, foram submetidas a uma rampa de aquecimento por mais 2 horas até atingir novamente 50 °C, mantendo nesta configuração de temperatura por 10 dias.

## 2.6 Determinação dos consumos de matéria-prima, energia e da produtividade

Os cálculos foram realizados considerando a produção de chapas com espessura de 4,2 mm e de 4,0 mm com uso de plugues conformadores de Feltro, pois estes apresentaram os melhores resultados nos ensaios descritos anteriormente.

- **Consumo de matéria-prima:** foi avaliado a partir de dados da área de extrusão das chapas, considerando a capacidade produtiva da extrusora. Foram determinados os seguintes parâmetros: massa da chapa antes e depois da redução da espessura, ganho em chapas que foram produzidas em 24 horas de produção e o percentual de redução de matéria-prima.
- **Consumo de energia:** Antes de ser moldada, a chapa extrudada passa pelo sistema de aquecimento da termoformadora, responsável pela mudança de estrutura da chapa, deixando a mesma maleável para ser moldada. O sistema se divide em duas partes: pré-aquecimento, com 80 resistências na parte inferior e 72 resistências na parte superior, com potência nominal de 600 W cada; e aquecimento, com 112 resistências na parte inferior e 112 resistências na parte superior, com a potência de 1000 W cada. O consumo de energia antes e depois da redução da espessura da chapa e com o uso de plugues de Feltro foi determinado a partir dos dados obtidos nas etapas de aqueci-

mento e pré-aquecimento na termoformadora, e a partir deste foi determinado o percentual de redução no consumo de energia por hora em função das alterações realizadas no processo.

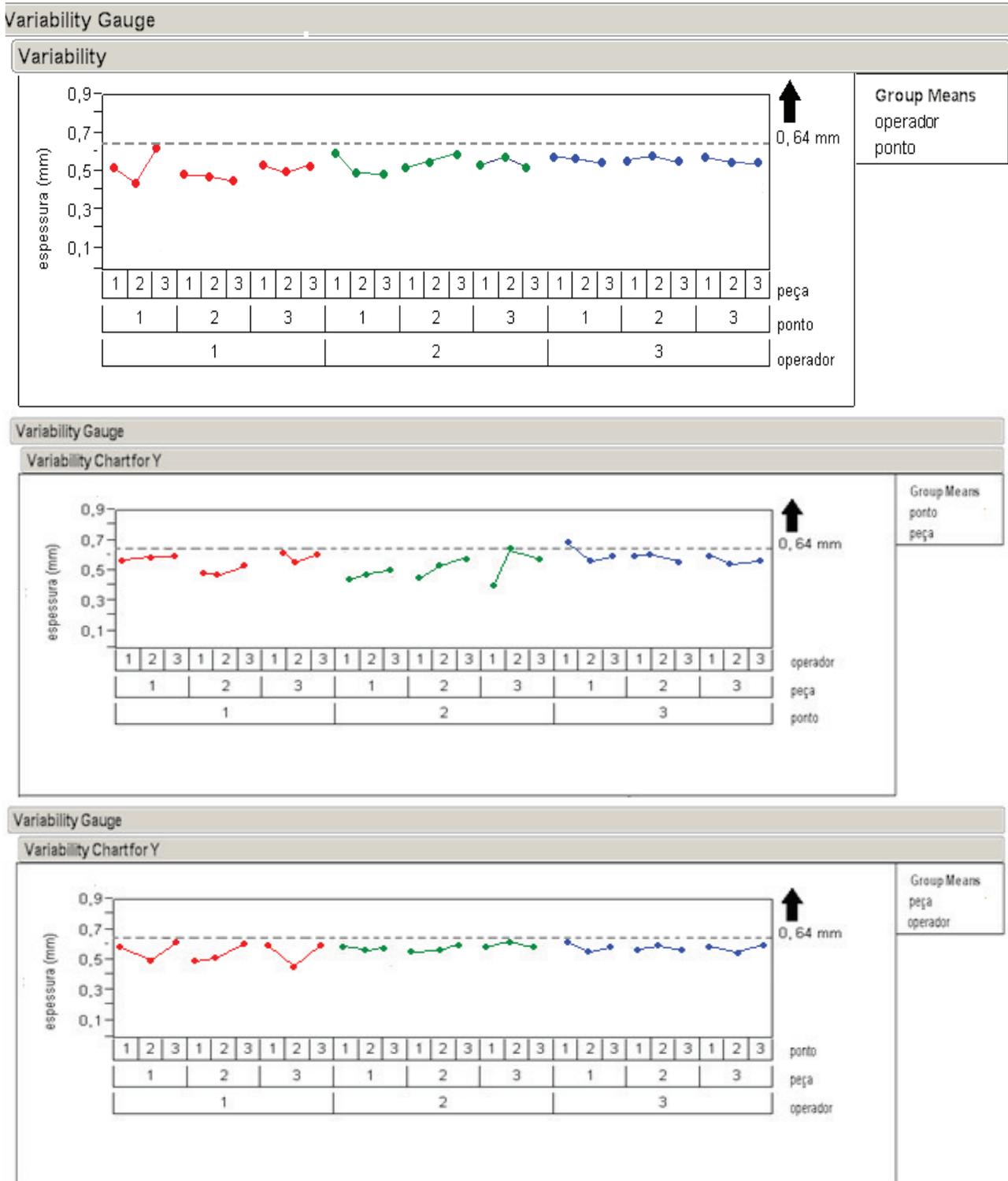
- **Produtividade:** foi determinada a partir dos dados da etapa de moldagem que influenciaram na capacidade produtiva da termoformadora, a fim de comparar os processos de produção das chapas com espessura 4,0 mm, sem o uso de plugues; 4,0 mm, com uso de plugues de Feltro; e 4,2 mm, sem plugues. As diferenças nos três tipos de processo foram avaliadas, considerando-se os tempos de estiramento da chapa (balão), tempo de vácuo e tempo de resfriamento, sendo estes os parâmetros que quando alterados influenciam no tempo de ciclo da termoformadora.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Avaliação da variação do sistema de medida de espessura (MSE - Measure System Evaluation)

