

UNIVERSIDADE DA REGIÃO DE JOINVILLE – UNIVILLE
MESTRADO EM ENGENHARIA DE PROCESSOS

**INFLUÊNCIA DA REDUÇÃO DA ESPESSURA DE CHAPAS EM PS/PI NA
QUALIDADE DE CAIXAS INTERNAS TERMOFORMADAS DE
REFRIGERADORES**

JOINVILLE

2011

DIEGO MARCOLIN ANTUNES

**INFLUÊNCIA DA REDUÇÃO DA ESPESSURA DE CHAPAS EM PSAI NA
QUALIDADE DE CAIXAS INTERNAS TERMOFORMADAS DE
REFRIGERADORES**

Dissertação apresentada como requisito
para obtenção do título de Mestre em
Engenharia de Processos na
Universidade da Região de Joinville.
Orientadora: Profa. Dra. Noeli Sellin

JOINVILLE

2011

Dedico a Deus, por me dar forças.
A minha mãe e todos aqueles que
nunca deixaram de acreditar em
mim.

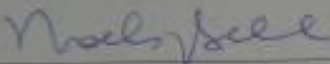
Termo de Aprovação

"Influência da redução da espessura de chapas em PSAI na qualidade de caixas internas termoformadas de refrigeradores"

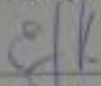
por

Diego Marcolin Antunes

Dissertação julgada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Processos, área de concentração Engenharia de Processos e Tecnologias Limpas e aprovada em sua forma final pelo Programa de Mestrado em Engenharia de Processos.




Profa. Dra. Noeli Sellin
Orientadora (UNIVILLE)



Profa. Dra. Elisabeth Wisbeck
Coordenadora do Programa de Mestrado em Engenharia de Processos (UNIVILLE)

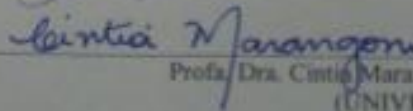
Banca Examinadora:



Profa. Dra. Noeli Sellin
Orientadora (UNIVILLE)



Prof. Dr. Rogério Gomes Araújo
(SOCIESC)



Profa. Dra. Cintia Marangoni
(UNIVILLE)

Joinville, 16 de dezembro de 2011.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus que me deu coragem para questionar realidades e propor sempre um novo mundo de possibilidades.

A minha mãe Isolde M. Antunes, por sua capacidade de acreditar no meu potencial, passando segurança para não desistir da caminhada.

Aos meus amigos, pelas alegrias, tristezas e dores compartilhadas. Com vocês, as pausas entre um parágrafo e outro de produção, melhora tudo o que tenho produzido na vida.

À universidade da região de Joinville – UNIVILLE, que juntamente com os professores fizeram um trabalho maravilhoso no Mestrado em Engenharia de Processo.

À empresa Whirlpool S.A, por ceder as informações técnicas necessárias para o desenvolvimento do projeto.

Em especial a minha orientadora Noeli Sellin, por repartir seus conhecimentos, colocando em minhas mãos as ferramentas com asas, nas quais abrirei novos horizontes, rumo à satisfação plena dos meus ideais humanos e profissionais.

A todas as pessoas que contribuíram direta e indiretamente para a realização de mais essa etapa na minha vida.

“Sem sonhos, a vida não tem brilho. Sem metas, os sonhos não têm alicerces. Sem prioridades, os sonhos não se tornam reais. Sonhe, trace metas, estabeleça prioridades e corra riscos para executar seus sonhos. Melhor é errar por tentar do que errar por omitir” (Augusto Cury).

RESUMO

Visando redução no consumo de matéria-prima e energia bem como aumento de produtividade na fabricação de caixas internas de refrigeradores da empresa Whirlpool S.A, neste trabalho, propõe-se por reduzir a espessura das chapas em poliestireno de alto impacto (PSAI) que originam as caixas internas termoformadas dos refrigeradores. Para identificar os principais parâmetros e fatores que poderiam influenciar na distribuição de PSAI na moldagem das caixas internas fabricadas com chapas de espessura reduzida, um mapa de processo foi elaborado. Chapas com espessura reduzida, de 4,2 para 4,0 mm, foram fabricadas por extrusão e caracterizadas por análises de cor e espessura, e a partir destas, caixas internas foram então conformadas e foi verificada uma distribuição não uniforme do material PSAI nas mesmas. Com aplicação da ferramenta do Seis Sigma, MSE (*Measure System Evaluation*), foi verificado que as variações na espessura das peças ocorreram devido ao processo de moldagem empregado. Para contornar este problema, foram aplicados plugues conformadores (em Feltro, Ambatex e Teflon), nos pontos de maior complexidade de distribuição do PSAI no molde na termoformagem das caixas. A ferramenta COV (*Component of Variation*) e ensaios de propriedades mecânicas e ciclagem térmica foram empregadas para avaliar a das peças a partir das modificações. 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 nos ensaios realizados foram obtidos para as peças moldadas com uso dos plugues conformadores de Feltro. Houve redução de 4,5% no consumo de matéria-prima, aumento de produtividade em 103 chapas/dia na extrusora equivalente a 4,8%, 247 caixas internas/dia na termoformadora, correspondente a 16,7% e queda do consumo de energia na etapa de pré-aquecimento de 8% e de aquecimento de 17 %.

Palavras-chaves: Poliestireno de alto impacto, refrigeradores, termoformagem, plugues conformadores, qualidade.

ABSTRACT

In order to reduce the raw material and energy consumption and to increase productivity on refrigerators internal boxes manufacturing in Whirlpool S.A. company, in this study, the reduction of the plates thickness in high impact polystyrene (HIPS) which originate the refrigerator thermoformed internal boxes was performed. To identify the main parameters and factor that could affect the HIPS distribution on molding the internal boxes manufactured with reduced plates thickness, a process map was elaborated. Reduced thickness plates, from 4,2 to 4,0 mm, were fabricated by extrusion and characterized by color and thickness analysis, from these plates, internal boxes were then conformed and a non uniform distribution of HIPS material was verified. Applying the Six Sigma tool MSE (Measure System Evaluation), it was verified that the variations on pieces thickness occurred due to the molding process employed. To resolve this problem, shaping plugs (in Felt, Ambatex and Teflon) were applied on the greatest complexity points of HIPS distribution on thermoforming mold of the boxes. The COV (Component of Variation) tool and tests of mechanical properties and thermal cycling were applied to evaluate the boxes quality after modifications. A comparison among the raw material consumption, energy, productivity before and after the reduction of the plates thickness and plugs implantation was performed. The best results obtained on the performed tests were the ones from the pieces molded using the Felt conforming plug. There was a 4,5% reduction on raw material consumption, productivity rise of 103 plates/day on the extruder, which is equivalent to 4.8%, 247 internal boxes/day on the thermoformer corresponding to 16,7% and a decrease in energy consumption of 8% on preheating and of 17% on heating.

Keywords: High impact polystyrene, refrigerators, thermoforming, conforming plugs, quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama de blocos do funcionamento de uma linha de extrusão de chapas.....	21
Figura 2 - <i>Layout</i> de um processo de termoformagem.....	24
Figura 3 - Sistema de alimentação.....	25
Figura 4 - Sistema de transporte da chapa plástica e da caixa interna.....	25
Figura 5 - Sistema de aquecimento da termoformadora.....	26
Figura 6 - Sistema de moldagem da termoformadora.....	27
Figura 7 - (a) Sistema de inspeção, (b) Sistema de estampagem (Monolama).....	28
Figura 8 - Gráfico do processo sob controle e fora de controle.....	30
Figura 9 - Gráfico do processo com no mínimo 6 desvios-padrões.....	34
Figura 10 - MSE no processo de medição em uma operação de fresamento.....	36
Figura 11 – Fluxograma da elaboração do mapa de processo.....	40
Figura 12 – Extrusora 6 da Fábrica 2, de rosca dupla.....	41
Figura 13 – Matérias-primas utilizadas no processo de extrusão das chapas.....	42
Figura 14 – (a) Dosadores de matérias-primas, (b) matriz da extrusora e (c) rolos laminadores.....	43
Figura 15 – Medida da espessura da chapa em PSAI por micrômetro.....	44
Figura 16 - Medida da cor da chapa em PSAI por colorímetro.....	45
Figura 17 - Determinação da espessura da caixa interna por ultrassom.....	46
Figura 18 – Árvore de amostragem das medidas de espessura.....	48
Figura 19 - Plugues conformadores de Feltro: (a) fixos e (b) rotativos.....	49
Figura 20 – Plugues acionados por cilindros pneumáticos: (a) de Teflon e (b) de Ambatex.....	50
Figura 21 – Distribuição dos plugues acionados no molde.....	51
Figura 22 - Árvore de amostragem das medidas com plugues (1) e sem plugues (2).....	52
Figura 23 – Conformação e colocação da caixa interna no gabinete do refrigerador BRM 44.....	53

Figura 24 - Regiões da caixa interna, das quais foram obtidos os corpos de prova para os ensaios mecânicos.....	54
Figura 25 - Equipamento universal para ensaios MTS Sintech 10/D.....	55
Figura 26 – Gráfico do tempo de Ciclagem Térmica.....	56
Figura 27 - Ciclagem Térmica: (A) e (B) amostras reprovadas e (C) e (D) amostras aprovadas.....	56
Figura 28 – Mapa de processo das etapas de extrusão e termoformagem.....	60
Figura 29 - Identificação dos pontos de maior complexidade na conformação da caixa interna após redução da espessura da chapa.....	62
Figura 30 - Laudo técnico de ciclagem térmica das amostras com redução na espessura da chapa utilizada para confecção da caixa interna.....	89

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1- Propriedades de diferentes tipos de PSAI puro.....	20
Tabela 2 - Coeficientes para os gráficos de controle.....	33
Tabela 3 – Parâmetros de processo na moldagem das chapas.....	47
Tabela 4 – Parâmetros de processo na moldagem das chapas com o uso de plugues.....	52
Tabela 5 – Percentual de redução do consumo de matéria-prima.....	73
Tabela 6 – Ganho em chapas plásticas com a espessura reduzida.....	75
Tabela 7 – Produtividade na termoformadora.....	76
Tabela I - Resultado das medidas do MSE.....	81
Tabela II - Resultados das medidas do COV.....	84
Tabela III – Diagrama de potência das resistências, utilizando chapas de 4,0 mm, sem o uso de plugues.....	84
Tabela IV - Diagrama de potência das resistências, utilizando chapas de 4,0 mm, com uso de plugues.....	87
Tabela V - Diagrama de potencia das resistências, utilizando chapas de 4,2 mm, sem plugues.....	88
Quadro 1 – Moldagem da chapa na termoformadora.....	61

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Variação de espessura da caixa interna entre operadores e os pontos.....	63
Gráfico 2 - Variação de espessura da caixa interna entre pontos e peças.....	64
Gráfico 3 - Variação de espessura da caixa interna entre operação e peças.....	64
Gráfico 4 – Variação da espessura da caixa interna com a utilização de plugues (1) e sem os plugues (2).....	65
Gráfico 5 – Resistência à tração e alongamento na ruptura das amostras de caixa interna produzidas com plugues de Ambatex.....	67
Gráfico 6 – Resistência à tração e alongamento na ruptura das amostras de caixa interna produzidas com plugues de Teflon.....	68
Gráfico 7 – Resistência à tração e alongamento na ruptura das amostras de caixa interna produzidas com plugues de Feltro.....	69
Gráfico 8 – Resistência à tração e alongamento na ruptura das amostras de caixa interna, sem o uso de plugues conformadores.....	70
Gráfico 9 – Resistência à tração das caixas internas obtidas com o uso de plugues conformadores em Ambatex, Feltro, Teflon e sem plugues.....	71
Gráfico 10 - Consumo de energia das resistências de 1000 W do aquecimento da termoformadora VF 42.....	73
Gráfico 11 - Consumo de energia das resistências de 600 W do pré-aquecimento da termoformadora VF 42 e a média de potência utilizada no processo.....	74

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1 OBJETIVOS.....	18
Objetivo Geral	18
Objetivos Específicos.....	18
2. REVISÃO DA LITERATURA	19
2.1 Poliestireno de alto impacto (PSAI)	19
2.1.1 Processos de obtenção do PSAI.....	19
2.1.2 Características e propriedades do PSAI	20
2.1.3 Principais aplicações do PSAI	21
2.2 Processo de extrusão de chapas em PSAI	22
2.3 Métodos de conformação de peças em PSAI	23
2.3.1 Termoformagem de chapas em PSAI	24
2.3.2 Sistema de alimentação das termoformadoras	25
2.3.3 Sistema de transporte das termoformadoras.....	26
2.3.4 Sistema de aquecimento das termoformadoras.....	27
2.3.5 Sistema de moldagem das termoformadoras	28
2.4 Dispositivos auxiliares na conformação de peças termoformadas	29
3 Ferramentas de gestão e controle estatístico em processos produtivos	31
3.1 Cartas ou gráficos de controle	31
3.1.1 Estatísticas do processo Seis Sigma	34

3.1.2 Casos de sucesso com aplicação das ferramentas Seis Sigma	38
4. MATERIAIS E MÉTODOS	41
4.1 Mapeamento do processo de fabricação da caixa interna.....	41
4.2 Redução da espessura da chapa plástica no processo de extrusão	42
4.3 Conformação da caixa interna a partir da chapa plástica de espessura reduzida.....	46
4.4 Avaliação do sistema de medição - MSE (Measure System Evaluation)	48
4.5 Fabricação dos plugues conformadores	50
4.7 Análise do limite de variação COV (Component of Variation) das medidas de espessura.....	52
4.8 Ensaios de mecânicos das amostras de caixa interna termoformadas com e sem uso de plugues	54
4.9 Análise de ciclagem térmica das amostras de caixa interna	56
4.10 Avaliação do consumo de matéria-prima e energia e de produtividade do processo.....	58
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
5.1 Mapeamento do Processo.....	60
5.2 Identificação dos problemas na obtenção da caixa interna com a espessura da chapa plástica reduzida	62
5.3 Avaliação MSE (Measure System Evaluation) das medidas entre pontos, peças e operadores.....	63
5.6 Identificação dos limites de variação (COV - Component of Variation) das medidas de espessura com e sem o uso de plugues.....	66

5.7 Propriedades mecânicas das caixas internas termoformadas com e sem uso de plugues	67
CONCLUSÃO	776
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
Apêndice A.....	82
Apêndice B.....	85
Apêndice C.....	87
ANEXO A.....	90

1. 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. O que garante a sobrevivência das empresas no mercado competitivo é atender as metas de manufaturar produtos com alta qualidade e com baixo custo, aperfeiçoando seus processos produtivos, em busca de uma melhoria contínua (PEINADO e GRAEML, 2007).

Na maioria das empresas de refrigeradores, a busca em melhorar os processos e reduzir custos tem aumentado significativamente. Nestas, a etapa de termoformagem, que alia a precisão técnica ao baixo custo na confecção dos moldes e na própria moldagem dos componentes plásticos dos refrigeradores, tem apresentado maior retorno financeiro para seus investidores. A sincronia entre calor e pressão negativa durante o processo de moldagem propiciam às peças termoformadas, precisão nas suas dimensões e ótima qualidade no acabamento. As peças podem ser moldadas nas mais variadas cores e texturas em resinas como poliestireno (PS), polietileno alta densidade (PEAD), poliestireno de alto impacto (PSAI), polipropileno (PP), etc. Os moldes são 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. (FERNANDES, 2004; HARADA, 1998).

Uma oportunidade de melhoria observada na empresa de refrigeradores Whirlpool S.A. é a redução no consumo de matéria-prima PSAI empregada na fabricação do refrigerador modelo BRM 44. São consumidos mensalmente em torno de 380.000 kg de PSAI para fabricar esses refrigeradores. Essa redução pode ser alcançada a partir da redução da espessura das chapas extrudadas que serão conformadas nas caixas internas desses refrigeradores. Neste processo, a chapa de PSAI é amolecida por aquecimento por convecção ou irradiação e

impulsionada contra os contornos de um molde, confeccionado em alumínio e previamente aquecido, e assim conformada em caixa interna a partir de um sistema de vácuo.

Para que a espessura da chapa plástica, ou seja, a massa de PSAI, seja diminuída sem comprometer a qualidade da caixa interna termoformada, torna-se necessário investigar os pontos considerados de maior complexidade na conformação da mesma, como a distribuição não homogênea de material nos contornos do molde, bem como, promover alterações que resolvam esses problemas durante o processamento. Desta forma, neste trabalho avaliou-se a redução da espessura de chapas extrudadas em PSAI, utilizadas na fabricação de caixas internas termoformadas de refrigeradores, e sua influência na qualidade das peças, nos consumos de matéria-prima e energia e na produtividade.

1.1 OBJETIVOS

- Objetivo Geral

Avaliar a influência da redução da espessura de chapas extrudadas em PSAl utilizadas na fabricação de caixas internas de refrigeradores, na qualidade das peças, nos consumos de matéria-prima e energia, bem como, na produtividade.

- Objetivos Específicos

1. Identificar e avaliar os principais parâmetros e fatores do processo de fabricação das caixas internas de refrigeradores que podem influenciar na distribuição de PSAl na moldagem das mesmas, após redução da espessura das chapas, com o auxílio do mapa de processo;
2. Reduzir a espessura da chapa plástica na extrusão e caracterizar as mesmas por análises de espessura e de cor visando avaliar degradação térmica;
3. Produzir caixas internas a partir das chapas com espessura reduzida e avaliar sua qualidade com o auxílio da ferramenta de qualidade MSE;
4. Melhorar a distribuição de PSAl na moldagem em função da redução da espessura das chapas a partir da aplicação de plugues conformadores (de Ambatex, Feltro e Teflon) na termoformagem;
5. Avaliar a qualidade das caixas a partir do uso de plugues conformadores utilizando a ferramenta COV, ensaios mecânicos e ciclagem térmica;
6. Determinar os consumos de matéria-prima e energia e a produtividade do processo a partir da redução da espessura da chapa plástica.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Poliestireno de alto impacto (PSAI)

O Poliestireno de alto impacto (PSAI) é um dos polímeros mais utilizados industrialmente como plástico moldado, devido principalmente ao baixo custo e à excelente processabilidade (RABELLO, 2007).

O PSAI é uma blenda polimérica clássica produzida por polimerização *in situ* de estireno em solução com borracha butadiênica. É tipicamente caracterizado por uma segunda fase borrachosa de polibutadieno (PB), dispersa em uma matriz polimérica contínua de poliestireno (PS). Esta classe é conhecida como um típico material polimérico borrachoso tenacificado preparado pela polimerização de um radical livre de estireno na presença de polibutadieno dissolvido, aumentando a resistência ao impacto e a tenacidade do poliestireno (ROVERE *et al.*, 2008; SAHIN *et al.*, 2007)

2.1.1 Processos de obtenção do PSAI

Segundo Rovere *et al.* (2008), as diferenças estruturais e de métodos de obtenção dos tipos de PSAI, resultam no processamento e no tipo do teor de borracha. O processo de polimerização em massa gera uma morfologia do tipo *salami*, com espectro amplo de tamanho de partículas, com subinclusões de poliestireno envoltos por uma membrana borrachosa, dispersa numa matriz de poliestireno. O processo de polimerização em emulsão geralmente apresenta partículas de borracha esféricas, não desejáveis por comprometer a transparência, com estrutura do tipo *core-shell*, isto é, partículas compostas por um núcleo de poliestireno (*core*) revestido por uma membrana (*shell*), com espectro de distribuição de tamanhos mais estreito.

Conforme Albuquerque (1999), industrialmente, dispõe-se de dois métodos para a adição de elastômeros em poliestireno, que são: 1) por mistura mecânica, que consiste na mistura do poliestireno com a borracha por meio de um moinho ou de uma extrusora dupla rosca; 2) por grafitização, obtendo-se o poliestireno modificado diretamente no reator de polimerização. Desta forma, promove-se a emulsão da borracha em estireno, seguindo-se a polimerização da mistura pelas técnicas de massa, solução ou suspensão.

A polimerização em suspensão é efetivada dissolvendo-se a borracha e o catalisador no estireno, seguindo-se à dispersão, por agitação em água desmineralizada, com um agente de suspensão adequado, que pode ser álcool polivinílico, sendo que a polimerização é processada por aquecimento.

2.1.2 Características e propriedades do PSAI

Segundo Grassi e Forte (2001), a propriedade de resistência química do PSAI é extremamente importante em função de sua ampla aplicação em diferentes segmentos, como de embalagens e na fabricação de gabinetes de refrigeradores, etc. As embalagens de PSAI podem sofrer ataque químico dos alimentos e apresentar perda de suas propriedades físico-mecânicas. No caso de refrigeradores, o gabinete em PSAI tem contato com a espuma de poliuretano responsável pelo isolamento térmico do gabinete e, portanto, pode sofrer ataque do agente de expansão da espuma, normalmente gás ciclobutano ou ciclopentano.

