



Desenvolvimento do processo de produção de peça plástica revestida a PVC para a indústria automóvel

FILIFE ORLANDO CARDOSO MARTINS QUINTAS

Outubro de 2012



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

**Desenvolvimento do processo de produção de peça plástica
revestida a PVC para a indústria automóvel
(Confidencial)**

Filipe Orlando Cardoso Martins Quintas



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Desenvolvimento do processo de produção de peça plástica revestida a PVC para a indústria automóvel

Filipe Orlando Cardoso Martins Quintas

1100105

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação do Doutor Francisco José Gomes da Silva, Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Mecânica do ISEP.

Júri

Presidente

Doutor NOME COMPLETO

Professor Coordenador, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Doutor NOME COMPLETO

Professor Coordenador, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Engenheiro NOME COMPLETO

Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Doutora NOME COMPLETO

Professora Adjunta, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Doutor NOME COMPLETO

Professor Associado com Agregação, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa

À minha família, esposa, filhos, mãe e irmão pelo apoio incondicional, força, incentivo e amizade sem igual. Sem eles nada disto seria possível.....

Agradecimentos

Embora esta dissertação seja fundamentalmente um trabalho individual, há contributos de natureza diversa que não podem e nem devem deixar de ser realçados. Por essa razão, desejo expressar os meus sinceros agradecimentos:

Ao Doutor Francisco José Gomes da Silva, meu orientador, pela competência científica e acompanhamento do trabalho, pela disponibilidade e generosidade reveladas ao longo deste ano de trabalho, assim como pelo incentivo, críticas, correcções e sábias sugestões feitas durante a orientação.

À empresa Simoldes Plásticos pela oportunidade de realizar este trabalho.

À minha colega de trabalho Engenheira Cidália Garcia Amaro, pelo apoio prestado nos estudos reológicos.

Aos meus colegas de trabalho do Departamento da Engenharia de Processo, com a ajuda dos quais este projecto foi executado.

Mais uma vez, a todos os meus sinceros agradecimentos.

Palavras-chave

Desenvolvimento do processo, Indústria automóvel, Injecção de plásticos

Resumo

O desenvolvimento do processo de produção de um produto para a indústria automóvel é sempre um desafio de nível de dificuldade exigente. Este trabalho teve por base o estudo do desenvolvimento do processo de produção de um produto para a área automóvel, constituído por diversos componentes e exigindo diversas etapas de produção. O desafio partiu de um cliente da SIMOLDES - PLÁSTICOS, S.A. que necessitava de uma peça em plástico para um novo modelo de automóvel. Foram estabelecidas as condições iniciais impostas pelo cliente e foram estudados os condicionalismos impostos pelas mesmas. Foram estudadas diferentes alternativas com vista à optimização do processo, garantindo a qualidade e tentando minimizar o custo final do produto. Foi realizada uma optimização dos moldes, por forma a poderem ser utilizadas máquinas com Força de Fecho mais baixa. Foram desenvolvidos alguns equipamentos que permitiram à empresa optar por novas formas de produção, utilizando materiais mais amigos do ambiente. Foram estudadas as condições de distribuição e optimização das tarefas, com vista à garantia do cumprimento dos prazos de entrega exigidos pelo cliente. Foi estudado o 'layout' que optimizou as operações de transporte das diferentes peças que constituem o produto final. Este trabalho foi elaborado com base num trabalho desenvolvido e implementado na SIMOLDES – PLÁSTICOS, S.A.

Keywords

Process development, Automotive industry, Plastics injection

Abstract

The development of the manufacturing process of a new product for the automotive industry is always a big challenge. This work was based on the study of the development of the manufacturing process of a new product for the automotive industry, consisting of some components and requiring several stages of production. The challenge came from an automobile assembler, customer of a polymeric parts manufacturing company, that was needing a new polymeric part to a new model of automobile. Initial conditions imposed by the costumer were established and studied, as well as all the constraints imposed. Different alternatives were studied regarding to optimize the process, ensuring the quality and trying to minimize the final cost of the product. An optimization of moulds usage was done, intending to use machines with lower clamping forces. Some equipment were developed allowing the company to opt for new manufacturing ways, using more environmentally friendly materials. Conditions for distribution and optimization of tasks were also studied, ensuring compliance with the deadlines required by the costumer. The layout was studied in order to optimize the logistic operations into the factory related to the final assembly of the different parts of the final product.

This work has been prepared based on a work developed and implemented in SIMOLDES - Plastics, S.A.