Nos gráficos da Figura 4 (a), (b) e (c) estão os resultados do MSE apresentando as variações entre operadores e pontos, pontos e peças e operadores e peças, respectivamente, de espessura das caixas internas confeccionadas a partir da chapa com espessura de 4,0 mm. Verificando-se a variação entre pontos, Figura 4 (a), nota-se que nenhum deles alcançou a linearidade entre si. Na variação relacionada aos operadores, apenas as medidas do terceiro operador aproximaram-se do limite desejado, de 0,64 mm de espessura. No gráfico da Figura 4 (b), nota-se que existe uma variação entre peças muito grande. Porém, dos dados de análise entre os pontos, verifica-se que houve um ponto de cada análise próximo à linha mínima e outros bem dispersos, indicando que não houve linearidade entre os pontos. Da Figura 4 (c) observa-se que entre operadores a variação foi pequena, pois todos os 3 operadores produziram caixas com a mesma espessura, ou seja, com valores próximos ao limite de 0,64 mm. As medidas realizadas pelo operador 1 apresentaram uma pequena variação nos valores de espessura quando comparadas às realizadas pelos operadores 2 e 3. Analisando-se os três gráficos, verifica-se que a maior variação de espessura ocorreu entre pontos na caixa interna. Observa-se também variação entre uma peça e outra, porém, foi menor do que a variação entre pontos. Estes resultados indicam a necessidade de adaptar o processo de termoformagem das chapas com espessura reduzida para garantir caixas internas produzidas dentro das normas de qualidade exigida pela empresa.

**Figura 4:** Variação de espessura da caixa interna: (a) entre operadores e os pontos, (b) entre pontos e peças e (c) entre operadores e peças.