O PSAI é resistente ao impacto, sua resistência à tração e seu módulo de elasticidade são inferiores ao do poliestireno comum, enquanto que o alongamento pode melhorar de 10 a 40%. Aumentando-se o alongamento, ocorre melhoria na sua tendência à ruptura, contudo, forçando-se além de um determinado ponto, a área que sofreu tensão torna-se branca e quebradiça (ALBUQUERQUE, 1999).

Na tabela 1 são apresentadas algumas propriedades de PSAI sintetizados por polimerização em massa (denominados comercialmente pela BASF S.A por 476L e 495F) e por emulsão (585K), com teores de borracha na faixa de 8,5 a 9%, e separados na forma de partículas na matriz estirênica com diâmetros médios de

1,25 μm , 0,69 μm e 0,30 μm , respectivamente, conforme denominação comercial (VIANNA *et al.*, 2004).

Tabela 1- Propriedades de diferentes tipos de PSAI puro.

Propriedades				Valores Típicos		
		Norma	Unidades S.I.	PSAI 476L	PSAI 495F	PSAI 585K
1	Índice de Fluidez	ISO-1133	g/10min	5	10	5
2	Módulo de elasticidade (tração)	ISO-527	GPa	1.9	1.9	1.9
3	Resistência à tração (escoamento)	ISO-527	MPa	24	21	27
4	Alongamento (ruptura)	ISO-527	%	70	34	13
5	Resistência ao impacto CHARPY	ASTM D-256	J/m	148	148	90
6	Temperatura de deflexão térmica (HDT) - ISO-75 - Método (A)	ISO-75	°C	85	83	77
7	Densidade	ISO-1183	kg/m ³	1050	1040	1050

Fonte: Vianna *et al.* (2004).

Observa-se da tabela que os valores de algumas propriedades do PSAI são influenciados pelo tamanho das partículas de borracha inseridas na matriz estirênica. Quanto menor os diâmetros das partículas de borracha, menores serão o alongamento na ruptura, a resistência ao impacto e a temperatura de deflexão térmica.

2.1.3 Principais aplicações do PSAI

Segundo Grassi e Forte (2001), assim como Rovere *et al.* (2008), o PSAI é um material de alta aplicação, as resinas comerciais do mesmo têm sido usadas tanto em processos de moldagem por injeção como por extrusão. Geralmente, as resinas que apresentam baixa viscosidade no estado fundido são usadas para aplicações em moldagem por injeção, e as resinas com alta viscosidade são mais apropriadas para aplicações em extrusão, com a adição de borracha dissolvida em monômeros de estireno tem a maioria das vantagens do poliestireno (PS), como uma boa manufaturabilidade. Outro processo bastante empregado é o de termoformagem, principalmente na indústria de embalagens para alimentos e na

moldagem de peças maiores, como gabinetes para geladeiras. É usado também em artigos industriais, como peças de máquinas e veículos, caixas para rádio, televisão e microcomputadores, grades de ar condicionado, peças internas e externas de aparelhos eletrônicos, de telecomunicações, cabos e armações para guarda-chuvas, e na indústria calçadista (LIANG e NESS, 1997).

2.2 Processo de extrusão de chapas em PSAI

A linha de extrusão de chapas plásticas tem por objetivo transformar a matéria-prima polimérica em chapa, que será alimentada numa termoformadora. Na Figura 1 é apresentado um diagrama de blocos simplificado com as etapas de funcionamento de uma linha de extrusão de chapas plásticas (SMOLLER, 2008).

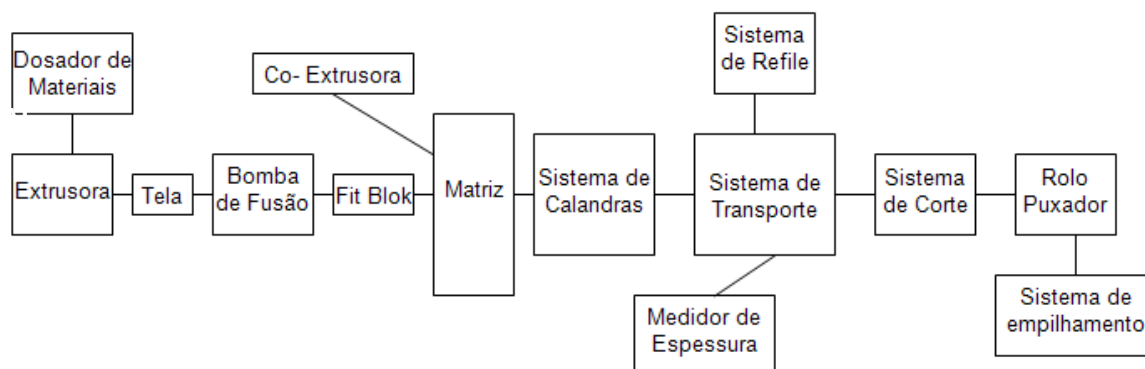


Figura 1 - Diagrama de blocos do funcionamento de uma linha de extrusão de chapas plásticas.

Fonte: Smoller (2008).

O funcionamento de uma linha de extrusão de chapas plásticas depende muito do ajuste entre seus componentes. Este ajuste está relacionado diretamente à temperatura, pressão e fluxo do sistema. Caso alguma destas variáveis não esteja conforme o especificado, certamente a chapa sairá com defeitos. Estas variáveis sofrem influência direta do operador, do estado de conservação dos componentes da linha de extrusão de chapas e da qualidade da matéria prima (FERNANDES 2004).

O processo de extrusão inicia-se com o material plástico em grânulos sendo entregue à rosca por meio de um funil de alimentação sobre a extrusora e co-extrusora. A extrusora é essencial em todos os tipos de chapas, pois é ela quem processa o material que formará a maior parte da estrutura de uma chapa. A co-extrusora é utilizada principalmente para dar acabamento às chapas (camada de brilho), sendo dispensável em casos de chapas foscas. Tanto a extrusora como a co-extrusora processam o material dando características necessárias a uma boa conformação da chapa. Pelo funil de alimentação, o plástico cai sobre a rosca transportadora por gravidade e a rosca transporta o material para frente, por meio de movimento rotativo no interior de uma câmara fechada e aquecida (cilindro de plastificação). Em seguida, o material passa pela bomba de fusão, que o mantém em fluxo contínuo na entrada da matriz de chapas que está localizada na frente da máquina, tornando o processo mais estável (HENSER, 1997).

A matriz proporcionará a conformação de chapas recebendo a camada de brilho se necessário. Após a matriz, o material, já com o formato semelhante a uma chapa, passa pelo sistema de calandras, que inicia sua refrigeração, auxilia na movimentação e determina a espessura desejada. O sistema de transporte, além auxiliar na refrigeração e na definição da largura, fornece um caminho para a chapa, ainda em formato contínuo, chegar até o sistema de corte. Este determina o comprimento da chapa e auxilia na sua movimentação desde o sistema de calandras até ele. O sistema de empilhamento consiste em transportar a chapa pronta desde o sistema de corte até o mecanismo que fará o empilhamento das mesmas, formando fardos (SMOLLER, 2008).

2.3 Métodos de conformação de peças em PSAI

Segundo Vianna *et al.* (2004), o poliestireno é processado por vários métodos, nos quais estão incluídas as moldagens por injeção, sopro, extrusão e termoformagem. A termoformagem é um dos mais antigos processos de moldagem de material polimérico. Consiste no amolecimento de chapas plásticas por aquecimento impulsionando a mesma contra os contornos de um molde,

geralmente confeccionado em alumínio, também aquecido previamente. Concorre com o processo de injeção, principalmente em função do baixo custo do molde e da facilidade em moldar peças de diferentes espessuras, o que no processo de injeção torna-se difícil em paredes muito finas ou grossas (FERNANDES, 2004; SALA *et al.* 2002).

A termoformagem apresenta três tipos de segmentos (HARADA, 1998; BLASS, 1988):

Vaccum forming: consiste na fixação da chapa termoplástica, sobre um molde com cavidades móveis, aquecendo-se à temperatura de conformação e removendo-se o ar contido entre a chapa e o molde. Sob pressão atmosférica, a chapa é forçada de encontro aos contornos do molde. Após um breve período, a chapa endurece e pode então ser removida do molde. Este é, possivelmente, o mais barato dentre os processos de conformação de chapa, pois as baixas pressões empregadas exigem moldes leves e equipamentos simples.

Pressure forming: processo que emprega uma única chapa plástica conformada a quente e na sequência, moldada através de um sistema de vácuo, que retira a pressão de ar existente entre a chapa plástica e os contornos do molde.

Twin sheet: nesse tipo de processo, são usadas duas chapas plásticas aquecidas simultaneamente e pressionadas contra o molde, que é constituído em duas partes, inferior e superior, usando o ar comprimido, formando a peça fechada e oca.

2.3.1 Termoformagem de chapas em PSAI

A termoformagem de peças em PSAI ocorre em equipamentos denominados termoformadoras, que geralmente são automáticas. O processo é dividido em 4 etapas (FERNANDES, 2004): sistema de alimentação, sistema de transporte de chapas, sistema de moldagem e sistema de estampagem.

Na Figura 2 é apresentado o *layout* de um processo de termoformagem, cujas as etapas são descritas nos itens a seguir.

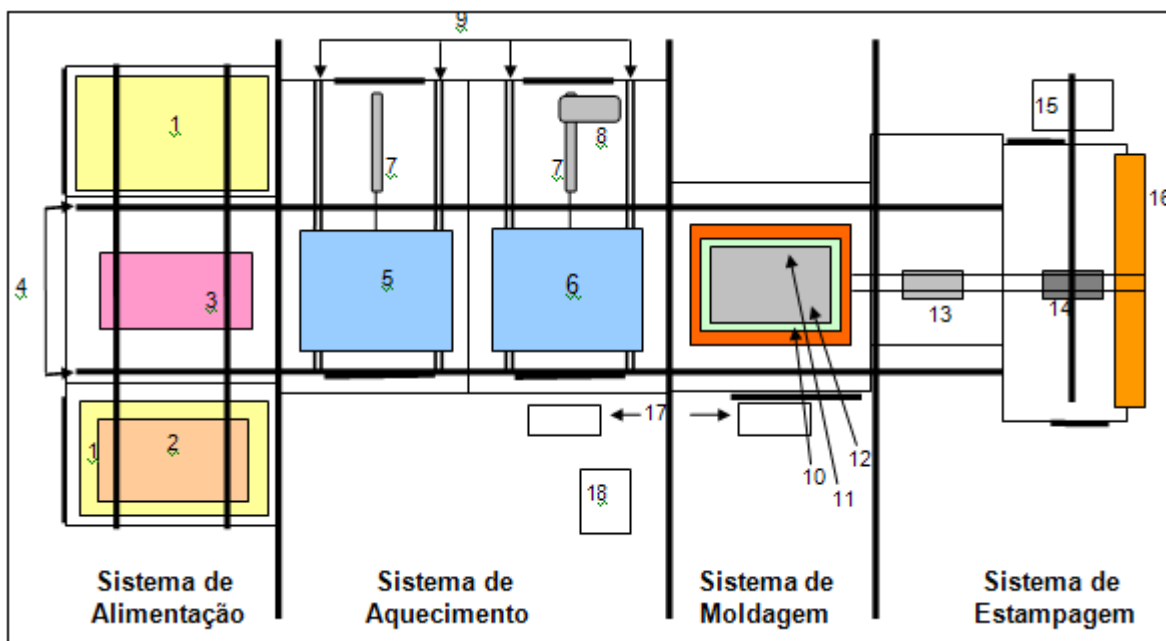


Figura 2 - *Layout* de um processo de termoformagem.

Fonte: Fernandes (2004).

Legenda:

1 - Carro do fardo de chapa, 2 - Alimentador de chapas, 3 - Centralizador de chapas, 4 - Transporte, 5 - Pré-aquecimento, 6 - Aquecimento, 7 - Cilindros de avanço/recuo dos aquecimentos, 8 - Reservatório de vácuo, 9 - Guia das caixas de aquecimento, 10 - Quadro inferior, 11 - Quadro superior, 12 - Molde, 13 e 14 - Carro de transferência, 15 - Mesa de inspeção da peça, 16 - Monolama de corte, 17 - Carro do molde e 18 - Painel de controle.

2.3.2 Sistema de alimentação das termoformadoras

O sistema de alimentação é responsável pela alimentação das termoformadoras com chapas plásticas extrudadas, ou seja, a empilhadeira abastece a máquina com chapas plásticas e o sistema pneumático de ventosas transporta as mesmas para o interior da termoformadora (Figura 3).

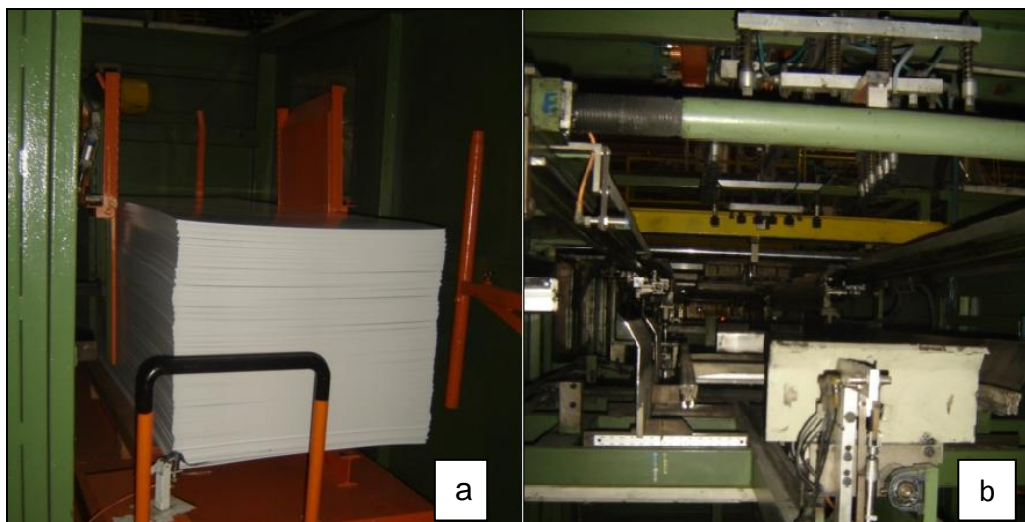


Figura 3 - Sistema de alimentação: (a) fardo de chapa e (b) sistema de ventosas.
Fonte: Primária (2010).

2.3.3 Sistema de transporte das termoformadoras

A próxima etapa de uma termoformadora é o sistema de transporte de chapas (Figura 4). Apresenta um sistema único que inicia na etapa de alimentação da máquina e segue até a etapa de estampagem, sendo responsável pela movimentação da chapa no interior da termoformadora (BLASS, 1988). A programação da máquina tem que estar bem sincronizada entre todas etapas da termoformadora, para que não haja irregularidades na qualidade da peça.



Figura 4 – Sistema de transporte da chapa plástica e da caixa interna conformada.
Fonte: Primária (2010).

2.3.4 Sistema de aquecimento das termoformadoras

O sistema de aquecimento é responsável pelo aquecimento da chapa para que ocorra o seu estiramento na etapa de moldagem. É dividido em 2 etapas: o pré - aquecimento, responsável por aquecer a chapa de uma forma macro; e o aquecimento, cuja finalidade é direcionar a energia onde a chapa vai precisar de maior maleabilidade no momento da conformação. O sistema de aquecimento é composto por resistências de vários materiais, como cerâmica, quartzo, etc. (FERNANDES, 2004).

A etapa de aquecimento pode ser realizada por meio de condução, convecção ou radiação, sendo a mais utilizada por radiação, pois permite uma melhor eficiência de aquecimento na chapa extrudada e uma melhor distribuição de energia na mesma (MICHAELI, 1992).

Na Figura 5 é apresentada uma fotografia da caixa inferior das resistências de aquecimento da termoformadora. Este sistema é movimentado por meio de avanço/recuo por um sistema pneumático.



Figura 5 – Sistema de aquecimento de chapas na termoformadora.

Fonte: Primária (2010).

2.3.5 Sistema de moldagem das termoformadoras

O sistema de moldagem é responsável pela conformação da peça, cuja função é dar forma à chapa extrudada por meio de vácuo. Seu funcionamento inicia pelo travamento da chapa aquecida com ajuda dos quadros superior e inferior. Logo em seguida, o ar é soprado para estirar da chapa, depois, o molde entra em contato com a chapa e a partir desse momento recebe uma pressão de ar positiva, em seguida recebe o “vácuo”, para retirar todo o ar existente entre o molde e a chapa, resultando assim na conformação da peça (HARADA, 1998; FERNANDES, 2004). Em seguida, é realizado o resfriamento da peça, o qual ocorre com a chapa em contato com o molde que possui a sua base refrigerada e com o auxílio de ventiladores.

Na Figura 6 é apresentada uma fotografia do molde de caixa interna de refrigeradores e a estrutura, dos quadros que pressionam a chapa no momento da conformação.



Figura 6 – Sistema de moldagem da termoformadora.

Fonte: Primária (2010).

2.3.6 Sistema de estampagem das termoformadoras

O sistema de estampagem é responsável por realizar o corte da peça deixando-as nas medidas exigidas pelo processo. O sistema é composto de um carro de transferência que leva a peça do sistema de moldagem até a monolama, um sistema composto de facas, cuja função é cortar a sobra das arestas da peça, depois, o *transfer* (sistema de ventosas pneumáticas) retira a peça do carro de transferência e a carrega até a esteira de inspeção (FERNANDES 2004), conforme apresentado na Figura 7 (a) e (b).

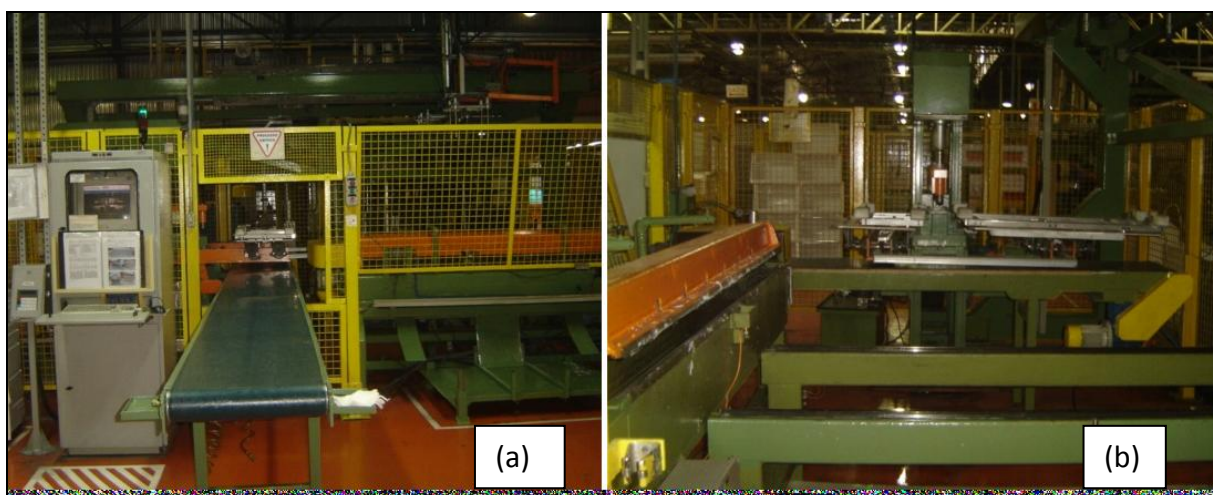


Figura 7 – (a) Sistema de inspeção, (b) Sistema de estampagem (Monolama).

Fonte: Primária (2010).

2.4 Dispositivos auxiliares na conformação de peças termoformadas

O plugue é um dispositivo mecânico que auxilia na moldagem da peça termoformada, sendo utilizado para moldes com detalhes de alta complexidade de conformação (FERNANDES, 2004).

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). Existem dois tipos de plugues, os fixos e os móveis. Os fixos, geralmente, são presos no quadro do molde e auxiliam a moldagem nos cantos da peça, enquanto os móveis podem ser fixados no quadro superior que sobe e desce por comando no sistema ou acionados por cilindros pneumáticos.

Na maioria das vezes os plugues são confeccionados em material isolante. No entanto, para melhorar o processo, alguns tipos são revestidos com feltros, que com o passar do tempo são danificados com o processo e devem ser trocados (FERNANDES, 2004).

O momento de aplicação do plugue está relacionado ao instante no ciclo de conformação em que o mesmo se move para a região do molde. Quanto antes ocorrer o início do seu deslocamento, maior será a concentração de matéria-prima naquela região. Isto pode ser atribuído ao fato de que o plugue começa a deformar a chapa antes que ela seja conformada nas cavidades do molde (HARRON, 2002).