Lista de Símbolos e Abreviaturas

3D – 3 Dimensões

ABS – Acrilonitrilo Butadieno Estireno

AP – Área projectada

ASA – Acrilonitrilo Estireno Acrilato

bar – Unidade de pressão

°C – Grau Celsius

CE – Comunidade Europeia

cm² – Centímetro quadrado

cm³ – Centímetro cúbico

DIN – *Deutsches Institut für Normung*

DMU – *Design Mockup*

DNP – Desenvolvimento de Novos Produtos

FDM – *Fused Deposition Modeling*

FF – Força de fecho

FMES – *Finite Module Elements Simulation*

g – Grama

GM – *General Motors*

GPa – GigaPascal

HDT – *Heat Deflection Temperature* ou *Heat Distortion Temperature*

ISO – *International Organization for Standardization*

J/m – Joule/metro

K – Grau Kelvin

kg – Kilograma

Li – Links (esquerdo)

m² – Metro quadrado

min – Minuto

mm² – Milímetro quadrado

mm – Milímetro

N – Newton

OEM – *Original Equipment Manufacturer*

P – Pressão de injeção

PA6 – Poliamida 6

PC - *Policarbonato*

POM - Polioximetileno

PU – Poliuretano

PU - RIM – Poliuretano moldado por injeção

PVC – Policloreto de Vinilo

Re – *Rechts* (direito)

RFQ – *Request For Quotation*

R-RIM – *Reinforced Reaction Injection Molding*

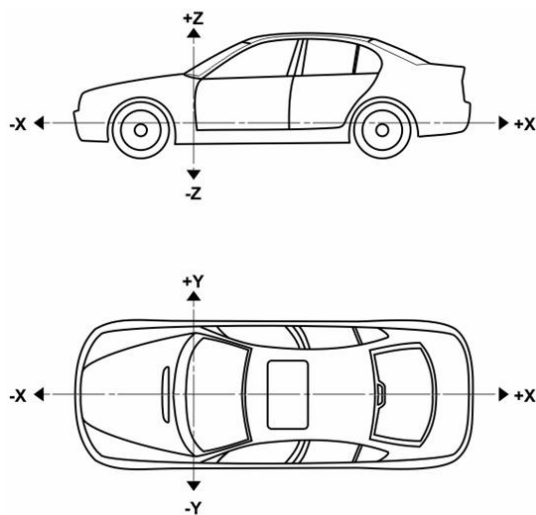
s – Segundo

SLS – *Selective Laser Sintering*

ton – Tonelada

VW – *Volkswagen*

Posicionamento dos eixos no projecto de veículos automóveis



Notas:
X = Direcção longitudinal
Y = Direcção transversal
Z = Direcção vertical

Índice

Lista de Símbolos e Abreviaturas.....	xv
Índice	xvii
Índice de Figuras.....	xix
Índice de Tabelas	xxi
1. Introdução	1
1.1. Enquadramento.....	1
1.2. Objectivos	2
1.3. Metodologia	2
1.4. Estrutura	2
2. Revisão Bibliográfica.....	3
2.1. Considerações teóricas sobre os princípios agregados ao desenvolvimento do produto	3
2.2. O desenvolvimento do produto na área automóvel: uma breve revisão	5
2.3. O desenvolvimento dos produtos poliméricos na área automóvel.....	6
2.4. A injeção de peças para a área automóvel: desenvolvimento do processo	8
3. Desenvolvimento.....	9
3.1. Breve introdução ao trabalho prático	9
3.2. Breve caracterização da empresa onde foi desenvolvido o trabalho prático	9
3.3. O produto	11
3.3.1. Definição do produto e seus componentes.....	11
3.3.2. Função do produto	15
3.3.3. Materiais utilizados e razões da sua utilização.....	16
3.4. O Molde	18
3.4.1. Condicionalismos a que o molde tem que obedecer	18
3.4.1.1. Força de fecho	18
3.4.1.2. Dimensões do Molde.....	23
3.4.1.3. Arrefecimento	24
3.4.1.4. Aquecimento	25
3.4.1.5. Manipulação	25
3.5. Metodologia de desenvolvimento de produto na empresa.....	26
3.5.1. Recepção dos desenhos 3D das peças envolventes enviados pelo cliente	26
3.5.2. Análise do caderno de encargos do cliente para a peça	27
3.5.3. Análise da factibilidade ao 3D	30
3.5.3.1 Produto.....	30
3.5.3.2 Processo	32
3.5.3.3 Processo protótipo	36
3.5.3.4 Prototipagem rápida.....	37
3.5.3.5 Análise do fluxo de enchimento após definição final do 3D	38
3.6. Definição do processo produtivo.....	40