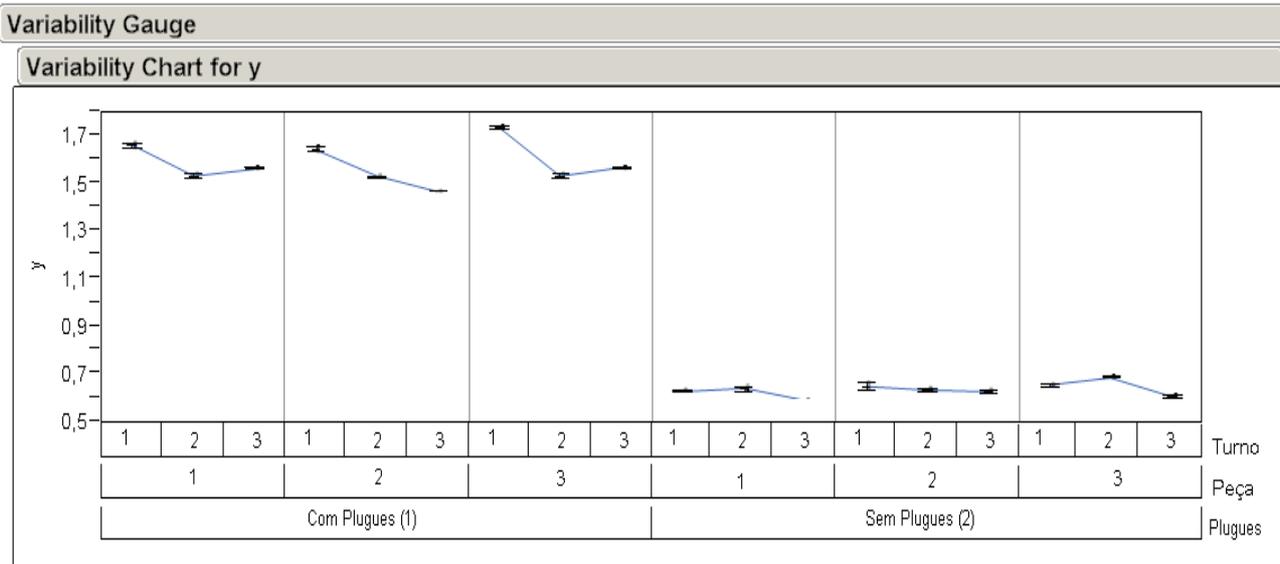


### 3.1 Identificação dos limites de variação das medidas de espessura com e sem o uso de plugues

Na Figura 5 estão apresentados os resultados das análises de COV (*Component of variation*) das amostras de caixas internas com e sem o uso de plugues na produção de caixa a partir das chapas

com espessura de 4,0 mm. Os resultados referentes ao uso dos plugues apresentaram espessura média de 1,5 mm e sem o uso de plugues de 0,55 mm. Com a aplicação de plugues conformadores na moldagem foi possível garantir a produção de caixas internas com a mesma qualidade das obtidas a partir de chapas com espessura de 4,2 mm.

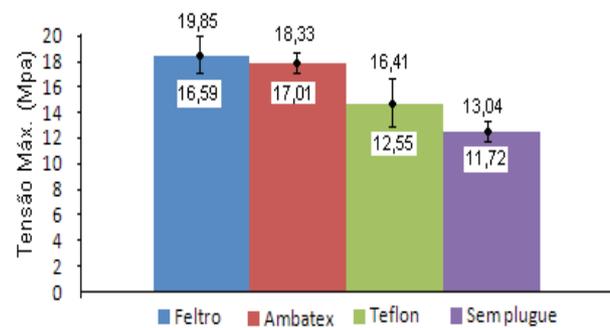
**Figura 5:** Variação de espessura da caixa interna com o uso de plugues de Feltro (1) e sem o uso de plugues (2).



### 3.2 Análise dos ensaios de tração das amostras caixas internas conformadas com plugues

Na Figura 6 estão apresentados os resultados de resistência à tração das amostras de caixas internas, em contato com os plugues de Ambatex, Feltro, Teflon e sem plugues. Comparando-se os resultados, verifica-se que as amostras confeccionadas com plugues de Feltro apresentaram maior valor de resistência à tração, de 18,2 MPa, sendo este próximo ao das amostras em contato com os plugues de Ambatex e maior que o das em contato com plugue de Teflon e sem plugues. Este valor é inferior ao valor médio da resistência à tração para o PSAI (R 830D) virgem, de 23 MPa, utilizado para confecção de caixas internas de refrigeradores (INNOVA, 2012). Cabe ressaltar, que as caixas são processadas com 27% de PSAI reprocessado, além de material virgem e concentrados de cor, o que ocasiona redução na resistência à tração do material final (Grassi, 2001). Porém, o valor encontra-se próximo ao valor médio de resistência à tração das amostras de caixas internas confeccionadas com chapa de 4,2 mm, de aproximadamente 20 MPa, as quais já eram empregadas nos refrigeradores fabricados pela empresa, estando dentro dos padrões internos de controle de qualidade da empresa. Os plugues de Feltro seriam mais indicados para uso no processo de conformação das caixas internas em função dos valores de resistência à tração das amostras obtidas serem mais próximos aos exigidos e também devido ao seu custo ser mais baixo em relação aos demais materiais usados na confecção dos plugues.

**Figura 6:** Resistência à tração das caixas internas obtidas com o uso de plugues conformadores em Ambatex, Feltro, Teflon e sem plugues.