Podem-se utilizar plugues para diversas finalidades na moldagem, primeiro pré-estirando o material sem redução de sua temperatura, ou seja, sem contato com o molde. Segundo, pré-estirando o material para aproximar o plástico de seu formato final, resultando em uma peça moldada perfeitamente. Em alguns casos, somente vácuo e/ou pressão de ar são insuficientes para moldar o plástico se este não foi pré-estirado. E por último, evitar aparecimento de rugas em moldes machos utilizando plugues, com função de eliminar o excesso de material “rugas”.

Esse recurso se mostra indispensável em diversos moldes e peças, onde há alto estiramento da chapa, isto é, moldes altos, o que resulta em grandes diferenças de espessuras ao longo da peça. Como resultado final, o uso de plugues resulta em ganhos na qualidade da peça final e economia em matéria-prima, em função da redução da espessura das peças (HARRON, 2002).

3 Ferramentas de gestão e controle estatístico em processos produtivos

3.1 Cartas ou gráficos de controle

Os gráficos de controle representam uma das técnicas estatísticas que servem de apoio ao controle da qualidade de um processo, fornecendo evidências de suas variações tanto de caráter especial quanto de caráter comum. Permitem que se possa atuar no processo de forma preventiva, corrigindo possíveis desvios de qualidade, durante o processamento, não deixando que a situação de não conformidade ocasione uma possível reprovação de um lote final de peças, por exemplo (BASS, 2007).

É importante destacar que um gráfico de controle não permite a identificação de quais são as causas especiais de variação que estão atuando em um processo fora de controle estatístico, mas ele processa e dispõe informações que podem ser utilizadas na identificação destas causas (WERKEMA, 2000).

As cartas ou gráficos de controle (Figura 8) consistem em uma linha central (LC), um par de limites de controle, um dos quais se localiza abaixo (LIC) e outro acima da linha central (LSC), e valores característicos marcados no gráfico representando o estado de um processo.

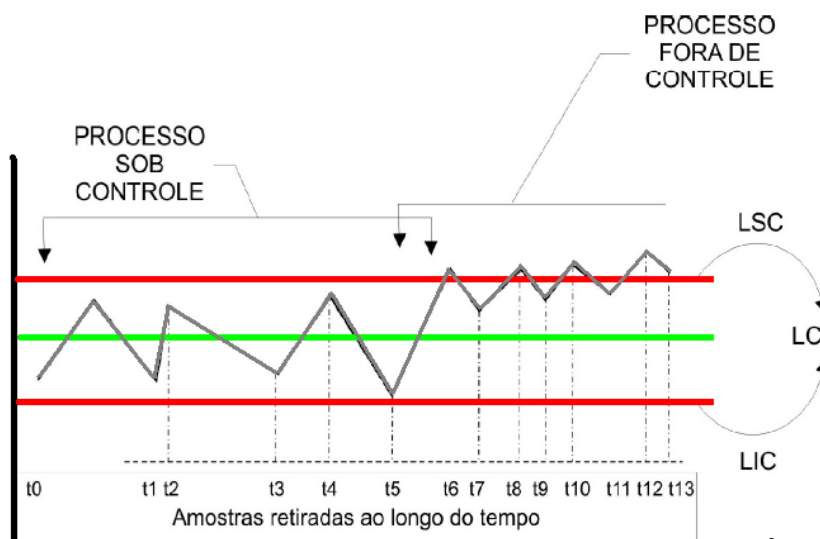


Figura 8 – Gráfico do processo sob controle e fora de controle.

Fonte: Machado (2008).

Se todos esses valores marcados estiverem dentro dos limites de controle, sem qualquer tendência especial e a disposição dos pontos dentro dos limites for aleatória, o processo é considerado sob controle. Entretanto, se os pontos ficarem fora dos limites de controle ou apresentarem uma disposição especial, o processo é julgado fora de controle (KUME,1993) .

3.1.1 Gráficos de controle X-barra.

Os gráficos de controle X-barra são utilizados para o controle de variáveis, cujas características de qualidade podem ser expressas por uma medida numérica, sendo aplicados para controlar a média de um processo (PANDE *et al.*, 2001). As distribuições de médias amostrais tendem à distribuição normal com o aumento do tamanho da amostra. Isto significa que, se o processo está sob controle estatístico, a distribuição das médias amostrais dos subgrupos, segue aproximadamente a distribuição normal. Ao construir as cartas de controle assume-se que o modelo normal pode ser utilizado para se avaliar a performance esperada. Os limites de controle podem, então, ser considerados em múltiplos de desvios-padrões, podendo ser de ± 3 sigma (σ) da distribuição das médias amostrais numa situação estável ou sob controle. As fórmulas e constantes usadas para calcular os limites de controle, determinam que os pontos que estão dentro da faixa de ± 3 sigma da média estão sob controle. A análise de padrões assume que aproximadamente 99,73% estarão na faixa de ± 3 sigma.

O gráfico de controle das médias X-barra, de amostras de tamanho n , extraídas de uma população normal, com média μ e desvio-padrão σ é construído, marcando-se no eixo das ordenadas a linha média (Eq. 2), o limite superior de controle (Eq. 1) e o limite inferior de controle (Eq.3) (BASS, 2007), onde:

$$LSC = \mu + \frac{3\sigma}{\sqrt{n}} \quad \text{Eq. 1}$$

$$LM = \mu \quad \text{Eq. 2}$$

$$LIC = \mu - \frac{3\sigma}{\sqrt{n}} \quad \text{Eq. 3}$$

3.1.2 Gráficos de controle para variabilidade R

Segundo Kume (1993) e Rotondaro (2002), é muito importante construir um gráfico de controle para monitorar diretamente a variabilidade do processo, já que esta contribui para a qualidade do produto. Um gráfico R, representando a amplitude do subgrupo, é geralmente usado em combinação com um gráfico X-barra, para controlar a variação de um subgrupo. Na prática, os limites de controle são calculados usando a teoria ilustrada na tabela de coeficientes de Shewhart (Tabela 2). Entre várias alternativas, o gráfico das amplitudes (R) é o mais comum para monitorar variabilidade, a média das amplitudes é a linha central do gráfico e os limites de controle são calculados a partir das seguintes equações 4, para LSC e 5 para LIC.

$$LSC := D_4 \bar{R} \quad \text{Eq. 4}$$

$$LIC = D_3 \bar{R} \quad \text{Eq. 5}$$

Tabela 2 - Coeficientes para os gráficos de controle.

Tamanho da amostra = n						
n =	d ₂	D1 (DP)	D2 (DP)	D3 (R)	D4 (R)	A2 (X̄)
2	1,128	0	3,686	0	3,267	1,880
3	1,693	0	4,358	0	2,575	1,023
4	2,059	0	4,698	0	2,282	0,729
5	2,326	0	4,918	0	2,115	0,577
6	2,534	0	5,078	0	2,004	0,483
7	2,704	0,205	5,203	0,076	1,924	0,419
8	2,847	0,387	5,307	0,136	1,864	0,373
9	2,970	0,546	5,394	0,184	1,816	0,337
10	3,078	0,687	5,469	0,223	1,777	0,308
11	3,173	0,812	5,534	0,256	1,744	0,285
12	3,258	0,924	5,592	0,284	1,716	0,266
13	3,336	1,026	5,646	0,308	1,692	0,249
14	3,407	1,121	5,693	0,329	1,671	0,235
15	3,472	1,207	5,737	0,348	1,652	0,223
20	3,735	1,548	5,922	0,414	1,586	0,180
25	3,931	1,804	6,058	0,459	1,541	0,153

Fonte: Rotondaro (2002).

Legenda:

- (n) Tamanho de amostra: número de repetições em cada; (R) Amplitude da amostra: diferença entre os valores extremos obtidos nas repetições; (D1, D2, D3 e D4): são coeficientes tabelados em função do número de repetições (n); A2: é um coeficiente tabelado em função do número médio de repetições (n).

3.1.3 Estatísticas do processo Seis Sigma

O termo Sigma refere-se a uma medida de pontos em torno de uma média (desvio-padrão) gerada por um determinado processo ou sistema, de modo que o termo seis indica o número de desvios-padrões que um processo deve conter entre a sua média e os requisitos do cliente para ser considerado um processo Seis Sigma (MACHADO, 2008). Na Figura 9, estão ilustrados, graficamente, os níveis de desvio-padrão, considerando que a média do processo permanece no centro, em relação às especificações ($\mu = 0$).

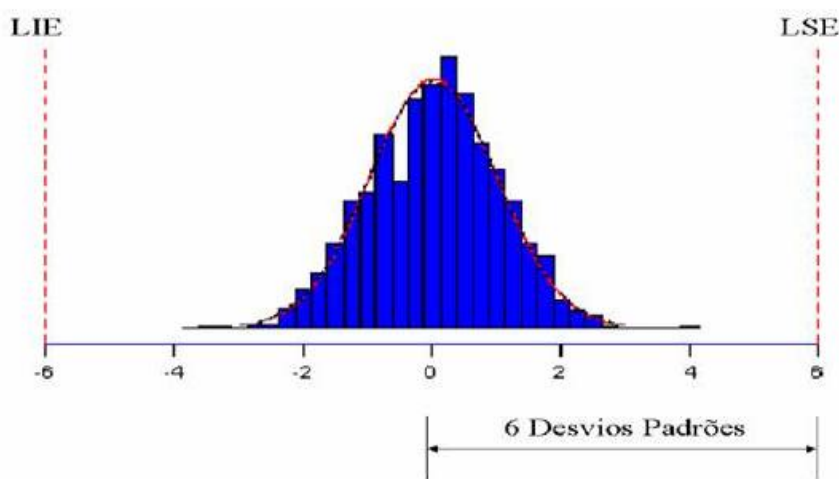


Figura 9 – Gráfico ilustrativo do processo com no mínimo 6 desvios-padrões, entre os limites de especificação superior e inferior, respectivamente LSE e LIE.

Fonte: Oliveira (2003).

O nível Seis Sigma requer que o processo opere de tal forma que o requisito de projeto é pelo menos Seis Sigma da média do processo. Em outras palavras, a conformidade Seis Sigma significa que um produto, um processo ou um serviço é 99,999999998% livre de defeitos, ou seja, para atingir a qualidade Seis Sigma, um processo deve produzir no máximo 3,4 defeitos por milhão de oportunidades. Uma "oportunidade" é definida como uma hipótese para não conformidade ou não cumprir as especificações requeridas (WERKEMA, 2000).

É necessário estar perto da ausência de defeitos na execução dos processos-chave. Quanto maior o sigma, menos defeitos, ou seja, quanto maior a

variabilidade no processo, maior a probabilidade de ocorrerem defeitos (ROTONDARO, 2002).

De acordo com Machado (2008), devido à necessidade de se obter produtos cada vez mais com qualidade, vários movimentos voltados à melhoria da qualidade nos processos surgiram, cada um, usava procedimentos definidos e ferramentas clássicas da qualidade. Esses procedimentos são baseados em métodos científicos e tem como etapas: observar, medir, analisar e sintetizar.

Atingir o nível Seis Sigma é um desafio para qualquer organização. Não se pode esquecer que se trata de programas de longo prazo, é um processo de melhoria contínua no qual as organizações mais dedicadas levam cerca de 6 a 10 anos para atingir o nível requerido.

Metodologia Seis Sigma

A filosofia Seis Sigma consiste na contínua redução de variação através de uma metodologia que segue as etapas: Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar. Estes indicadores são a essência da metodologia Seis Sigma, na qual a atividade de medir corretamente é fundamental para o direcionamento de ações que possibilitem o alcance das metas estabelecidas (OLIVEIRA, 2003). Também, como uma metodologia estruturada por um conjunto de ferramentas estatísticas focadas na contínua diminuição da variação dos processos gerando resultados financeiros para a empresa com respaldo e gerenciamento dos níveis mais altos da estrutura hierárquica da organização (OLIVEIRA, 2003).

É uma das estratégias mais potentes desenvolvidas para desencadear melhorias em processos, produtos e serviços, bem como para radicalmente 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 (DRUMMOND, 1994).

As formas mais comuns de expressar a variabilidade são as medidas estatísticas da amplitude, da variância e do desvio padrão (MARANHÃO, 2001). O uso de técnicas estatísticas pode ajudar no entendimento da variabilidade e, desta

forma, auxiliar as organizações a resolverem os problemas de melhoria na eficácia e eficiência.

Ferramentas Seis Sigma

O Mapa de processo é uma ferramenta que deve inicialmente documentar como acontece o fluxo de todo o processo, todas as operações que agregam valor ou não devem ser incluídas, isso irá facilitar a realização da quantificação e priorização do processo (PALADINI, 1995). Todo produto é resultando do processo, por isso todas as ações do processo produtivo devem dar ênfase tanto na qualidade, quanto na eliminação de feitos e redução de retrabalhos.

Para o bom desenvolvimento desta ferramenta é fundamental conhecer o processo de maneira a constatar as diferenças entre o que se pensa que o processo é, como o processo foi idealizado e como o processo realmente é (SANDERS *et al.*, 1998).

Durante o mapeamento do processo é importante verificar e registrar as entradas e saídas de cada etapa do processo, bem como verificar a funcionalidade das respectivas especificações, assim como suas intervenções em fatores operacionais, ruídos, fatores controláveis, fatores externos e fatores operacionais.

A classificação das entradas auxilia na preparação do delineamento de experimentos, sendo que a participação dos responsáveis pelo processo (por exemplo: operador de máquina, supervisor de produção, engenheiro do processo, supervisor de manutenção, etc.) é fundamental para maior confiabilidade da informação. Um mapa de processo deve permitir uma visualização dos seguintes itens (HARRY, 1994): (1) principais atividades do processo; (2) variáveis de entrada; (3) criticidade das entradas; (4) restrições do processo (por exemplo gargalo); (5) retrabalho e sub-processos; (6) saídas do processo. Segundo Werkema (1999) os mapas são usados para se ter em documentos, os conhecimentos existentes nos processos, ou seja, onde começa e onde termina o processo, as atividades principais e os parâmetros do produto final.

A ferramenta do Sistema de Medição (MSE – *Measure System Evaluation*) identifica e quantifica as diferentes fontes de variação que afetam o processo de medição possibilitando uma ação direta nesta fonte para minimizar esta variação.

Antes do início da coleta de dados para as avaliações 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 de um estudo da avaliação do sistema de medição ou *measure system evaluation* (MSE) é prover uma visão geral sobre os erros de medição. Ao realizar um MSE compara-se a magnitude da variação do processo de medição com a magnitude da variação do processo de fabricação e busca-se conhecer as fontes de variação do processo de medição, conforme demonstrado na Figura 10. Dentro da metodologia Seis Sigma, busca-se realizar o MSE por uma seqüência de análises prática, gráfica e analítica (WHEELER, 1992). O MSE tem como objetivo verificar a variação entre as medições, sendo que o sistema de avaliação somente é aprovado quando são atendidas algumas premissas (WHEELER, 1992).

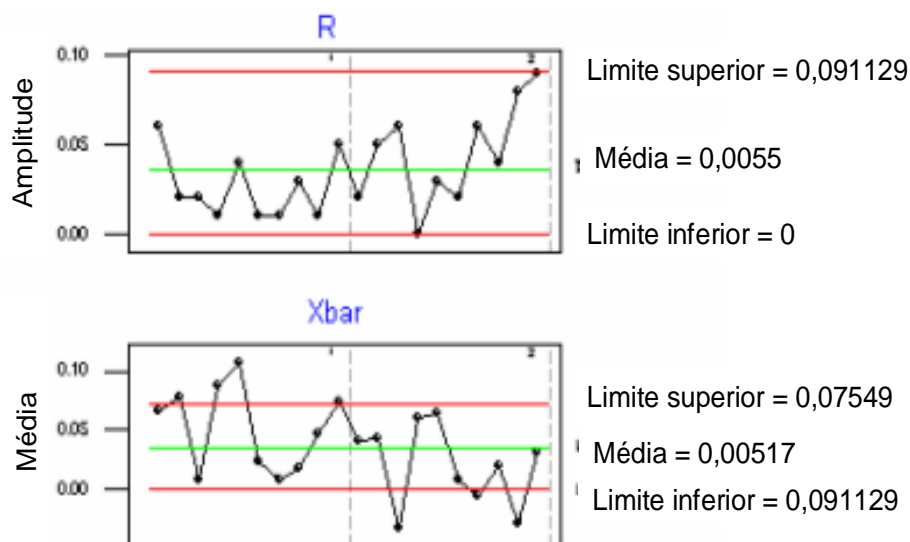


Figura 10 – MSE no processo de medição em uma operação de fresamento.

Fonte: Oliveira, (2003).

A avaliação do sistema de medição MSE compreende o uso das cartas de controle para avaliar os sistemas de medição, com base de dados para

adequadamente validar e calibrar os equipamentos de medição (MACHADO, 2008). As características importantes de um processo de medição são: 1) discriminação: capacidade do MSE de diferenciar entre medidas repetidas; 2) precisão/Repetibilidade: variação entre sucessivas medidas (dentro de subgrupo) na mesma peça com o mesmo operador com o mesmo instrumento de medição, ou seja, se a carta de controle X-barra estiver sob controle, então o MSE não pode distinguir entre as peças em estudo. A variação da medição ofusca qualquer variação do produto. Deste modo, qualquer melhoria no processo produtivo não será detectado, devido ao erro extremo de medição. Uma regra prática é mais de 75 %, das médias da peça deve estar fora dos limites de controle.

Assim como as cartas de controle identificam e quantificam as fontes de variação que afetam um processo, o MSE identifica e quantifica as fontes de variação que afetam o sistema de medição de uma forma mais abrangente.

A ferramenta componente de Variação (COV – *Component of Variation*), divide a variação geral do processo em proporções atribuíveis a causas em cada um dos vários estágios da árvore de amostragem. Por exemplo, a variação total do processo pode ser dividida entre um componente de variação “dentro da peça”, 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 (BRYDSON, 2000).

Para criar um COV, deve-se identificar os estágios hierárquicos em potencial, definir um plano de amostragem e analisar os dados com ferramentas gráficas. Em várias situações, não é possível confirmar a existência de efeitos sistemáticos antes de fazer a amostragem e a avaliação dos dados resultantes (MACHADO, 2008).

3.1.4 Casos de sucesso com aplicação das ferramentas Seis Sigma

De acordo com Goela e Chenb (2006), na General Eletric (GE), o Seis Sigma foi a ferramenta que consolidou uma estratégia empresarial de sucesso. Nos anos de 1996 e 1997, a GE investiu US\$450 milhões no treinamento de 5 mil

master black belts e *black belts*, e de mais de 60 mil *green belts*. A diretoria utilizou-se do Seis Sigma para fortalecer uma empresa já próspera, aprimorando alguns aspectos desenvolvidos pela Motorola. Obteve-se retorno de 750 milhões de dólares no final de 1998, aproximadamente 1,5 bilhões de dólares em 1999, e expectativa de obter mais de 5 bilhões de dólares na década seguinte (WELCH, 2005).

Na busca de uma história de sucesso a Allied Signal/Honeywell também aplicou a metodologia Seis Sigma. A empresa iniciou as suas atividades de melhoria da qualidade do início dos anos 90 e, por volta de 1999, estava economizando mais de 600 milhões de dólares ao ano, em função do amplo treinamento de funcionários em Seis Sigma e à aplicação de seus princípios (PANDE *et al.*, 2001). Segundo o autor, a empresa confere ao Seis Sigma “o mérito do aumento da produtividade em 6% em 1998 e de sua margem de lucro recorde de 13%”. A aplicação da Estratégia Seis Sigma na Allied Signal/Honeywell ajudou a empresa a ganhar o notório reconhecimento como a corporação mais bem diversificada, e a empresa aeroespacial global mais admirada.

Aplicações das ferramentas do Seis Sigma são raras em indústrias químicas, devido aos processos serem altamente não-lineares (KIM *et al.*, 2003). O processo de destilação de uma planta de recuperação de nafta, por exemplo, conta com mais de 25% do consumo total de energia consumida nas refinarias. Portanto, as melhorias com foco em energia das unidades de destilação são muito importantes para este setor. Em estudos realizados por Gonzalez *et al.* (2011), aplicando as ferramentas estatísticas do Seis Sigma no processo, foi possível reproduzir o desempenho energético da unidade de destilação através de modelos multivariados e mostrar o modo de operação otimizada, gerando uma economia esperada em aproximadamente 150.000 euros/ano.