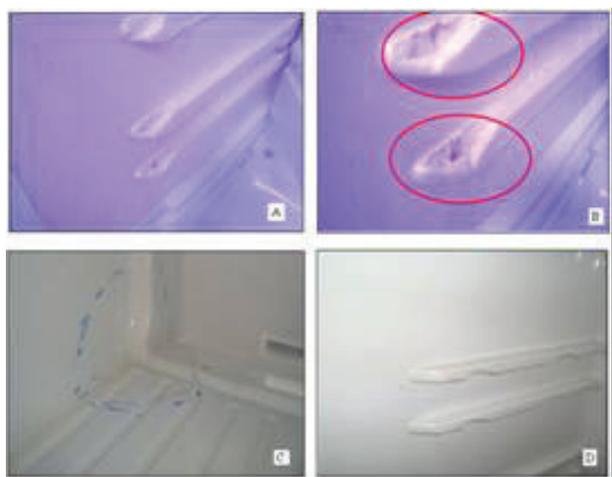


### 3.3 Análise de ciclagem térmica

Na Figura 7 são apresentados os resultados de ciclagem térmica das amostras de caixas internas. No ensaio de ciclagem térmica, as caixas internas são reprovadas quando apresentam imperfeições como microfissuras, ondulações e quebras, muitas vezes ocasionadas pela má distribuição do material PSAI no molde.

Nas Figuras 7 A e B podem ser visualizados, como exemplo, alguns dos defeitos que podem surgir. Após os 10 dias de testes, as amostras de caixas internas obtidas a partir das chapas com espessura de 4,0 mm com o uso de plugues conformadores foram todas aprovadas, conforme ilustrado nas Figuras C e D.

**Figura 7:** Ciclagem térmica: (A) e (B) amostras reprovadas e (C) e (D) amostras aprovadas.



### 3.4 Avaliação dos consumos de matéria-prima e energia e da produtividade

A redução da espessura da chapa extrudada ocasionou redução no tempo de aquecimento das resistências da termoformadora, cujo processo é subsequente ao da extrusão e necessita ser realizado para conseguir a conformação da chapa nas características do molde de termoformagem. Conseqüentemente, houve variação no consumo de energia do sistema de aquecimento da termoformadora.

Na Figura 8 (a) e (b) estão apresentados os consumos de energia, em kWh, das resistências de 600 W para a etapa de pré-aquecimento e de 1000 W para a etapa de aquecimento na termoformadora. Verifica-se pela Figura 8 (a) que as chapas de 4,2 mm apresentaram um consumo de energia de na etapa de pré-aquecimento de 466,6 kWh e as de 4,0 mm com uso de plugues de Feltro na termoformagem, de 431,9 kWh. Sendo assim, o maior consumo foi para a chapa de 4,2 mm sem plugue e o menor para a chapa de 4,0 mm com plugue. O percentual de redução de consumo de energia por hora foi de aproximadamente 8%.

Da Figura 8 (b), observa-se uma diferença considerável no consumo de energia na etapa de

aquecimento quando a chapa é mais espessa. Para o aquecimento da chapa de 4,2 mm, o consumo foi 129,9 kWh e para as chapas de 4,0 mm, na qual foram empregados os plugues conformadores de Feltro para a obtenção da caixa interna, o consumo foi de 110,9 kWh. A redução de consumo de energia nesta etapa por hora foi de aproximadamente 17%.

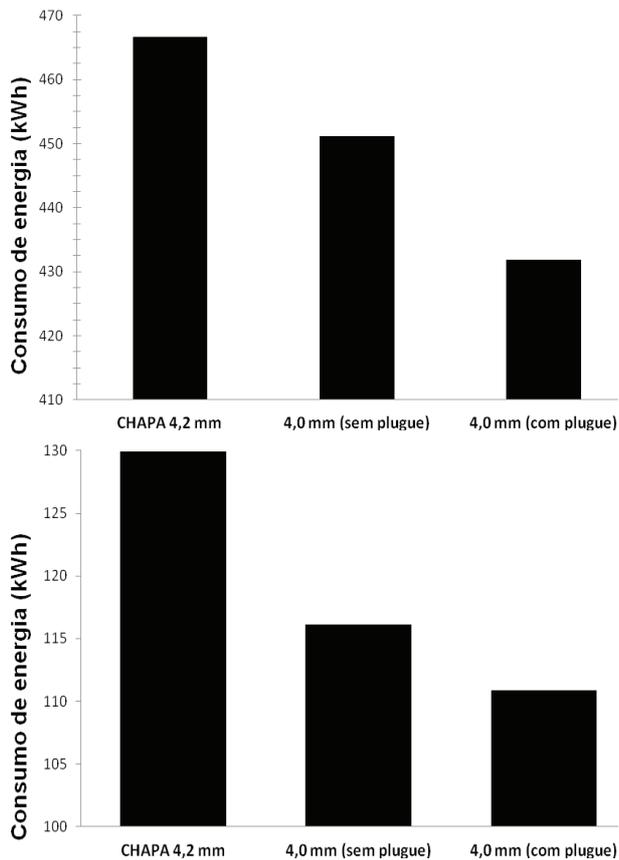
### 3.4 Avaliação dos consumos de matéria-prima e energia e da produtividade