De acordo com Pande *et al.* (2001), por meio da aplicação do Seis Sigma, o número total de funcionários da Motorola aumentou de 71.000 no ano de 1980 para mais de 130.000 em 1997. Nesse período, houve um crescimento de 5 vezes nas vendas, com lucros de quase 20% (vinte por cento) ao ano; economia acumulada decorrente do esforço Seis Sigma de US\$14 bilhões; e o preço das ações da companhia aumentou numa taxa anual de 21,3%.

Um exemplo da aplicação da ferramenta Seis Sigma no Brasil foi na Ford. Segundo Pinho (2005), os processos e resultados obtidos pela subsidiária brasileira da Ford mudaram profundamente após a implantação da Metodologia Seis Sigma, programa esse, adotado mundialmente pela montadora no ano de 2000. Buscando a satisfação dos clientes internos e externos, a metodologia é usada por todas as áreas da Ford brasileira. O programa ficou tão alinhado à estratégia da empresa, que uma área exclusiva foi criada para cuidar do tema. Na estrutura organizacional, cada área tem pelo menos um *black belt*, que coloca o Seis Sigma em prática, define projetos e metas. Um dos benefícios do Seis Sigma, foi a redução de 20% com os gastos de telefonia.

Outros exemplos de empresas que também aplicam o Seis Sigma com sucesso são: Asea Brown Boveri, Black & Decker, Bombardie, Dupont, Dow Chemical, Federal Express, Johnson & Johnson, Kodak, Sony, Toshiba, Whirlpool, entre outras (PINHO, 2005).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Visando redução no consumo de matéria-prima, energia e maior produtividade em caixas internas de refrigeradores da empresa Whirlpool S.A, optou-se por reduzir a espessura da chapa de poliestireno de alto impacto (PSAI) que origina a caixa interna do refrigerador modelo BRM 44 Maestro. Esse modelo foi definido para o estudo, pois a chapa que origina a caixa interna 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 redução de espessura das chapas de 4,2 para no máximo 4,0 mm, pois com espessuras menores não foi possível após a termoformagem das caixas, colocá-las dentro do gabinete do refrigerador, devido em alguns pontos não apresentarem resistência mecânica e sofrerem ruptura, conforme testes preliminares realizados.

4.1 Mapeamento do processo de fabricação da caixa interna

Antes de realizar a redução da espessura da chapa de PSAI, foi elaborado um mapa de processo visando à identificação de todas as etapas que poderiam influenciar na redução da espessura da chapa na extrusão e posteriormente da caixa interna na termoformagem. Para isto, realizou-se a hierarquização de cada etapa empregada nestes processos para então atuar na etapa que poderia oferecer mais oportunidades para o desenvolvimento do estudo, conforme apresentado no fluxograma da Figura 11.



Figura 11 – Fluxograma das etapas do processo.

Os principais fatores e ruídos que influenciam no processo de conformação da caixa interna na termoformagem, desde a extrusão do PSAI em forma de chapa, foram identificados a partir do mapa de processo, conforme procedimentos adotados por Hunt (1996), o qual foi elaborado a partir de reuniões com a área de manufatura (operadores/técnicos) e de engenharia de processos da empresa. No mapa, foram representados pela letra “X”, todas as variáveis do processo que poderiam influenciar na redução da espessura da chapa e, posteriormente, na sua conformação em caixa interna, como ruídos (R), fatores controláveis (C), fatores externos (N) e fatores operacionais (POP), e pela letra “Y”, as variáveis de respostas.

4.2 Redução da espessura da chapa plástica no processo de extrusão

A extrusora utilizada para a obtenção das chapas com espessura reduzida foi a Extrusora 6 da Fábrica 2, de rosca dupla de fuso 75 mm, da marca americana Davies, com capacidade produtiva de 650 kg/hora de empilhamento automático, conforme demonstrado na Figura 12.



Figura 12 – Extrusora 6 da Fábrica 2, de rosca dupla, da marca americana Davies.

O processo foi iniciado pelas dosagens de matérias-primas de acordo com os parâmetros de qualidade exigidos pela empresa. As matérias-primas, apresentadas na Figura 13, foram alimentadas em um misturador com dosagem gravimétrica direto na extrusora, na composição de 27% de PSAI reprocessado (*scrap*), 70% do mesmo em material virgem e 3% de concentrado de cor. O teor de borracha nas resinas de PSAI era limitado a 14% em massa, devido à alta viscosidade do meio.



Figura 13 – Matérias-primas utilizadas no processo de extrusão das chapas, (a) PSAI, (b) Concentrado de cor e (c) *Scrap* (material reprocessado).

Na extrusora, a mistura foi submetida a uma temperatura média de aproximadamente 180 °C, sendo empurrada por uma rosca refrigerada internamente com água a 21 °C, a fim de evitar a queima do material, até a matriz, conforme mostrado nas Figuras 14 (a) e (b).

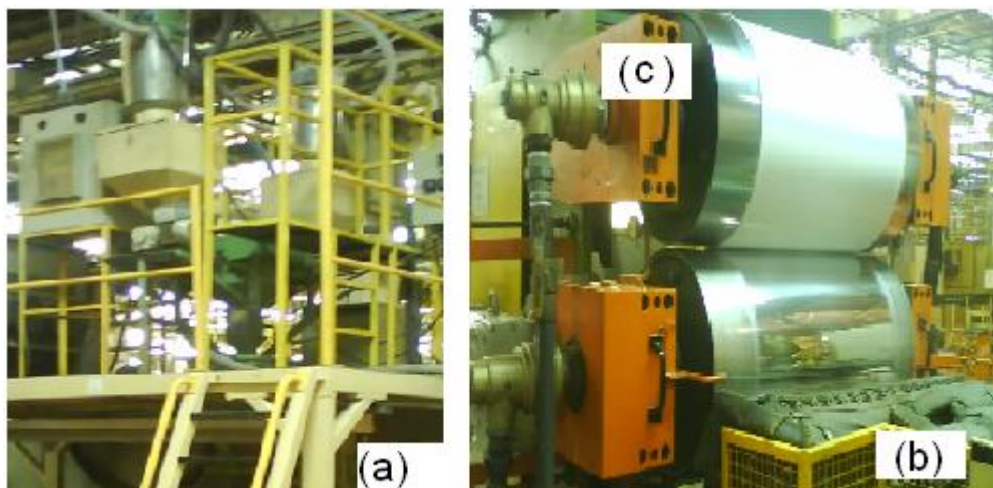


Figura 14 – (a) Dosadores de matérias-primas, (b) matriz da extrusora e (c) rolos laminadores.

Ao sair da matriz da extrusora (Figura 14 b), cuja função é dar a forma ao material extrudado, o material foi submetido a uma temperatura de 210 °C e, em seguida, foi puxado por 3 rolos laminadores (Figura 14 c), chamados de calandras, na velocidade de 3,2 rpm, dimensionados entre si para se obter espessura de chapa de 4,0 mm. Os laminadores/calandras foram refrigerados internamente com água a 30 °C, para evitar que o material aderisse na sua superfície. A confecção da chapa em PSAI foi iniciada empregando essas condições operacionais no processo. Na seqüência, na parte superior e inferior da mesa de roletes da laminadora, 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. Por ser um processo contínuo e necessitar de sincronismo entre o rolo puxador e as calandras, a fim de evitar que o material ficasse estirado ou com excesso de material na própria chapa, a velocidade foi a mesma da calandra, ou seja, de 3,2 rpm.

Após passar pela guilhotina, o material foi submetido ao corte de comprimento, cujo procedimento foi regulado por um sensor localizado após a guilhotina. Para o modelo escolhido BRM 44, a chapa possui regulagem de 4,0 x 825 x 2000 mm, com um peso de aproximadamente 7 kg.

Foi produzido neste processo, um lote de 200 chapas extrudadas em PSAI com espessura de 4,0 mm, visando avaliar as possíveis alterações na conformação

da caixa interna após redução da espessura da chapa e a influência na qualidade das peças e produtividade do processo. Para isto, foram realizadas nestas peças, medições de espessura e de cor.

As medições de espessura foram efetuadas por amostragem quantitativa, utilizando-se um micrômetro digital, modelo convencional da Mitutoyo IP65, como demonstrado na Figura 15. As medidas foram realizadas em 3 pontos de uma das extremidades da chapa, em uma divisão simétrica entre os pontos, ou seja, uma no meio da chapa e as outras duas próximas de cada vértice, sendo que o limite de variação permitida pelo processo é de $\pm 0,05$ mm.

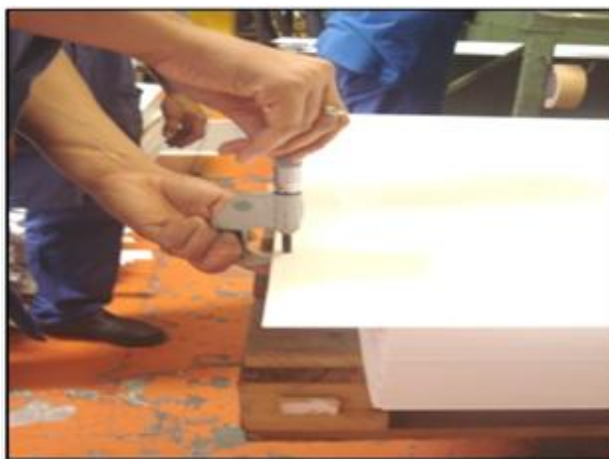


Figura 15 – Medida da espessura da chapa em PSAI por micrômetro.

A cor das chapas foi determinada por colorímetro da marca Coloreye XTH Gratagmachetc no laboratório do departamento de extrusão da empresa Whirlpool S.A., conforme mostrado na Figura 16. Esta análise foi realizada uma vez que as chapas podem sofrer amarelecimento, causado por degradação térmica, devido à redução de massa após a redução de espessura de 4,2 para 4,0 mm e a estocagem das chapas ficarem ao ar livre. De acordo com normas internas da empresa, as chapas são consideradas adequadas para o processo, ou seja, brancas, quando apresentarem desvio de cor entre -0,5 até +0,5. Abaixo de -0,5 são consideradas chapas azuladas, e acima de +0,5, consideradas chapas amareladas. Ambos os casos não são aceitos pelo processo de extrusão, pois não seguem os critérios de qualidade propostos pela empresa, prejudicando a qualidade da peça no processo posterior de conformação da caixa interna.



Figura 16 - Medida da cor da chapa em PSAI por colorímetro.

Concluídas todas as etapas de extrusão e verificação da qualidade em relação aos parâmetros espessura e cor da chapa plástica, as mesmas foram transportadas por uma empilhadeira, até a área de termoformagem.

4.3 Conformação da caixa interna a partir da chapa plástica de espessura reduzida

O processo de termoformagem da empresa Whirlpool S.A divide-se em 5 sistemas: alimentação de chapas, transporte de chapas, aquecimento da chapa , moldagem e estampagem/corte, conforme descrito anteriormente.

Visando identificar as possíveis dificuldades que seriam encontradas para produzir a caixa interna com a chapa menos espessa, o lote de 200 chapas foi levado para a termoformadora para serem manufaturadas em caixas internas. As chapas foram então conformadas em uma termoformadora VF 42, da marca italiana Rigo, adotando os procedimentos da FIT (folha de instrução de trabalho) e do PP (parâmetros de processo - referente ao modelo BRM 44), fornecidos pela empresa, conforme o resumo apresentado na Tabela 3. Primeiramente, foram fabricadas 20 caixas até a estabilização do processo e depois foram fabricadas mais 6 peças para medição da espessura visando avaliar sua qualidade.

Tabela 3 – Parâmetros de processo na moldagem das chapas.

Parâmetro	Tempo de moldagem (s)
Tempo de estiramento (balão)	$2,0 \pm 1,0$
Tempo de vácuo	$27,0 \pm 5,0$
Resfriamento	$5,0 \pm 3,0$
Tempo de ciclo	52

A espessura das caixas foi obtida por ultrassom empregando um medidor da marca Panametrics Mickness, modelo Gage 25, conforme apresentado na Figura 17. Para ser considerada aprovada, segundo requisitos implantados pela área de qualidade e engenharia de processo da Whirlpool, 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 pode apresentar quebras, fissuras, transparências e ondulamentos em todo o seu perímetro influenciando na sua qualidade final.



Figura 17 - Determinação da espessura da caixa interna por ultrassom.

Após a avaliação da qualidade das caixas internas pelas medidas de espessura, verificou-se que em alguns pontos, a espessura da caixa interna

apresentou valores menores que 0,64 mm. Em função disto, realizou-se uma avaliação do sistema de medição MSE (*measure system evaluation*), uma ferramenta do Seis Sigma, utilizada para identificar em qual etapa do processo e/ou método (tais como, métodos de fabricação, peças ou turnos de trabalho) encontrava-se a maior variação de espessura.

4.4 Avaliação do sistema de medição - MSE (Measure System Evaluation)

Para avaliar as medidas que apresentaram maior variação na espessura da caixa interna, foram termoformadas as chapas com espessura de 4,0 mm, seguindo os mesmos procedimentos e parâmetros empregados para as chapas de 4,2 mm. Para isso, foram realizadas amostragens com operadores dos turnos da manhã (T01), da tarde (T02) e da noite (T03). Cada operador confeccionou 3 caixas com 4,0 mm de espessura, na quais foi medida a espessura nos 3 pontos que apresentaram a maior variação no primeiro teste (conforme item 4.2), sendo o primeiro ponto na lateral da caixa, o segundo ponto na parte inferior e o terceiro ponto na parte superior da caixa interna, resultando em 27 medidas por turno, ou seja, 81 medidas entre os 3 turnos, conforme demonstrado na árvore de amostragem da Figura 18.

Os dados obtidos no processo de medição foram dispostos em uma tabela (Tabela I do Apêndice A) e, a partir destes, geradas cartas de controle estatístico, visando à adequação do processo de medição nos requisitos da norma NBR ISO 9001:2000.

Para a análise estatística e de comparação dos dados obtidos no MSE e apresentados na carta de amostragem, foi utilizado o software Jump (pertencente à empresa), o qual é utilizado para calcular e demonstrar graficamente a variação de um processo.

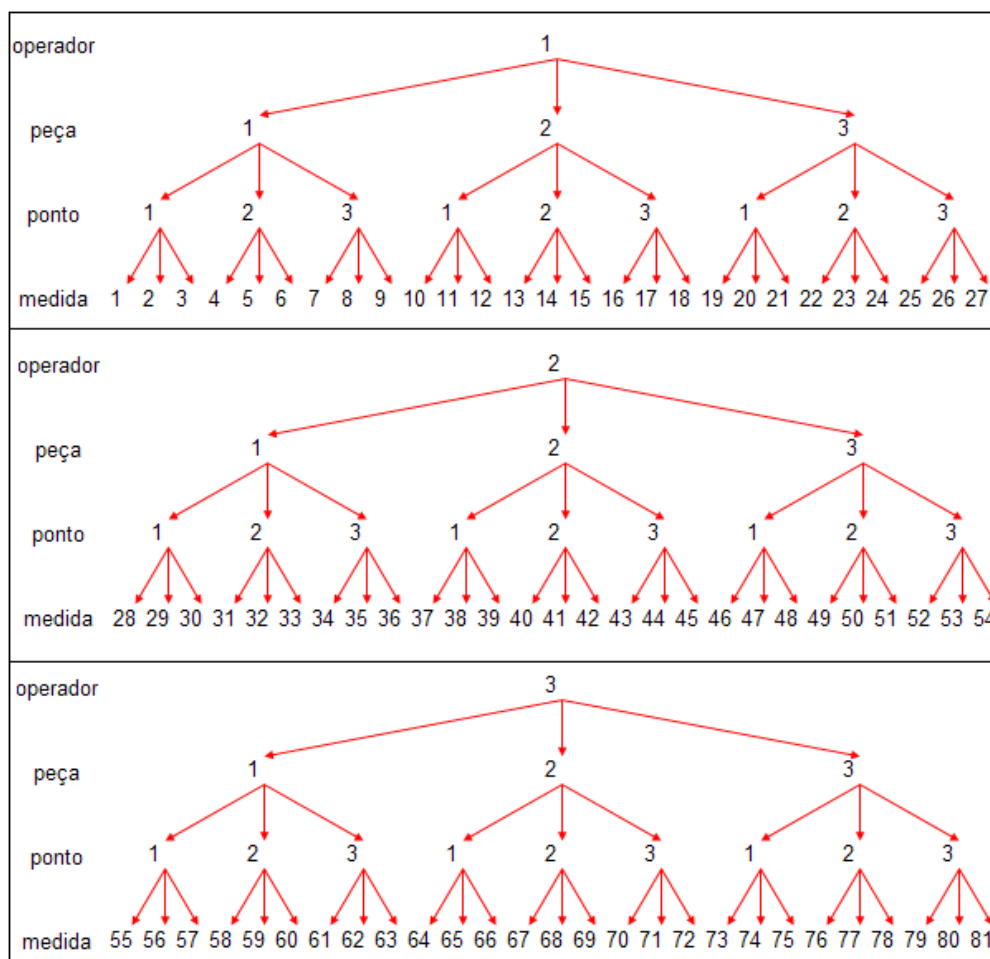


Figura 18 – Árvore de amostragem das medidas de espessura.

Depois de analisadas as respostas gráficas das amostragens, verificou-se que a variação da espessura estava entre os pontos da caixa interna dos refrigeradores, ou seja, no lote piloto da chapa reduzida. A caixa interna termoformada a partir da chapa com espessura reduzida apresentou espessura fora dos padrões de qualidade da empresa, ou seja, menor que 0,64 mm, nos pontos de maior complexidade da peça. Por este motivo, optou-se em alterar o sistema de plugues fixos no processo de termoformagem, que se encontravam localizados nos vértices do quadro do molde que auxiliam na moldagem. Foi criado um novo modelo de plugues, uma vez que para reduzir a espessura da chapa plástica seria necessário melhorar o sistema de moldagem das termoformadoras. Sem alteração no processo de moldagem a caixa interna não apresentaria boa qualidade em alguns pontos.

4.5 Fabricação dos plugues conformadores

Para o molde piloto do modelo BRM 44, foram confeccionados e implantados 4 plugues de feltro fixos nos cantos do quadro do molde da caixa freezer, 4 plugues de feltro fixos no quadro da caixa refrigerador e 3 plugues de feltro em sistema rotativo, como mostrado na Figura 19.



Figura 19 - Plugues conformadores de Feltro: (a) fixos e (b) rotativos.

Depois, foram confeccionados 5 plugues de Ambatex e 5 de Teflon no formato dos trilhos do refrigeradores, ambos acionados por um sistema pneumático. Estes 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 plugues e do molde, conforme mostrado na Figura 20. A escolha de três materiais diferentes, como Teflon (polímero), Ambatex (aglomerado de pós de madeira) e Feltro (aglomerado de fibras têxteis), foi em função de se avaliar se os mesmos poderiam influenciar no processo de distribuição da matéria-prima na caixa interna, por serem materiais distintos em propriedades físicas e mecânicas e de baixo custo para o projeto, uma vez que esses materiais já eram utilizados em outros processos da empresa.

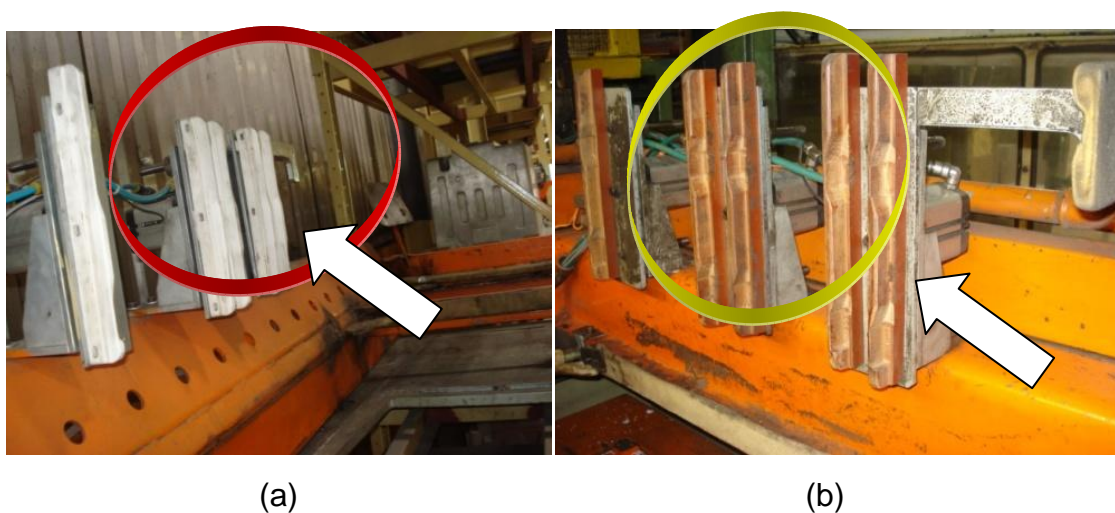


Figura 20 – Plugues acionados por cilindros pneumáticos: (a) de Teflon e (b) de Ambatex.

A distribuição dos plugues no molde foi realizada conforme a complexidade encontrada na moldagem da chapa com espessura reduzida. Todos os plugues foram usinados e instalados internamente pelo departamento de manutenção da empresa. A Figura 21 apresenta a distribuição dos plugues na moldagem.



Figura 21 – Distribuição dos plugues acionados no molde.

4.6 Fabricação das caixas internas com uso dos plugues conformadores

Conforme descrito anteriormente, a conformação das caixas com chapas de espessura reduzida sem uso de auxiliares na moldagem não foi eficiente, tornando-se necessário o uso dos plugues conformadores.

O teste de conformação das chapas plásticas empregando os plugues no molde do modelo BRM 44, foi realizado na mesma termoformadora descrita no item 4.3, modificando somente os parâmetros de processo de moldagem, partindo da 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. A termoformadora foi parametrizada conforme dados da Tabela 4.

Tabela 4 – Parâmetros de processo na moldagem das chapas com o uso de plugues.

Parâmetro	Tempo de moldagem (s)
Tempo de estiramento (balão)	$1,8 \pm 1,0$
Tempo de vácuo	$24,0 \pm 5,0$
Resfriamento	$5,0 \pm 3,0$
Tempo de ciclo	47

Esses parâmetros foram definidos por meio de ensaios, tendo como base, a regulagem do modelo com a espessura de chapa anterior, de 4,2 mm. Com esse parâmetro, a máquina foi parametrizada para trabalhar com chapa de 4,0 mm, buscando alcançar de uma forma homogênea espessura maior que 0,64 mm na caixa interna depois de conformada.

4.7 Análise do limite de variação COV (Component of Variation) das medidas de espessura

A ferramenta COV foi empregada para comparar graficamente a variação da espessura da caixa interna em relação ao método de conformação, com e sem o

uso dos plugues conformadores, partindo do resultado do MSE, que demonstrou que a maior variação da caixa interna estava entre os pontos de difícil conformação.

Na elaboração da árvore de amostragem, foram considerados operadores dos 3 turnos, manhã (1), tarde (2) e noite (3). Foram selecionadas amostras de 3 peças de cada operador, a partir das quais, foram confeccionadas 3 peças de 4,0 mm com o uso dos plugues (número 1) e 3 peças de 4,0 mm sem o uso dos plugues (número 2). Os pontos medidos foram os mesmos apresentados no MSE item 4.5, neste caso, totalizando 54 medidas, conforme apresentado na Figura 22.

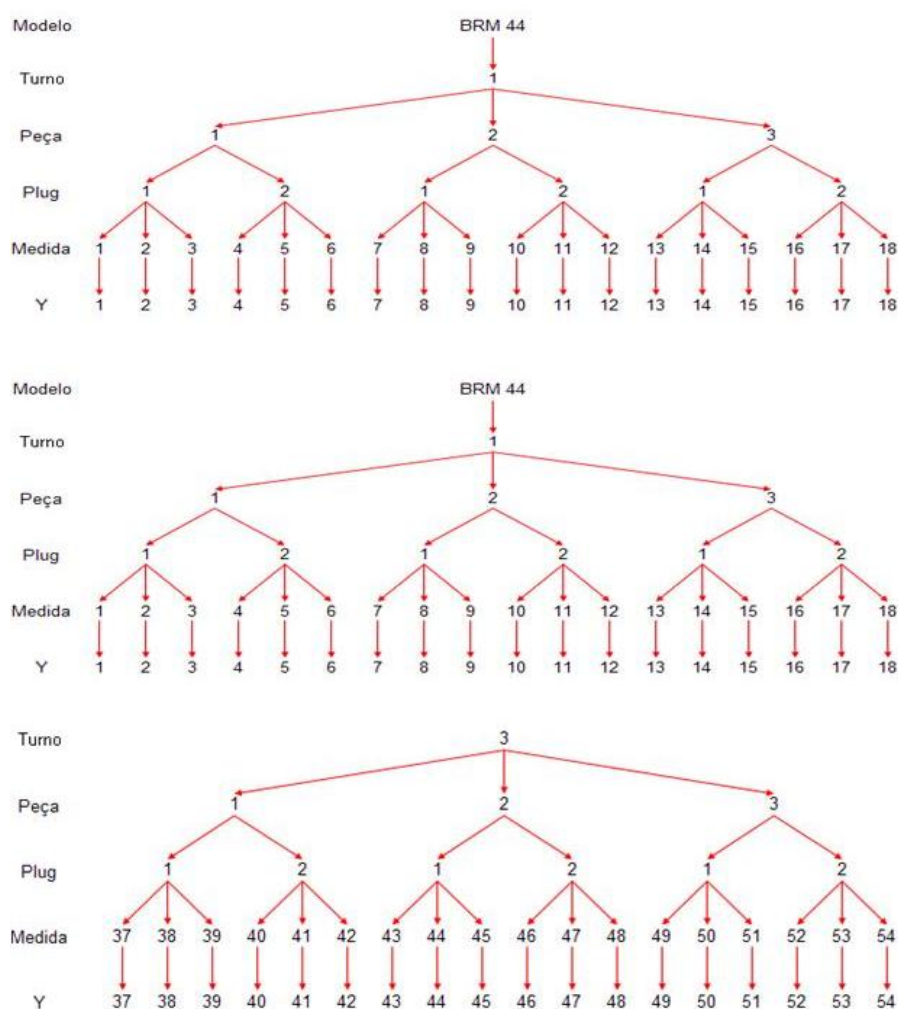


Figura 22 - Árvore de amostragem das medidas com plugues (1) e sem plugues (2).

As medidas obtidas e apresentadas na árvore de amostragem foram dispostas em uma planilha no Excel (dados apresentados no Apêndice B, Tabela 2)

e transpostas para o software Jump, no qual foi gerado um gráfico para determinar o limite de variação médio das medidas das peças entre os turnos, a fim de analisar a variação do processo com e sem os plugues e verificar se estavam dentro ou fora dos limites propostos pelo processo.

4.8 Ensaios mecânicos das amostras de caixa interna termoformadas com e sem uso de plugues

Nas linhas de montagem, as caixas internas já conformadas, são colocadas dentro dos gabinetes do refrigeradores, desta forma, necessitam apresentar uma boa resistência mecânica, para que as mesmas não apresentem fissuras ou quebras, conforme demonstrado na Figura 23. Para avaliar as propriedades mecânicas das amostras de caixas internas moldadas com e sem o uso dos plugues, foram realizados ensaios de tração.



Figura 23 – Conformação e colocação da caixa interna no gabinete do refrigerador BRM 44.

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), conforme apresentado no croqui do molde da caixa interna na Figura 24. Os ensaios foram realizados em 6 amostras das caixas (2 de cada ponto, conforme Figura 24) obtidas das chapas com espessura de 4,0 mm com e sem o emprego dos 3 tipos de plugues.

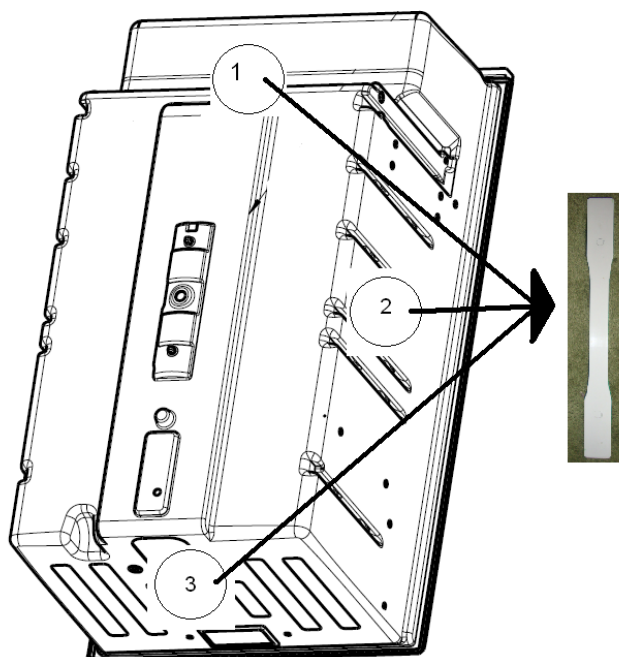


Figura 24 – Regiões da caixa interna, das quais foram obtidos os corpos de prova para os ensaios mecânicos.

O equipamento utilizado foi uma máquina de ensaio de tração, modelo MTS SINTECH 10/D, mostrada na Figura 25, utilizando célula de carga de 5000 N e extensômetro de 25 mm de abertura inicial e abertura total igual a 50 mm. A velocidade de ensaio foi de 5 mm/min. O sistema atende às normas ASTM D 638 e possui um registrador gráfico que contabiliza os dados em forma de diagrama de força versus deformação.



Figura 25 - Equipamento universal para ensaios MTS Sintech 10/D.

4.9 Ensaio de ciclagem térmica das amostras de caixa interna

O ensaio de ciclagem térmica das caixas internas produzidas com a espessura de chapa reduzida de 4,2 para 4,0 mm foi realizado para verificar a ocorrência de microfissuras que poderiam ocorrer durante a conformação da mesma e que não são detectadas durante a inspeção visual. Essas microfissuras podem ocasionar problemas futuros de qualidade do refrigerador durante seu uso na casa dos clientes. Foram analisadas 2 amostras de cada caixa interna com espessura de 4,0 mm, confeccionadas com o auxílio do plugue de Ambatex, Teflon e Feltro, totalizando 6 amostras. 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. Posteriormente, as amostras 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, conforme Figura 26.

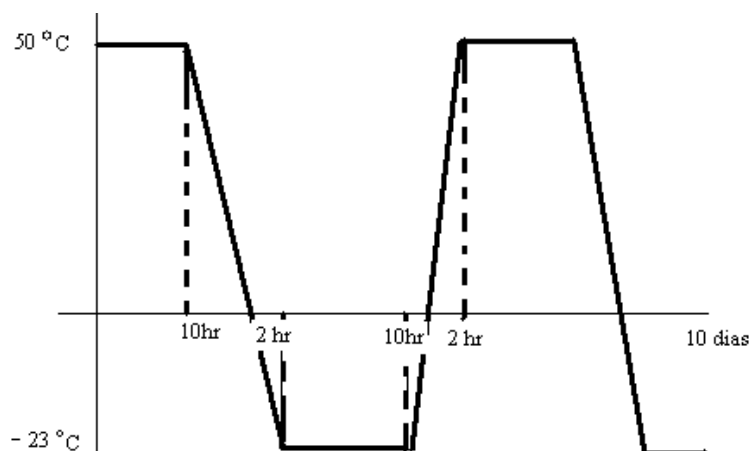


Figura 26 – Gráfico do tempo de Ciclagem Térmica.

Nas Figuras 27 A e B são apresentadas fotos de caixas internas reprovadas quando submetidas ao ensaio de ciclagem térmica e nas Figuras 27 C e D foto de caixas aprovadas. Geralmente, os defeitos ocorrem na região dos trilhos, conforme pode ser visualizado na Figura 27 A e B. Este problema tem sido contornado fazendo-se furos na caixa interna para a saída de ar nestas regiões.

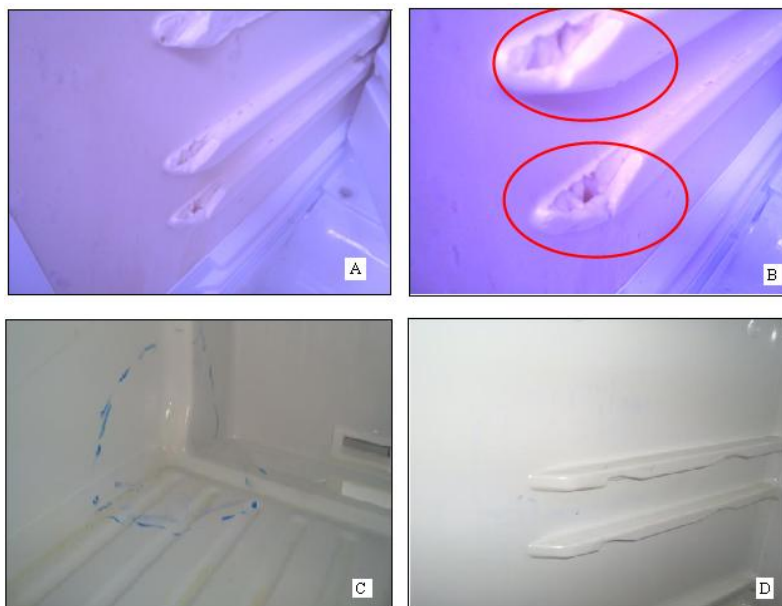


Figura 27 – Ciclagem Térmica: (A) e (B) amostras reprovadas e (C) e (D) amostras aprovadas.

4.10 Avaliação do consumo de matéria-prima e energia e de produtividade do processo

Foi realizado um levantamento do consumo de matéria-prima e energia e de produtividade na fabricação de caixas internas obtidas de chapas em PSAI com espessura de 4,2 mm e de 4 mm, visando avaliar os ganhos com as alterações realizadas no processo de fabricação.

4.10.1 Consumo de matéria-prima

Foi elaborada uma tabela no Excel com os dados obtidos na área de extrusão sobre a capacidade produtiva da extrusora 6, na qual foi produzido o lote de chapas com espessura reduzida de 4,2 para 4,0 mm. Na tabela, foram abordados os seguintes aspectos: massa da chapa antes e depois da redução da espessura, quantidade de chapas que foram produzidas com a espessura reduzida em 24 horas de produção e o percentual de redução de matéria-prima. O estudo econômico foi elaborado, visando avaliar em reais o ganho anual na compra do PSAI, de acordo com a seguinte expressão:

$$(custo\ atual\ x\ volume) = custo\ total\ atual - (custo\ futuro\ x\ volume) = redução\ total$$

4.10.2 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 2 partes:

Pré-aquecimento: que apresenta 80 resistências na parte inferior e 72 resistências na parte superior, com uma potência nominal de 600 W cada.

Aquecimento: com 112 resistências na parte inferior e 112 resistências na parte superior, com uma potência de 1000 W cada.

Para demonstrar os ganhos energéticos, foram elaboradas tabelas no Excel com os dados de aquecimento e pré-aquecimento da termoformadora, sendo que cada célula do Excel representa uma resistência elétrica, com o percentual de potência utilizada para a produção das chapas de espessuras de 4,0 mm sem o uso de plugues (Apêndice C, Tabela III), 4,0 mm com o uso de plugues (Apêndice C, Tabela IV) e 4,2 mm sem o uso de plugues (Apêndice C, Tabela V).

Com os resultados obtidos e apresentados nas tabelas, foram elaborados gráficos comparativos e mensurados os valores de cada processo, apresentando assim, o ganho percentual.

4.10.3 Produtividade

Para determinar os ganhos em produtividade, foi elaborada uma tabela no Excel com os dados de moldagem que influenciam na produtividade da termoformadora, a fim de comparar o processo de produção das chapas de espessura 4,0 mm, sem o uso de plugues; 4,0 mm, com uso de plugues; e 4,2 mm, sem plugues.

Foram demonstrados na tabela, a diferença produtiva dos 3 tipos de processo, levando em consideração 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.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Mapeamento do Processo

Na Figura 28 está apresentado o mapa de processo das etapas de extrusão e termoformagem. Observa-se pelo mapa, 20 problemas “X” relacionados às etapas de produção da caixa interna que podem influenciar na redução da espessura da chapa, e 4 problemas “POP” relacionados a fatores operacionais de regulagem de equipamento, tanto na extrusão como na termoformagem. Destes problemas, surgiram 22 variáveis de respostas “Y” que podem influenciar no início da fabricação da chapa na extrusão até a conformação de caixa interna na termoformagem. O mapeamento do processo permitiu conhecer em detalhe as entradas e saídas e os pontos críticos em cada etapa.

Todas as 4 etapas do mapa de processo apresentaram oportunidades de melhoria. Porém, a etapa de moldagem na termoformadora foi a que demonstrou sofrer maior influência em função da redução de espessura da chapa, pois é a última etapa de todo processo de transformação da chapa plástica em produto final. Nesta, geralmente, aparecerem os problemas de conformação, sendo assim, o trabalho foi direcionado para essa etapa, conforme destacado no mapa de processo com uma linha circular tracejada e demonstrado no Quadro 1. Segundo INNOVA (2011) e Ipiranga Petroquímica (2011), quando o produto apresenta moldagem incompleta e falta de nitidez nos detalhes da peça, muitos dos problemas estão relacionados com a qualidade do material e o processo de conformação da peça.

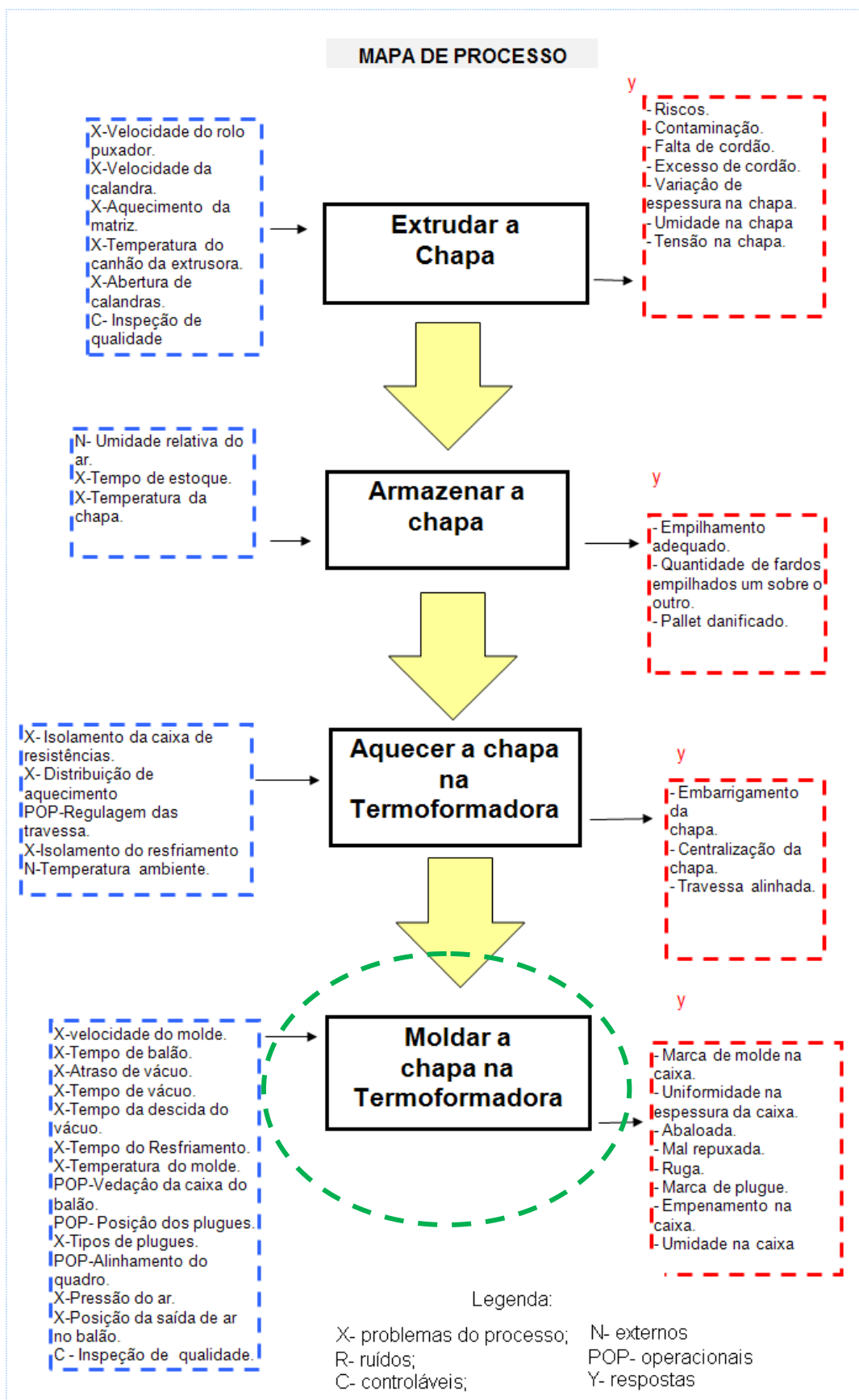


Figura 28 – Mapa de processo das etapas de extrusão e termoformagem.

Quadro 1 – Moldagem da chapa na termoformadora.