A redução da espessura da chapa extrudada ocasionou redução no tempo de aquecimento das resistências da termoformadora, cujo processo é subsequente ao da extrusão e necessita ser realizado para conseguir a conformação da chapa nas características do molde de termoformagem. Conseqüentemente, houve variação no consumo de energia do sistema de aquecimento da termoformadora.

Na Figura 8 (a) e (b) estão apresentados os consumos de energia, em kWh, das resistências de 600 W para a etapa de pré-aquecimento e de 1000 W para a etapa de aquecimento na termoformadora. Verifica-se pela Figura 8 (a) que as chapas de 4,2 mm apresentaram um consumo de energia de na etapa de pré-aquecimento de 466,6 kWh e as de 4,0 mm com uso de plugues de Feltro na termoformagem, de 431,9 kWh. Sendo assim, o maior consumo foi para a chapa de 4,2 mm sem plugue e o menor para a chapa de 4,0 mm com plugue. O percentual de redução de consumo de energia por hora foi de aproximadamente 8%.

Da Figura 8 (b), observa-se uma diferença considerável no consumo de energia na etapa de aquecimento quando a chapa é mais espessa. Para o aquecimento da chapa de 4,2 mm, o consumo foi 129,9 kWh e para as chapas de 4,0 mm, na qual foram empregados os plugues conformadores de Feltro para a obtenção da caixa interna, o consumo foi de 110,9 kWh. A redução de consumo de energia nesta etapa por hora foi de aproximadamente 17%.

**Figura 8:** Consumo de energia das resistências de (a) de 600 W da etapa de pré-aquecimento da termoformadora e (b) 1000 W da etapa de aquecimento.



A partir das análises da produção das chapas de espessura 4,2 mm, 4,0 mm sem uso de plugues e 4,0 mm com plugues de Feltro, calculou-se o ganho em produtividade na extrusão das chapas, cujos resultados são apresentados na Tabela 3.

Na Tabela 4 podem ser observados os tempos de moldagem que influenciaram diretamente na conformação da caixa interna na termoformadora e o ganho em produtividade na mesma.

Sabendo-se que a capacidade produtiva da extrusora é de 650 kg/h, que a capacidade de produção de chapas com 4,2 mm é de 94 chapas/hora e de chapas de 4,0 mm de espessura é de 98 chapas/hora, o ganho em produtividade, em 24 horas, aumentou em 103 chapas, o que representa uma redução de matéria-prima de aproximadamente 4,5%. Foram analisados os três tipos de conformações e obteve-se os seguintes resultados: 1) para a chapa de 4,2 mm, a termoformadora apresentou tempo de ciclo por peça de 54 segundos, produzindo assim, 66 peças/hora e 1485 peças em 3 turnos de trabalho (22,5 horas); 2) para a chapa de 4,0 mm sem a utilização dos plugues na moldagem, a caixa interna apresentou um tempo de confecção de 52 segundos, e uma produtividade de 70 peças/hora, com 1575 peças em 3 turnos; 3) para a chapa de 4,0 mm com o auxílio dos plugues de Feltro, a produtividade por ciclo foi de 47 segundos, com 77 peças/hora e 1732 peças em 3 turnos de trabalho.