Problemas de moldagem	Defeitos relacionados
Velocidade do molde	- Marca de molde na peça, comprometendo a qualidade da mesma.
Tempo de balão	- Pode causar a não uniformidade na espessura da peça, causando uma má distribuição de material pelo molde.
Tempo de vácuo	- Abalada ou mal repuxada caso o tempo em que o vácuo fique ligado seja insuficiente.
Tempo do resfriamento da peça; Temperatura do molde	- Empenamento na peça aparece com a falta de resfriamento quando a mesma está em contato do molde. - Rugas na peça é resultado do excesso de aquecimento da peça, e a temperatura do molde não uniforme.
Tipos de plugues	- Os plugues precisam ser feitos de materiais isolantes e empregados em moldes de profundidades variáveis, para evitar a não uniformidade da espessura da peça conformada.

5.2 Identificação dos problemas na obtenção da caixa interna com a espessura da chapa plástica reduzida

A redução de espessura da chapa plástica na área de extrusão foi realizada a partir da configuração da máquina com os parâmetros determinados pela engenharia de processos da empresa, na qual chapas com espessura de 4,0 mm já eram produzidas para outros modelos de refrigeradores e não apresentaram problemas durante a conformação da caixa interna.

Após as medidas de espessura, foram encontrados 3 pontos na caixa interna, nos quais os valores ficaram abaixo de 0,64 mm, conforme apresentado na

Figura 29, demonstrando assim, 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 obter caixa com qualidade dentro dos padrões exigidos, sendo necessário realizar alterações na termoformagem.

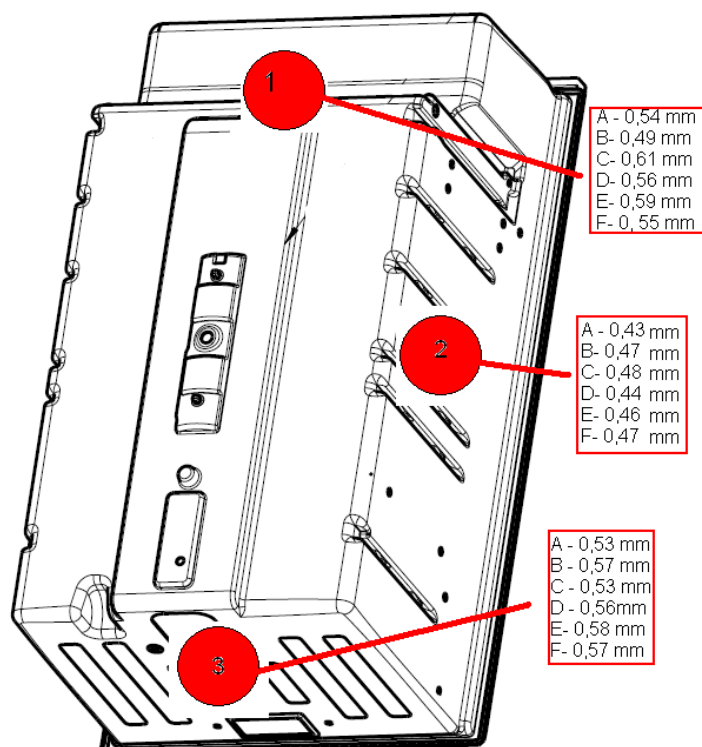


Figura 29 - Identificação dos pontos de maior complexidade na conformação da caixa interna após redução da espessura da chapa.

5.3 Avaliação MSE (Measure System Evaluation) das medidas entre pontos, peças e operadores

Para entender o que ocasionou o aparecimento de alguns pontos da caixa interna que não atingiram espessura maior que 0,64 mm, conforme item 5.2, foram confeccionadas novamente caixas internas com chapas de 4,0 mm, para a partir de um gráfico MSE (Measure System Evaluation) identificar se a variação de espessura estava relacionada entre métodos de fabricação (maneira como é produzida a caixa interna), peças ou turnos de trabalho.

No Gráfico 1 é apresentada a variação da espessura da caixa interna confeccionada a partir da chapa com espessura de 4,0 mm em função das medidas realizadas pelos operadores dos três turnos e nos 3 pontos da caixa interna.

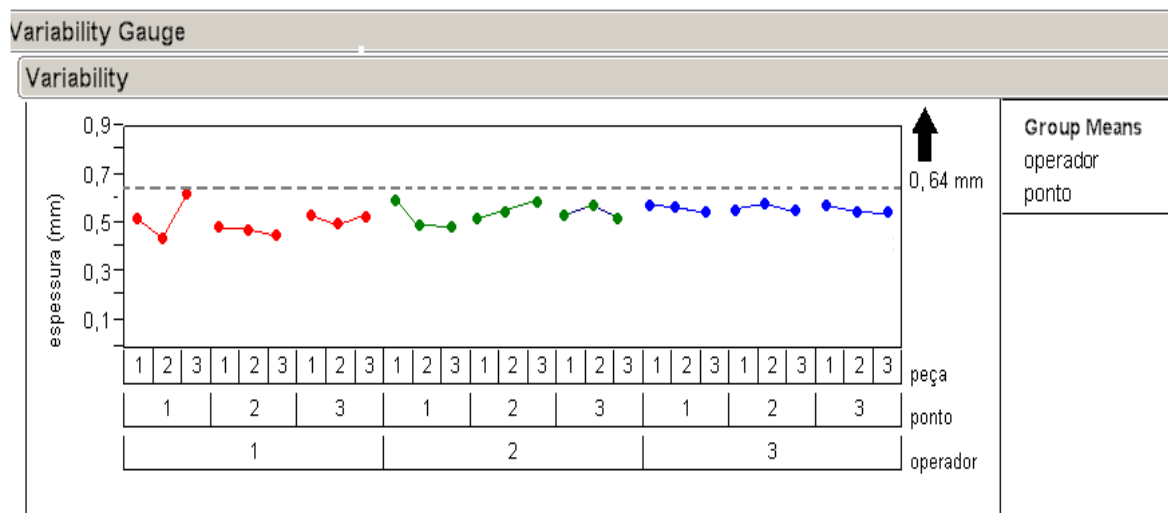


Gráfico 1 - Variação de espessura da caixa interna entre operadores e os pontos.

Verificando-se a variação entre pontos, nota-se que nenhum deles alcançou a linearidade entre si, ou seja, nenhum ponto ficou com a mesma espessura. Observando-se a variação relacionada aos operadores, apenas as medidas do terceiro operador aproximaram-se da linha mínima desejada, de 0,64 mm de espessura, que se encontra na cor preta e tracejada no gráfico.

No Gráfico 2 é apresentada a variação da espessura da caixa interna em função das medidas realizadas entre pontos e peças. Pode-se notar que existe uma variação entre peças muito grande, pois quase todos os pontos estão desalinhados entre si. Porém, dos dados de análise entre os pontos, verificou-se que houve um ponto de cada análise, próximo da linha mínima e outros bem dispersos. Essa discrepância é bastante considerável para a análise, indicando que não houve linearidade entre os pontos.

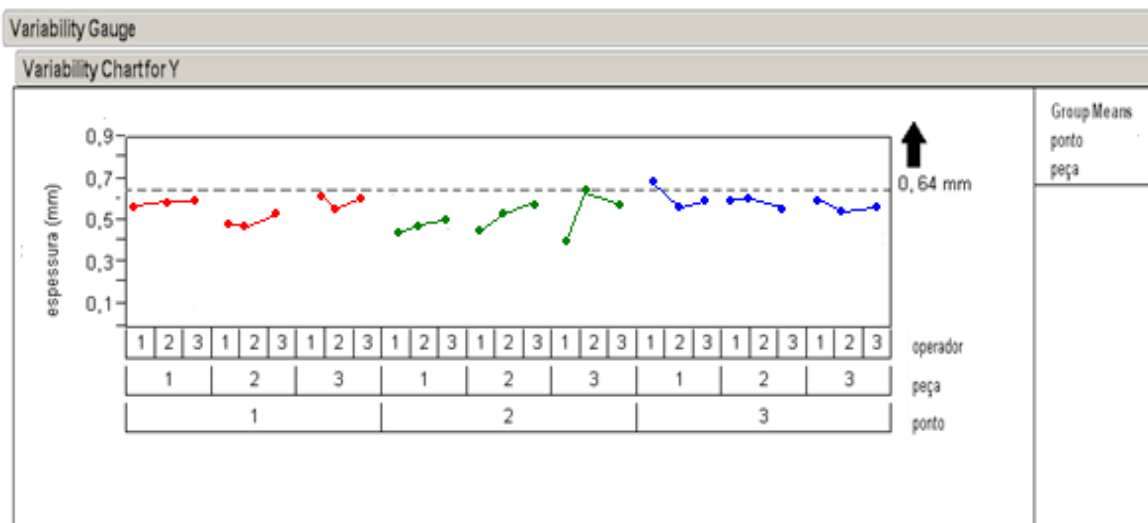


Gráfico 2 - Variação de espessura da caixa interna entre pontos e peças.

No Gráfico 3 é apresentada a variação da espessura da caixa interna em função das medidas realizadas entre operadores e peças. Verifica-se, que entre operadores a variação é pequena, pois todos os 3 operadores produziram caixas com a mesma espessura, ou seja, com valores próximos ao da linha de 0,64 mm, que representa o limite mínimo aceitável pelo processo. As peças do operador 1 apresentaram uma pequena variação nos valores de espessura quando comparada com as medidas realizadas pelos operadores 2 e 3.

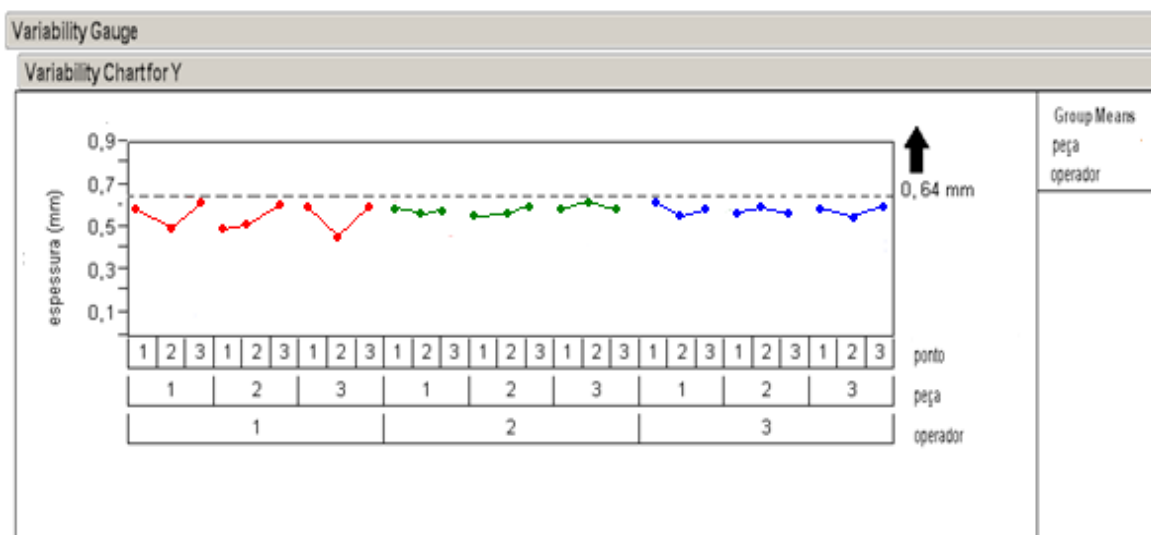


Gráfico 3 - Variação de espessura da caixa interna entre operação e peças.

Analisando-se os Gráficos 1, 2 e 3, 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, conforme dados apresentados na Tabela 1 do Apêndice A.

Estes resultados indicam a necessidade de adaptar o processo de termoformagem para garantir peças produzidas. Conforme descrito no capítulo Materiais e Métodos, neste estudo, optou-se por implantar plugues conformadores como auxiliares nesse processo.

5.6 Identificação dos limites de variação (COV - Component of Variation) das medidas de espessura com e sem o uso de plugues

Para se obter melhores resultados entre os pontos da caixa interna dos refrigeradores, foi realizada a análise dos limites de variação (COV) com dados dos pontos da caixa interna com e sem a utilização de plugues conformadores, a partir dos valores da Tabela 2 do Apêndice B. No Gráfico 4 é apresentada a variação média do processo de chapas de 4,0 mm com e sem o emprego de plugues conformadores de Ambatex, Feltro e Teflon, conforme apresentado no item 4.5.

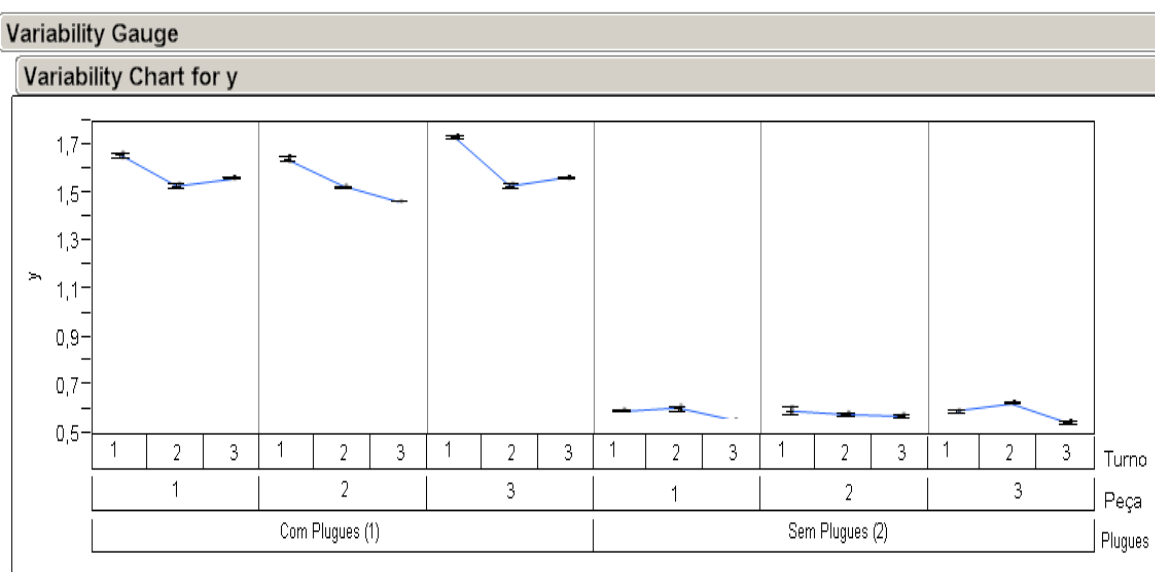
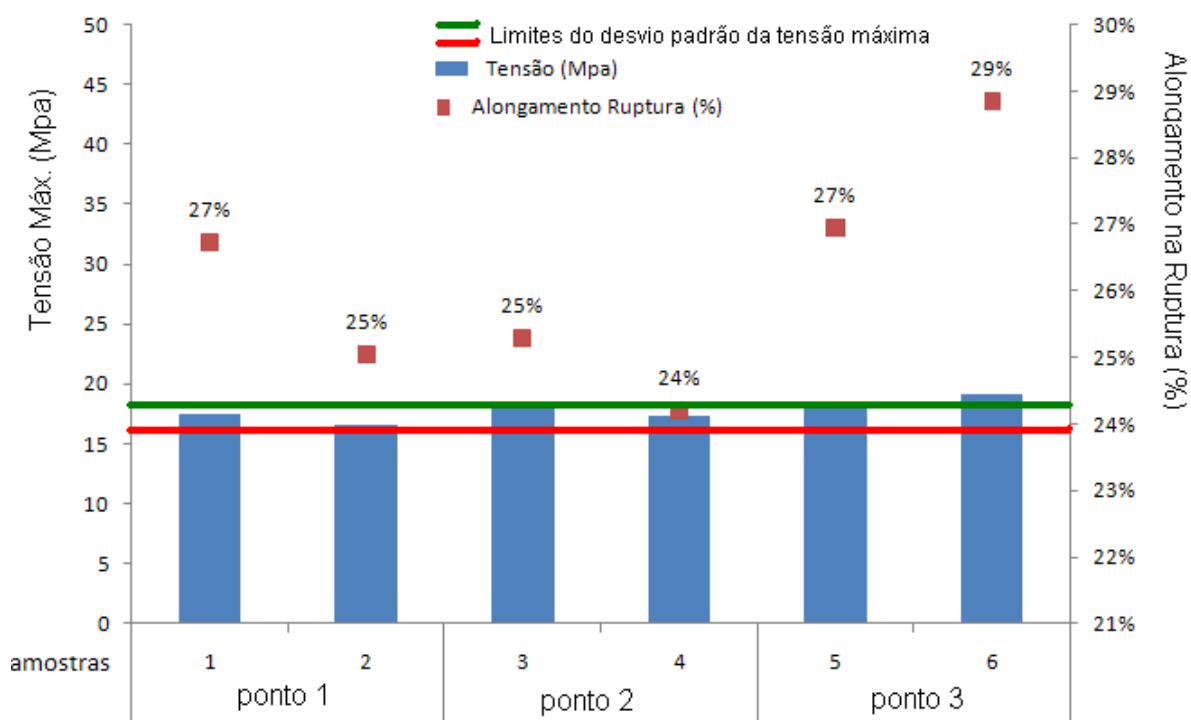


Gráfico 4 – Variação da espessura da caixa interna com a utilização de plugues (1) e sem os plugues (2).

Observa-se no Gráfico 4, que há uma diferença nos valores de espessura quando são utilizados os plugues conformadores (1) e quando os mesmos não são usados (2). As amostras das peças (1), (2) e (3), em todos os 3 turnos, obtidas com o uso de plugues apresentaram uma espessura média de 1,6 mm e as amostras obtidas sem os plugues (2) apresentaram uma espessura média de 0,62 mm, que deveria ser superior a 0,64 mm, para ser aprovada pela área de engenharia de processo da empresa. Como o objetivo era melhorar a distribuição de material nas regiões de difícil moldagem da caixa interna e obter uma espessura acima de 0,64 mm, observa-se que sem a utilização dos plugues (2) não foi possível obter a qualidade necessária para o emprego da peça na fabricação dos refrigeradores. Segundo Sors *et al.* (2002), o método de conformação com o auxílio dos plugues ou contramolde, reduz consideravelmente a variação inconstante de espessura da peça conformada. Este método é bastante empregado quando o molde tem profundidade variável, que é o caso dos empregados na fabricação da caixa interna de refrigeradores. Com esses dispositivos, podem ser obtidas peças com distribuição mais homogênea de material no molde, resultando em um produto acabado com melhor qualidade e, conseqüentemente, em diminuição de peças refugadas.

5.7 Propriedades mecânicas das caixas internas termoformadas com e sem uso de plugues

No Gráfico 5 estão apresentados os resultados dos testes de resistência à tração das 6 amostras de caixa interna que foram produzidas com o auxílio de plugue de Ambatex, a partir de chapas com 4,0 mm de espessura.

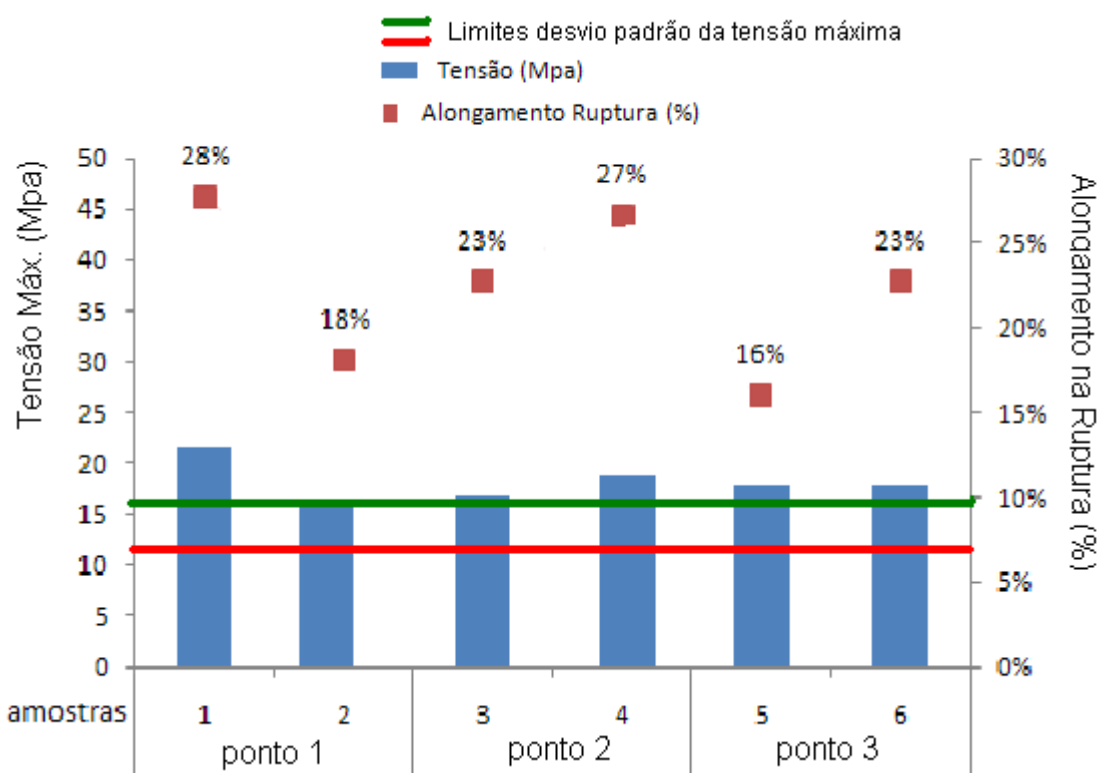


Amostra	Tensão (Mpa)	Tensão Média	Desvio	Quadrado dos desvios	Variância	Desvio padrão	Alongamento Ruptura (%)	Alongamento médio
Ambatex	17,5	17,7	-0,17	0,03	0,44	0,66	27%	26,18%
	16,6		-1,1	1,14			25%	
	17,9		0,2	0,05			25%	
	17,3		0,2	0,05			24%	
	18,8		1,1	1,28			27%	
	17,9		0,2	0,05			29%	
Soma dos quadrados dos desvios				2,61				

Gráfico 5 – Resistência à tração e alongamento na ruptura das amostras de caixa interna produzidas com plugues de Ambatex.

Analisando o Gráfico 5, observa-se que a variação de tensão na resistência à tração das 6 amostras foi pequena, entre 16,6 e 18,8 MPa. Porém, o percentual de alongamento foi discrepante, de 24 a 29%, com uma amplitude de variação de 5%. Este fato deve ter ocorrido em função da distribuição de material ocorrer de forma heterogênea, concentrando-se mais em algumas regiões da amostra que em outras.

No gráfico 6 são apresentados os resultados dos testes de resistência à tração e alongamento na ruptura das amostras de caixa interna que foram produzidas com o auxílio dos plugues de Teflon.

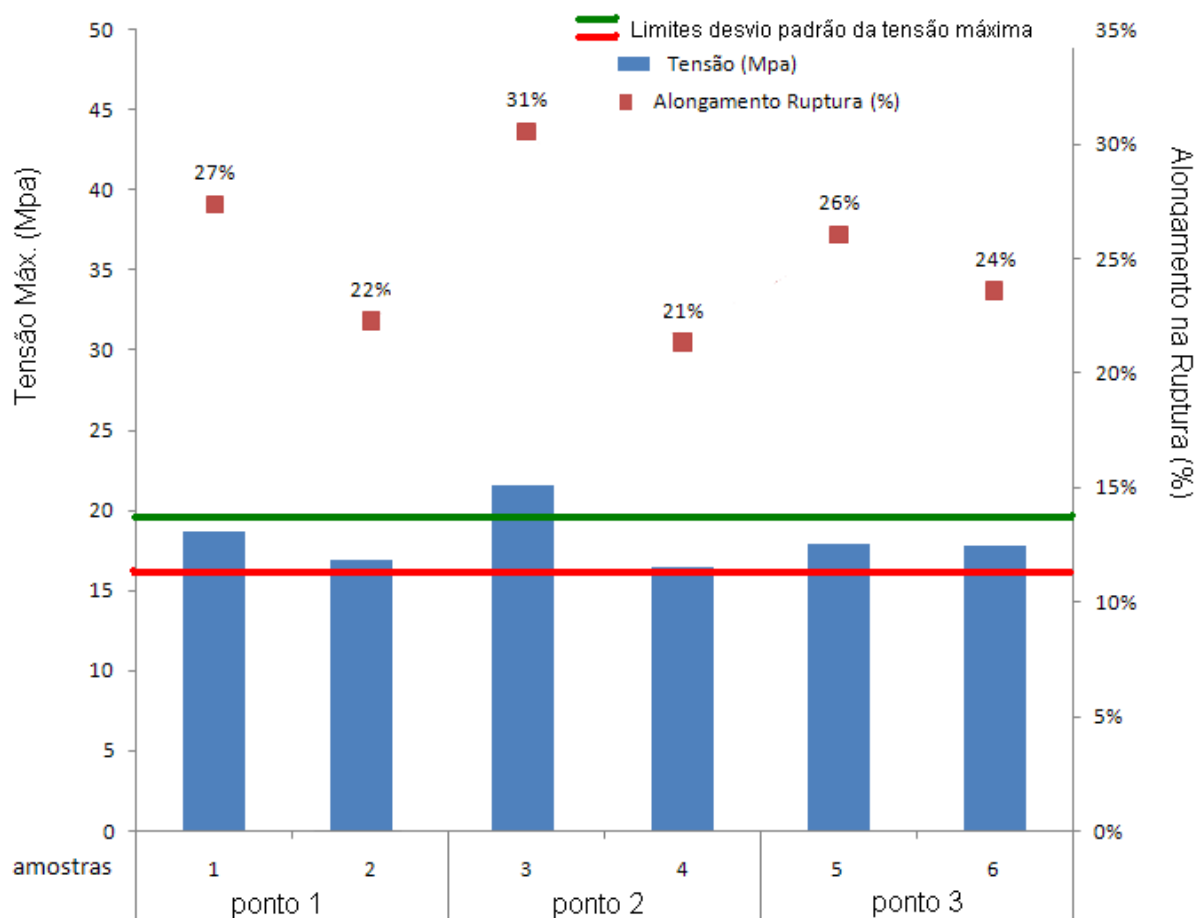


Amostra	Tensão (Mpa)	Tensão Média	Desvio	Quadrado dos desvios	Variância	Desvio padrão	Alongamento Ruptura (%)	Alongamento médio
Teflon	15,1	14,48333333	0,62	0,38	3,72	1,93	28%	22,30%
	12,7		-1,8	3,18			18%	
	13,3		-1,2	1,40			23%	
	13,7		-1,2	1,40			27%	
	13,7		-0,8	0,61			16%	
	18,4		3,9	15,34			23%	
Soma dos quadrados dos desvios				22,32				

Gráfico 6 – Resistência à tração e alongamento na ruptura das amostras de caixa interna produzidas com plugues de Teflon.

Verifica-se no gráfico 6, que a variação de resistência à tração foi entre 12,7 e 18,4 MPa, próxima aos valores obtidos para as amostras empregando plugues de Ambatex e o percentual de alongamento na ruptura foi baixo, variando entre 16 a 28%, com uma amplitude de variação de 12%.

No Gráfico 7 estão apresentados os resultados dos testes de resistência à tração e alongamento na ruptura das amostras de caixa interna que foram produzidas com o auxílio dos plugues de Feltro.

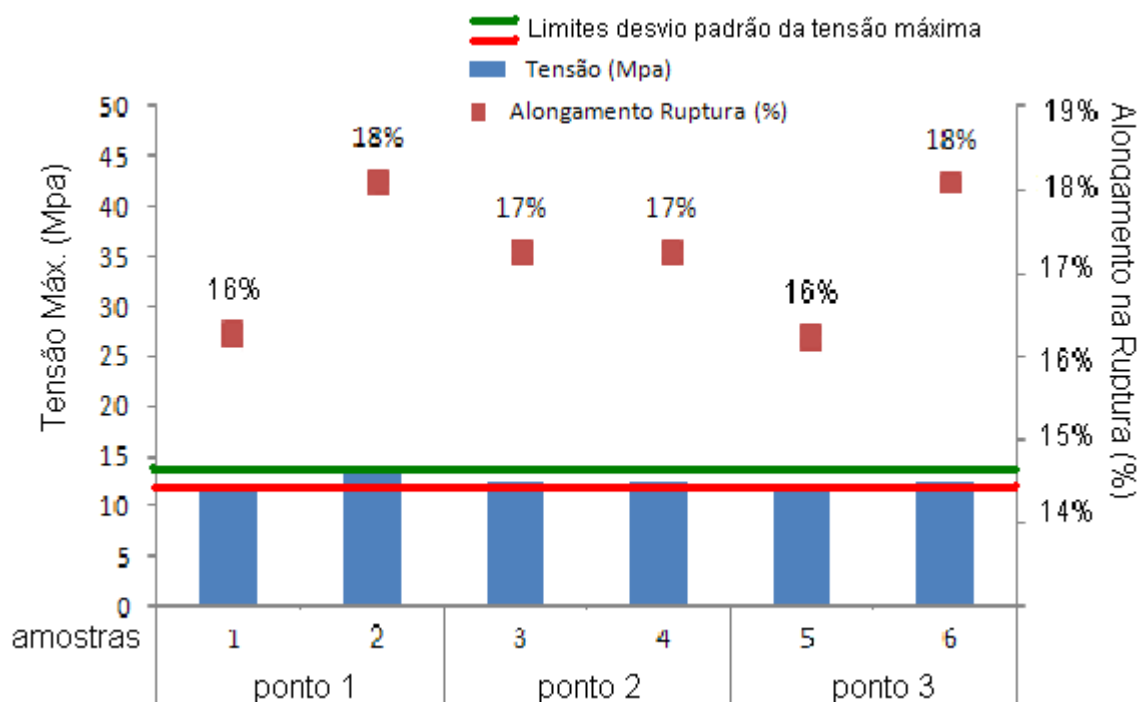


Amostra	Tensão (Mpa)	Tensão Média	Desvio	Quadrado dos desvios	Variância	Desvio padrão	Alongamento Ruptura (%)	Alongamento médio
Feltro	18,7	18,21666667	0,48	0,23	2,66	1,63	27%	25,20%
	21,6		3,4	11,45			22%	
	16,8		-1,4	2,01			31%	
	16,5		-1,4	2,01			21%	
	17,9		-0,3	0,10			26%	
	17,8		-0,4	0,17			24%	
Soma dos quadrados dos desvios				15,97				

Gráfico 7 – Resistência à tração e alongamento na ruptura das amostras de caixa interna produzidas com plugues de Feltro.

No Gráfico 7, observa-se que os resultados obtidos para as amostras empregando-se plugues de Feltro apresentaram uma variação de resistência à tração baixa, entre 16,8 e 21,6 MPa, enquanto que o percentual de alongamento na ruptura foi alto, quando comparados com os outros tipos de materiais dos plugues utilizados. A amplitude de variação do alongamento na ruptura foi de 9%, variando entre 22 e 31%.

No Gráfico 8 são apresentados os resultados dos testes de resistência à tração e alongamento na ruptura das amostras de caixas internas obtidas a partir de chapas de 4,0 mm, nas quais não foram colocados os plugues conformadores para auxiliar na moldagem da peça.



Amostra	Tensão (Mpa)	Tensão Média	Desvio	Quadrado dos desvios	Variância	Desvio padrão	Alongamento Ruptura (%)	Alongamento médio
Sem plugue	11,5	12,38333333	-0,88	0,78	0,44	0,66	17%	17,08%
	13,6		1,2	1,48			17%	
	12,4		0,0	0,00			18%	
	12,5		0,0	0,00			17%	
	11,8		-0,6	0,34			17%	
	12,5		0,1	0,01			17%	
Soma dos quadrados dos desvios				2,62				

Gráfico 8 – Resistência à tração e alongamento na ruptura das amostras de caixa interna, sem o uso de plugues conformadores.

Observa-se no Gráfico 8, que sem o uso dos plugues, a resistência à tração da caixa interna diminuiu, comparando-se com os valores apresentados nos Gráficos 5, 6 e 7, com utilização dos plugues conformadores. As amostras do Gráfico 8 apresentaram tensão muito baixa, variando de 11,5 a 13,6 MPa, e o percentual de alongamento na ruptura foi de aproximadamente 17%, menor que os das amostras confeccionadas com uso de plugues. Estes resultados comprovam a necessidade do uso de plugues conformadores quando houver redução na

espessura da chapa que origina a caixa interna dos refrigeradores. Caixas internas com valores de resistência mecânica muito baixos podem sofrer quebra quando for montada dentro do refrigerador.

No Gráfico 9 são apresentadas as médias de resistência à tração das amostras das caixas internas, em contato com os plugues de Ambatex, Feltro, Teflon e sem o uso dos plugues, visando comparação entre os diferentes sistemas.

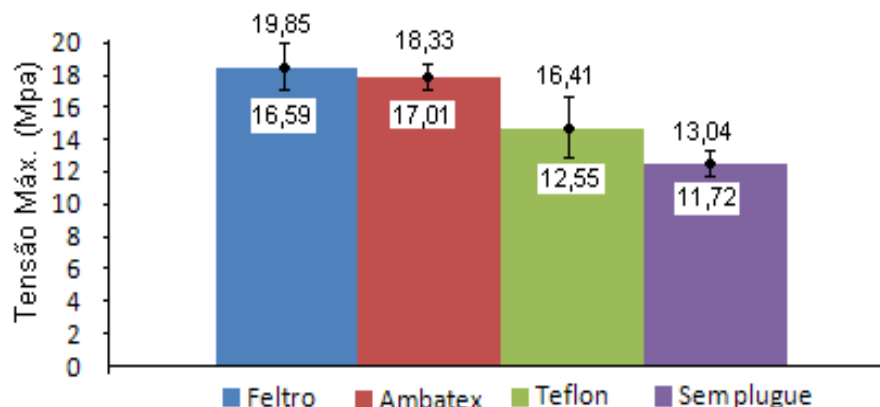


Gráfico 9 – Resistência à tração das caixas internas obtidas com o uso de plugues conformadores em Ambatex, Feltro, Teflon e sem plugues.

Comparando-se os resultados apresentados no Gráfico 9, verifica-se que o melhor material para a confecção dos plugues conformadores foi o de Feltro, pois as amostras confeccionadas em contato com plugues deste material apresentaram resistência à tração de 18,2 MPa, sendo maior que o das amostras em contato com os demais plugues. Este valor de resistência à tração é inferior ao valor médio do PSAI (R 830D) virgem, de 23 MPa, utilizado para confecção de caixas internas de refrigeradores (INNOVA, 2011). 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. Porém, encontra-se próximo ao valor médio de resistência à tração das amostras de caixas internas confeccionadas com chapa de 4,2 mm, de 20 Mpa, as quais já eram empregadas nos refrigeradores fabricados pela empresa, estando dentro dos padrões internos de controle de qualidade.

5.7 Análise de ciclagem térmica

No ensaio de ciclagem térmica, as amostras de caixas internas são reprovadas quando apresentam imperfeições como: microfissuras, ondulações e quebras, conforme apresentado na Figura 27 (A) e (B). Estas imperfeições podem ocorrer devido ao mau preenchimento do espaço entre a caixa interna e o gabinete do refrigerador pela espuma de poliuretano (PU), que atua como isolamento, e também devido às amostras de caixa não apresentarem resistência mecânica dentro dos padrões internos exigidos pela empresa.

Após os 10 dias de testes de ciclagem térmica, nos quais as caixas internas confeccionadas a partir das chapas com espessura reduzida foram submetidas, foi elaborado um laudo técnico (Anexo A), pelos profissionais que acompanharam os experimentos, e nele, foi relatado que as amostras não apresentaram imperfeições como as descritas anteriormente, ou seja, todas as amostras foram aprovadas no teste.

5.8 Avaliação do consumo de matéria-prima e energia e de produtividade

Na Tabela 5 é apresentada a massa das chapas com espessura de 4,2 e 4,0 mm e o percentual de redução de matéria-prima obtido após alteração no processo. Observa-se que houve uma redução de 4,5% no consumo de matéria-prima para confecção das chapas por dia em função da redução da espessura da chapa em PSAI.

Tabela 5 – Percentual de redução do consumo de matéria-prima.

Espessura (mm)	Capacidade (kg/h)	Massa da chapa (kg)	Redução de matéria- prima/dia
4,2	650	6,9	4,50 %
4,0	650	6,6	

A redução da espessura da chapa extrudada ocasionou redução no tempo de aquecimento das resistências da termoformadora VF42, 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 VF 42.

No Gráfico 10 está apresentado o consumo de energia das resistências de 1000 W do aquecimento da termoformadora VF42.

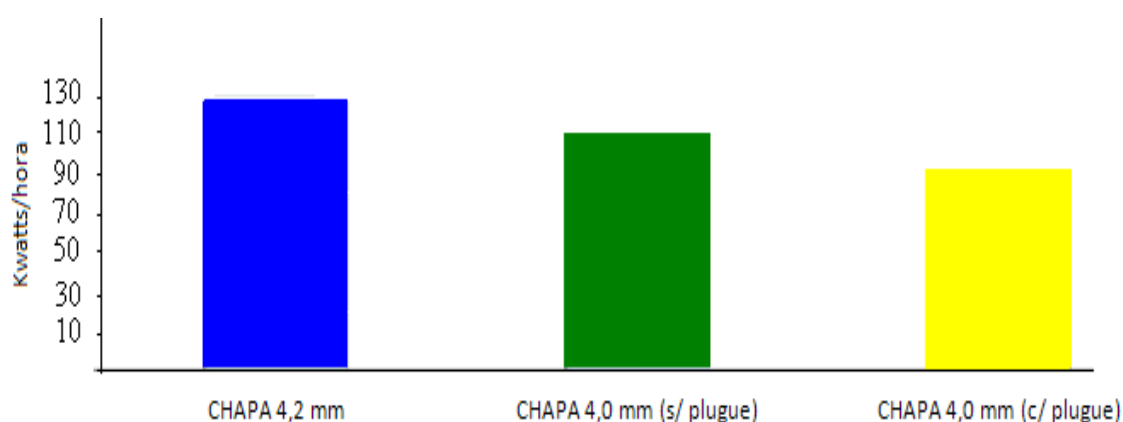


Gráfico 10 - Consumo de energia das resistências de 1000 W do aquecimento da termoformadora VF 42.

Verifica-se uma diferença considerável no consumo de energia quando a chapa é mais espessa. Para o aquecimento da chapa de 4,2 mm, o consumo foi 129,9 Kw/h e para as chapas de 4,0 mm, na qual foi empregado os plugues conformadores para a conformação da caixa interna, o consumo foi de 110,9 Kw/h. A redução de consumo de energia por hora foi de aproximadamente 17%.

No Gráfico 11 está apresentado o consumo das resistências de 600 W em kwatts/hora para a etapa de pré-aquecimento. Verifica-se que as chapas de 4,2 mm apresentaram um consumo de energia de 466,6 Kw/h e as de 4,0 mm com uso de plugues na termoformagem, de 431,9 Kw/h. 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. A redução de consumo de energia por hora foi de aproximadamente 8%.

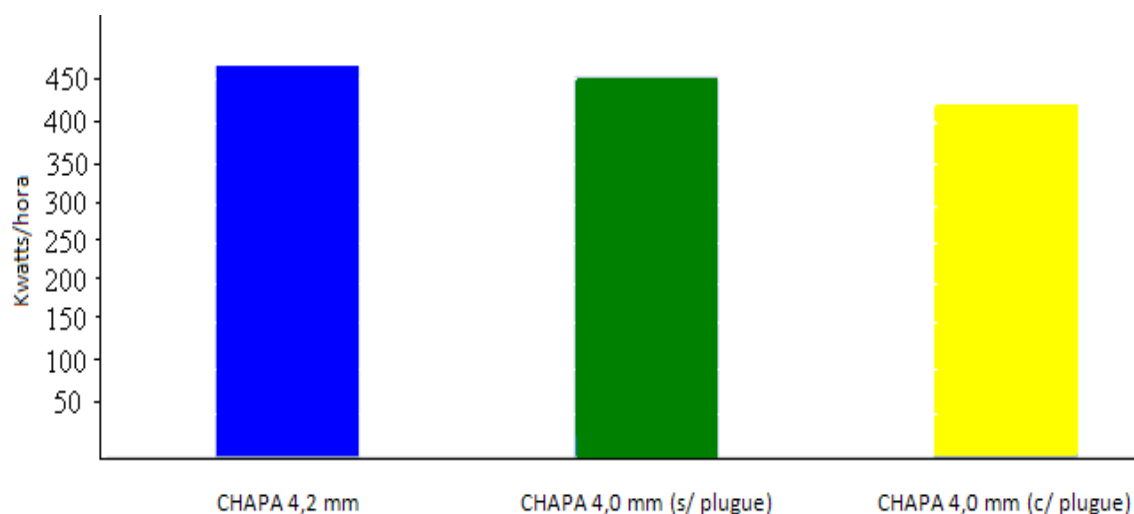


Gráfico 11 - Consumo de energia das resistências de 600 W do pré-aquecimento da termoformadora VF 42.

A partir das análises da produção das chapas de 4,2 mm, 4,0 mm sem plugue e 4,0 mm com plugue, em matéria-prima e consumo de energia, calculou-se o ganho em produtividade na extrusão das chapas e na termoformagem das caixas internas, cujos resultados são apresentados nas Tabelas 6 e 7, respectivamente.