**Tabela 3:** Ganho na produção de chapas plásticas com a espessura reduzida.

ESPESSURA (MM)	CAPACIDADE (KG/H)	MASSA DA CHAPA (KG)	QUANTIDADE DE CHAPA/HORA	GANHO EM CHAPAS EM 24 HORAS
4,2	650	6,9 kg	94	2260
4,0	650	6,6 kg	98	2363

**Tabela 4:** Tempo de moldagem e ganhos em produtividade na termoformadora dos três diferentes processos.

	TEMPO DE MOLDAGEM (S)		
	COM PLUGUE 4,0 MM	SEM PLUGUE 4,0 MM	SEM PLUGUE 4,2 MM
Balão	1,8 ± 1,0	2,0 ± 1,0	2,5 ± 1,0
Tempo de vácuo	24,0 ± 5,0	27,0 ± 5,0	30,0 ± 5,0
Resfriamento	5,0 ± 3,0	5,0 ± 3,0	7,0 ± 3,0
Tempo de ciclo	47	52	54
	PRODUTIVIDADE		
	COM PLUGUE 4,0 MM	SEM PLUGUE 4,0 MM	SEM PLUGUE 4,2 MM
Peças/hora	77	70	66
Peças em 3 turnos (22,5 horas)	1732	1575	1485

## 4. CONCLUSÃO

As caixas internas produzidas a partir das chapas com espessura reduzida foram avaliadas em relação a sua qualidade com o auxílio de ferramentas de qualidade. Com a redução da espessura da chapa

de 4,2 mm para 4,0 mm sem alterações no molde no processo de termoformagem, não se alcançou a qualidade mínima para as caixas internas exigidas pela empresa. Para resolver estes problemas de conformação das caixas a partir da espessura reduzida,

foram aplicados plugues conformadores nas regiões de alta complexidade de moldagem na termoformagem, ocasionando melhor distribuição do material PSAI no molde.

Dos três materiais (Ambatex, Feltro e Teflon) empregados na fabricação dos plugues conformadores testados, os de Feltro proporcionaram produção de caixas internas com melhores propriedades mecânicas e qualidade que os demais plugues. As amostras confeccionadas em contato com plugues deste material apresentaram o maior valor de resistência à tração, de 18,2 MPa e foram aprovadas nos testes de qualidade exigidos pela empresa.

Como a chapa ficou menos espessa e utilizando-se plugue de Feltro para auxiliar na conformação da caixa interna, houve diminuição no tempo de ciclo dos processos de termoformagem e extrusão, aumentando a produtividade das máquinas sem perder a robustez e a qualidade na peça conformada.

A mudança do processo resultou em uma redução de 4,5% em matéria-prima empregada na fabricação das caixas internas termoformadas, um aumento de produtividade em 103 chapas/dia na extrusora equivalente a 4,8%, ganho de 247 caixas internas/dia na termoformadora correspondendo à 16,7%, uma queda do consumo de energia na etapa de pré-aquecimento de 8% e de aquecimento de 17%.

## 5. REFERÊNCIAS

ASTM D638-99, Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, American Society for testing and Materials, West Conshohocken, 1999.

BASS, I. Six Sigma statistics with Excel and Minitab. 1<sup>st</sup> ed., New York, 2007.

BRYDSON, J. Plastics materials. 7<sup>th</sup> ed., Oxford, Woburn, 2000.

CHOWOHURY, S. The Power of Six Sigma, 2002.

FERNANDES, J. Apostila de processo de termoformagem da Whirlpool S.A, Volume único, Joinville, 2004.

GRASSI, V. Estrutura versus propriedades em HIPS, Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 11, nº 3, p. 158-168, 2001.

HARADA, J. Plásticos de Engenharia: tecnologia e aplicações. São Paulo, Artiliber, 1998.

HARRON, G. Uma investigação experimental sobre a conformação auxiliada por plugue. Plástico Industrial, São Paulo: v. 4, 2002.

INNOVA. R830D Poliestireno de alto impacto especial. Triunfo, RS. Disponível em: <[http://www.petrobras.com.ar/Innova/Internet\\_Innova/Portugues/Productos\\_Servicos/Imagens/R830D.pdf](http://www.petrobras.com.ar/Innova/Internet_Innova/Portugues/Productos_Servicos/Imagens/R830D.pdf)>. Acesso em: abr. 2012.

PEINALDO, J. GRAEML, A. Administração da Produção (Operações Industriais e de Serviços). Curitiba, 2007.

SLACK, N. Administração da produção: edição compacta. São Paulo: Atlas, 2006.

ROTONDARO, R. Seis Sigma: estratégia gerencial para a melhoria de processos, produtos e serviços. São Paulo: Atlas, 2002.

SORS, L; BARDÓCZ, L; RADNÓTI, I. Plásticos molde e matrizes. Curitiba: Hemus, p. 238-257, 2002.

WHEELER, D.; LYDAY, R. Evaluating the Measurement Process. 2<sup>o</sup> Ed. 1992.