Na Tabela 7 também podem ser observados os tempos de moldagem que influenciaram diretamente na conformação da caixa interna na termoformadora e o ganho em produtividade na mesma.

Tabela 6 – Ganho em chapas plásticas com a espessura reduzida.

Espessura (mm)	Capacidade (kg/h)	Massa da chapa (kg)	Quantidade de chapa/hora	Ganhos de chapas em 24 horas
4,2	650	6,9 kg	94	2260
4,0	650	6,6 kg	98	2363

Tabela 7 – Produtividade na termoformadora.

	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 (22,5hrs)	1732	1575	1485

Sabendo-se que a capacidade produtiva da extrusora 6 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 4,5%.

Foram analisados os 3 tipos de conformações: 1) com 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) com 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) com chapa de 4,0 mm com o auxílio dos plugues na moldagem, a produtividade por ciclo foi de 47 segundos, com 77 peças/hora e 1732 peças em 3 turnos de trabalho.

CONCLUSÃO

Para uma empresa continuar competitiva ou até mesmo liderar o seu segmento de mercado, ela precisa reduzir custos que não agregam valor ao produto e até mesmo aperfeiçoar seus processos produtivos, visando reduzir consumo em matérias-primas e energia, minimizando também o impacto ambiental. Uma das oportunidades para atingir esses objetivos na empresa Whirlpool S.A. foi a redução da espessura das chapas em PSAl que originam as caixas internas de refrigeradores.

Para isto, foram identificados e avaliados os principais parâmetros e fatores do processo de fabricação das caixas internas de refrigeradores que poderiam influenciar na distribuição de PSAl na moldagem das caixas internas, após redução da espessura das chapas, com o auxílio do mapa de processo, que facilitou a visualização das oportunidades em cada etapa do processo.

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 PSAl no molde. Dos três materiais (Ambatex, Feltro e Teflon) empregados na fabricação dos plugues 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%.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, J. O plástico na prática. Sagra. 1ª ed., Porto Alegre, 1999.
- 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. 1st ed., New York, 2007.
- BLASS, A. Processamento de polímeros. 2ª ed. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1988.
- BRYDSON, J. Plastics materials. 7ª ed. Oxford, Woburn, 2000.
- DRUMMOND, F. Itens de controle e Avaliação de processos. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1994.
- FERNANDES, J. Apostila de processo de termoformagem da Whirlpool S.A, Joinville, 2004. Volume único.
- GOELA, S.; CHENB, V. Integrating the global enterprise using Six Sigma: Business process reengineering at General Electric Wind Energy. School of Business, BA 310b, University at Albany, SUNY 1400 Washington Avenue, USA, 2006.
- GONZALEZ, R.; VELAZQUEZ, D.; GALLEGO, F. Improving energy efficiency in a naphtha reforming plant using Six Sigma methodology. Universidad de Sevilla, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Sevilla, ESI Camino de los Descubrimientos s/n 41092, Seville, Spain, 2011.
- GRASSI, V; FORTE, M. 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, Artliber, 1998.
- HARRON, G. Uma investigação experimental sobre a conformação auxiliada por plugue. Plástico industrial, São Paulo : v. 4, 2002.
- HARRY, M. J., The Vision of Six Sigma, Sigma Publishing Company, Arizona USA, 2ª ed, 1994.
- HENSEN, F.. Plastics Extrusion Technology. 2ª ed. Hanser, New York, 1997.
- HUNT, V. Process mapping: How to reengineer your business process. New York: John Wiley & Sons, 1996.
- INNOVA. R830D Poliestireno de alto impacto especial. Triunfo, RS. Disponível em:<http://www.petrobras.com.br/Innova>, acesso em: 7 abr. 2011

INNOVA PETROQUÍMICA. Manual de Termoformagem. Desenvolvido pela Innova Petroquímica 2007-2009. Apresenta textos sobre processamento de termoplásticos. Disponível em: <<http://www.innova.ind.br>>, acesso em: 22 set. 2011.

IPIRANGA PETROQUÍMICA. Guia de problemas e soluções. Desenvolvido pela Ipiranga Petroquímica 2006-2009, Apresenta textos sobre processamento para termoformagem. Disponível em: <http://www.ipq.com.br>, acesso em: 30 set 2011.

KIM, M.; HAK, L., HAN, C. Department of Chemical Engineering, Pohang University of Science and Technology, Pohang, Kyungbuk 790-784, Korea, 2003.

KUME, H. Métodos estatísticos para melhoria da qualidade, São Paulo: Gente, 1993.

LIANG, J. Z.; NESS, J. N. Effect of die angle on flow behavior for high impact polystyrene melt. Material Behavior. Polymer Testing, 16, 403-412, 1997.

MACHADO, R. Apostila Opex na Whirlpool, Joinville, 2008 volume único.

MARANHÃO, M. ISO série 9000: manual de implementação – versão 2000. 6. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

MICHAELI, W. Tecnologia de los plásticos: livro de texto com perguntas. Barcelona: Hanser, 1992.

OLIVEIRA, P. Apostila da Krupp: Seis Sigma Green Belt, volume 2, 2003

PALADINI, E. Gestão da qualidade no processo: a qualidade na produção de bens e serviços. São Paulo: Atlas, 1995

PANDE, P. S.; NEUMAN, R. P.; CAVANAGH, R. R. Estratégia Seis Sigma: Como a GE, a Motorola e outras grandes empresas estão aguçando seu desempenho. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

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

PINHO, C. Seis Sigma: Uma proposta para implementação da metodologia em pequenas e médias empresas. Dissertação de mestrado em ciências em engenharia de produção, 2005.

RABELLO, M. Aditivação de Polímeros. 2ªed. Artliber. São Paulo, 2007.

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

- ROVERE, J.; CORREA, C.; PIZZOL, M.; GRASSI, V. Caracterização morfológica do poliestireno de alto impacto, *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, vol. 18, nº 1, p. 12-19, 2008.
- SAHIN, T.; SNMAZÇELIK, T; SAHIN, S. The effect of natural weathering on the mechanical, morphological and thermal properties of high impact polystyrene (HIPS), *Materials Design*, 28, 2303- 2309, 2007.
- SALA, G.; DI LANDRO, L.; CASSAGO, D. A numerical and experimental approach to optimize sheet stamping Technologies: polymers thermoforming. *Materials Design*, 23, 21-39, 2002.
- SANDERS, D; ROSS, B. The thought map. *Quality Engineering*. New York, vol. 12, p.21-27. Jan. 1998.
- SMOLLER, I. Apostila Whirlpool de extrusão, 2008 volume único.
- SORS, L; BARDÓCZ, L; RADNÓTI, I. Plásticos molde e matrizes. Curitiba: Hemus, p. 238-257, 2002.
- VIANNA, W.; CORREA, C. A.; RAZZINO, C. Efeitos do tipo de poliestireno de alto impacto nas propriedades de compósitos termoplásticos com farinha de resíduo de madeira. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, São Carlos: 2004.
- WELCH, J. Paixão por vencer. Rio de Janeiro, 2005. Revolutionizing the world's top corporations. New York, Currency, 2000.
- WERKEMA, M. 6 Sigma: Workshop Gerencial Atibaia. São Paulo:Copyright, 2000.
- WHEELER, D.; LYDAY, R. Evaluating the Measurement Process. 2º Ed. 1992.

Apêndice A

Tabela I - Resultado das medidas do MSE.

Operador	Peça	Ponto	Medida	“Y” valores (mm)	Xbarra (mm)
1	1	1	1	0,566	0,564
	1	1	2	0,573	
	1	1	3	0,554	
	1	2	4	0,471	0,467
	1	2	5	0,442	
	1	2	6	0,487	
	1	3	7	0,623	0,639
	1	3	8	0,662	
	1	3	9	0,632	
	2	1	10	0,453	0,472
	2	1	11	0,476	
	2	1	12	0,488	
	2	2	13	0,463	0,492
	2	2	14	0,499	
	2	2	15	0,515	
	2	3	16	0,592	0,610
	2	3	17	0,626	
	2	3	18	0,611	
	3	1	19	0,634	0,631
	3	1	20	0,636	
	3	1	21	0,622	
	3	2	22	0,457	0,451
	3	2	23	0,453	
	3	2	24	0,442	
	3	3	25	0,619	0,627
	3	3	26	0,642	
	3	3	27	0,619	

Operador	Peça	Ponto	Medida	“Y” valores (mm)	Xbarra (mm)
2	1	1	28	0,602	0,608
	1	1	29	0,593	
	1	1	30	0,629	
	1	2	31	0,532	0,550
	1	2	32	0,555	
	1	2	33	0,564	
	1	3	34	0,521	0,574
	1	3	35	0,598	
	1	3	36	0,603	
	2	1	37	0,522	0,555
	2	1	38	0,576	
	2	1	39	0,568	
	2	2	40	0,547	0,578
	2	2	41	0,589	
	2	2	42	0,598	
	2	3	43	0,589	0,607
	2	3	44	0,612	
	2	3	45	0,621	
	3	1	46	0,519	0,562
	3	1	47	0,569	
	3	1	48	0,599	
	3	2	49	0,598	0,624
	3	2	50	0,642	
	3	2	51	0,631	
3	3	52	0,519	0,559	
3	3	53	0,559		
3	3	54	0,599		
3	1	1	55	0,593	0,961
	1	1	56	0,621	

1	1	57	0,632	
1	2	58	0,573	1,635
1	2	59	0,58	
1	2	60	0,553	
1	3	61	0,589	1,208
1	3	62	0,621	
1	3	63	0,599	
2	1	64	0,582	1,017
2	1	65	0,543	
2	1	66	0,589	
2	2	67	0,598	1,779
2	2	68	0,598	
2	2	69	0,619	
2	3	70	0,573	1,441
2	3	71	0,612	
2	3	72	0,589	
3	1	73	0,572	0,947
3	1	74	0,598	
3	1	75	0,582	
3	2	76	0,587	1,632
3	2	77	0,553	
3	2	78	0,532	
3	3	79	0,579	1,227
3	3	80	0,552	
3	3	81	0,595	

Apêndice B

Tabela II - Resultados das medidas do COV.

Turno	Peça	Plugues	Medida	y	Média
4	A	1	1	1,664	1,663
4	A	1	2	1,724	
4	A	1	3	1,602	
4	A	2	4	0,632	0,641
4	A	2	5	0,721	
4	A	2	6	0,571	
4	B	1	7	1,614	1,622
4	B	1	8	1,679	
4	B	1	9	1,573	
4	B	2	10	0,657	0,667
4	B	2	11	0,747	
4	B	2	12	0,598	
4	C	1	13	1,677	1,714
4	C	1	14	1,766	
4	C	1	15	1,698	
4	C	2	16	0,645	0,631
4	C	2	17	0,656	
4	C	2	18	0,593	
5	A	1	19	1,575	1,551
5	A	1	20	1,545	
5	A	1	21	1,532	
5	A	2	22	0,634	0,651
5	A	2	23	0,721	
5	A	2	24	0,598	
5	B	1	25	1,621	1,571
5	B	1	26	1,505	

5	B	1	27	1,587	
5	B	2	28	0,654	0,623
5	B	2	29	0,545	
5	B	2	30	0,671	
5	C	1	31	1,512	1,523
5	C	1	32	1,509	
5	C	1	33	1,548	
5	C	2	34	0,688	0,682
5	C	2	35	0,663	
5	C	2	36	0,696	
6	A	1	37	1,614	1,594
6	A	1	38	1,571	
6	A	1	39	1,597	
6	A	2	40	0,598	0,577
6	A	2	41	0,579	
6	A	2	42	0,554	
6	B	1	43	1,503	1,487
6	B	1	44	1,496	
6	B	1	45	1,462	
6	B	2	46	0,615	0,617
6	B	2	47	0,635	
6	B	2	48	0,601	
6	C	1	49	1,547	1,549
6	C	1	50	1,579	
6	C	1	51	1,521	
6	C	2	52	0,561	0,583
6	C	2	53	0,583	
6	C	2	54	0,604	

Apêndice C

Tabela III – Diagrama de potência das resistências, utilizando chapas de 4,0 mm, sem o uso de plugues.

Aquecimento superior, resistências de 1000 Watts

80		80			80			80			80			80			80						
80		50			50			50			55			20			80						
80	20	20	20	20	20	20	20	20	20	60	40	50	20	20	20	80							
80	80	20	40	75	75	50	50	50	70	70	20	40	65	55	20	50	50	30	50	60	20	70	80
80	80	20	40	30	30	30	30	30	30	30	20	65	55	20	50	50	30	30	60	20	70	80	
80	80	20	40	50	50	50	50	50	50	20	40	65	55	20	50	50	30	50	60	20	70	80	
80	20	20	20	20	20	20	20	20	20	60	40	50	20	20	20	80							
80		50			50			50			50			30			80						
80		80			80			80			80			80			80						

Aquecimento inferior, resistências de 1000 Watts

80		80			80			80			80			80			80					
80		20			20			20			30			20			80					
80	20	20	25	20	20	20	20	20	20	60	20	40	20	20	20	80						
80	80	20	45	30	30	30	30	30	30	40	20	50	40	20	45	45	40	40	80	20	80	80
80	80	20	45	30	30	30	30	30	30	40	20	50	40	20	45	45	40	40	80	20	80	80
80	20	20	20	20	20	20	20	20	20	60	20	40	20	20	20	80						
80		20			20			20			20			30			20			80		
80		80			80			80			80			80			80			80		

Pré - aquecimento superior, resistências de 600 Watts

80	80	80	80	80	80	80	80
80	40	40	40	40	40	20	80
80	20	20	20	20	50	20	40
45	50	50	50	50	20	30	45
45	40	35	35	30	20	40	45
45	40	35	35	30	20	40	45
45	50	50	50	50	20	30	45
80	20	20	20	20	50	20	50
80	25	40	40	40	40	25	80
80	80	80	80	80	80	80	80

Pré - aquecimento inferior, resistências de 600 Watts

80	80	80	80	80	80	80	80
80	20	20	20	20	50	20	80
80	20	20	20	20	30	20	40
40	40	55	55	40	20	40	40
40	40	40	40	40	20	40	40
40	40	55	55	40	20	40	40
80	20	20	20	20	30	20	40
80	20	20	20	20	50	20	80
80	80	80	80	80	80	80	80

Tabela IV - Diagrama de potência das resistências, utilizando chapas de 4,0 mm, com uso de plugues.

Aquecimento superior, resistências de 1000 Watts

80	80				80				80				80				80				80				
80		40				40				40				45				20				80			
80	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	50	40	60	40	60	20	20	20	20	20	80				
80	80	20	40	50	50	50	50	50	50	40	20	40	60	50	20	50	40	30	50	50	20	70	80		
80	80	20	40	30	30	30	30	30	30	30	30	20	50	50	20	40	50	30	30	50	20	70	80		
80	80	20	40	40	50	50	50	50	50	50	20	40	60	50	20	50	40	30	50	50	20	70	80		
80	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	60	40	60	40	60	20	20	20	20	20	80				
80		40				40				40				45				20				80			
80		80				80				80				80				80				80			

Aquecimento inferior, resistências de 1000 Watts

80	80				80				80				80				80								
80		20				20				20				30				20				80			
80	20	20	20	20	20	30	20	20	20	20	20	20	40	20	20	20	20	20	20	20	80				
80	75	20	40	30	30	30	30	30	30	30	30	30	35	40	20	40	40	40	40	50	20	80	80		
80	75	20	40	30	30	30	30	30	30	30	30	30	35	40	20	40	40	40	40	50	20	80	80		
80	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	40	20	20	20	20	20	20	20	80				
80		20				20				20				30				20				80			
80		80				80				80				80				80				80			

Pré - aquecimento superior, resistências de 600 Watts

80	80	80	80	80	80	80	80
80	60	50	50	50	50	20	80
80	20	20	20	20	50	20	45
50	45	60	60	65	20	40	50
50	45	30	30	30	20	55	50
50	45	30	30	30	20	55	50
50	45	60	50	50	20	40	50
80	20	20	20	20	50	20	45
80	60	60	60	60	60	20	80
80	80	80	80	80	80	80	80

Pré - aquecimento inferior, resistências de 600 Watts

80	80	80	80	80	80	80	80
80	20	20	20	20	45	20	80
80	20	20	20	20	30	20	50
40	60	60	60	60	20	40	50
40	40	40	40	30	20	40	50
40	60	60	60	60	20	40	50
80	20	20	20	30	30	20	50
80	20	20	20	20	45	20	80
80	80	80	80	80	80	80	80

Tabela V - Diagrama de potencia das resistências, utilizando chapas de 4,2 mm, sem plugues.

Aquecimento superior, resistências de 1000 Watts

90	90	90	90	90	90	90	90																
90	60	60	60	60	60	40	90																
80	30	30	30	30	30	70	50	60	30	30	30	80											
80	80	30	40	75	75	50	50	50	60	70	20	50	65	55	30	50	50	30	50	60	30	70	80
80	80	30	40	40	40	40	40	30	40	40	40	65	55	30	50	50	30	30	60	30	70	80	
80	80	30	40	60	60	50	50	50	50	20	50	65	55	30	50	50	30	50	60	30	70	80	
80	30	30	30	30	30	30	30	30	30	70	50	60	30	30	30	80							
90	60	60	60	60	60	40	90																
90	90	90	90	90	90	90	90																

Aquecimento inferior, resistências de 1000 Watts

90	90	90	90	90	90	90	90															
90	30	30	30	30	30	30	90															
80	30	30	35	30	30	30	30	60	30	50	30	30	30	80								
80	80	20	45	30	30	30	30	30	30	40	20	50	40	20	45	45	40	40	80	20	80	80
80	80	20	45	30	30	30	30	30	30	40	20	50	40	20	45	45	40	40	80	20	80	80
80	30	30	35	30	30	30	30	30	30	60	30	50	30	30	30	80						
90	30	30	30	30	30	30	90															
90	90	90	90	90	90	90	90															

Pré - aquecimento superior, resistências de 600 Watts

80	80	80	80	80	80	80	80
80	60	50	50	50	50	20	80
80	20	20	20	20	50	20	45
50	45	60	60	65	20	40	50
50	45	30	30	30	20	55	50
50	45	30	30	30	20	55	50
50	45	60	50	50	20	40	50
80	20	20	20	20	50	20	45
80	60	60	60	60	60	20	80
80	80	80	80	80	80	80	80

Pré - aquecimento inferior, resistências de 600 Watts

80	80	80	80	80	80	80	80	
80	20	20	20	20	20	45	20	80
80	20	20	20	20	20	30	20	50
40	60	60	60	60	20	40	50	
40	40	40	40	40	30	20	40	50
40	60	60	60	60	20	40	50	
80	20	20	20	30	30	20	50	
80	20	20	20	20	45	20	80	
80	80	80	80	80	80	80	80	

ANEXO A

Refrigeration	Product : Single Door Inside Freezer	Platform : Non Counter Depth
BRM 44 LAR SPIDER APPROVAL01 - Caixa Interna		
Avaliar desempenho da Caixa Interna com redução da espessura de 4,2 para 4,0mm usando INNOVA R830.		
Yes		
NTB01834 - Em conformidade com a norma.		
NTB83122 - Em conformidade com a norma.		
<ul style="list-style-type: none">- O cliente da atividade foi responsável pelo fornecimento da amostra avaliada em relação a conformidade, quantidade, qualidade e procedência.- Os resultados deste Relatório de Ensaio se referem somente aos itens ensaiados (amostra).- O Relatório de Ensaio não deve ser parcialmente reproduzido sem prévia autorização do Lab Operation Engineer.- Dúvidas, reclamações e sugestões, reenvie este e-mail para mtjlle-fale_com_LDAP@whirlpool.com		
A caixa interna com espessura reduzida copia mais facilmente as deformações do PU, portanto, é necessário que se ajuste o processo de injeção de PU, para garantir uma distribuição o mais homogênea possível do PU, evitando desta forma, deformações visíveis na caixa interna.		
Não foram constatadas trincas ou anomalias após os dez ciclos de teste decorrentes da alteração proposta pela LR.		
Observação: um espécime com redução de espessura apresentou deformações no fundo traseiro, conforme pode ser verificado nas fotos em anexo. No campo em anexo há foto de um espécime com redução de espessura e sem deformações (ok), e duas fotos da caixa interna deformada, sendo que uma das fotos apresenta a condição do PU. É importante salientar que estas deformações ficaram evidenciadas alguns dias após o término do ensaio de ciclagem térmica.		
Ensaio de resistência mecânica do limitador de prateleira - não verificou-se anomalias nos espécimes avaliados.		
As amostras serão disponibilizadas até 12/02.		
NTB01834, NTB83122		

Figura 30 – Laudo técnico de ciclagem térmica das amostras com redução na espessura da chapa utilizada para confecção da caixa interna do modelo BRM 44.