3.6.1. Condições de base	40
3.6.1.1. Resumo da identificação de problemas associados ao processo produtivo	40
3.6.1.2. Resumo das condições de teste a aplicar ao produto depois de processado	41
3.6.2. Testes de validação das operações envolvidas no processo de termoformação (tendo por base um layout experimental)	42
3.6.3. Definição dos equipamentos e meios necessários à produção em série	45
3.6.4. Avaliação / cronometragem dos tempos associados a cada operação	51
Seguidamente apresentam-se as tabelas com os valores dos tempos cronometrados por operação:	52
3.6.5. Análise do layout a utilizar no processo	55
3.6.6. Optimização das tarefas (tempos, distribuição de cargas, optimização de meios e operações	57
3.6.7. Definição final da gama de fabrico (layout, tempos, operações, tarefas, etc.)	57
4. Conclusões	60
5. Bibliografia e Outras Fontes de Informação	61
Fontes de Informação 'Online'	61
6. Anexos	Erro! Indicador não definido.

Índice de Figuras

Figura 1 - Gráfico da produção de veículos automóveis na Europa entre 1999 e 2009 (Beissmann, 2010)	1
Figura 2 - Identificação de peças produzidas pela Simoldes Plásticos	10
Figura 3 - Peça em PU reforçada com manta de fibra de vidro ('benchmark')	11
Figura 4 - Imagem de modelo 3D do conjunto 'Rückwand' (lado visível)	12
Figura 5 - Conjunto 'Rückwand' (lado técnico).....	12
Figura 6 - Protecção de cabeça fixa, da peça usada como 'benchmark'	12
Figura 7 - Protecção de cabeça integrada no apoio de cabeça	13
Figura 8 - Imagem do conceito inicial das peças 'Deckel Li e Re'	13
Figura 9 - Imagem de modelo 3D da peça 'Rückwand Outer'	13
Figura 10 - Imagem de modelo 3D da peça 'Rückwand Inner'	14
Figura 11 - Imagens de modelos 3D dos conjuntos 'Deckel Li e Re'	14
Figura 12 - Imagens de modelos 3D das peças 'Deckel Outer Li e Re'	14
Figura 13 - Imagens de modelos 3D das peças 'Deckel Inner Li e Re'	14
Figura 14 - Imagens de modelos 3D das peças 'Gurtblende Li e Re'	15
Figura 15 - Imagem de modelo 3D (conjunto + envolventes), com localização da peça no carro	15
Figura 16 - Solicitações que o conjunto deverá suportar	15
Figura 17 - Exemplo de solicitação a que o conjunto está sujeito "Girly test"	16
Figura 18 - Exemplo de cálculo de área projectada.....	18
Figura 19 - Área projectada da peça 'Rückwand Outer'	19
Figura 20 - Área projectada da peça 'Rückwand Inner'	19
Figura 21 - Área projectada das peças 'Deckel Outer Re'	19
Figura 22 - Área projectada das peças 'Deckel Inner Re'	19
Figura 23 - Área projectada das peças 'Gurtblende Re'	20
Figura 24 - Pressão de enchimento para peças 'Rückwand Outer' e 'Rückwand Inner'	21
Figura 25 - Gráfico da evolução teórica calculada da força de fecho para peça 'Rückwand Outer'	21
Figura 26 - Gráfico da evolução teórica calculada da força de fecho para peça 'Rückwand Inner'	22
Figura 27 - Gráfico da evolução teórica calculada da força de fecho para peça 'Deckel Outer Re'	22
Figura 28 - Gráfico da evolução teórica calculada da força de fecho para peça 'Gurtblende Re'	22
Figura 29 – Pormenores de fixação de um molde na injectora.....	24
Figura 30 - Exemplo de não conformidade detectada	26
Figura 31 - Exemplo de não conformidade detectada	27
Figura 32 - Exemplo de não conformidade detectada	27
Figura 33 - Exemplo de corte de PVC	28
Figura 34 - Zonas a rebordar	28
Figura 35 - Zonas a rebordar	28
Figura 36 - Teste de queda de bola	29
Figura 37 - Conjunto 'Rückwand' na versão inicial	29
Figura 38 - Conjunto 'Rückwand' após aplicação de nervuras de reforço	29

Figura 39 - Secção da zona de soldadura dos ' <i>Deckels Outer</i> ' com os ' <i>Inner</i> '	30
Figura 40 - Tubulares em direcções diferentes	31
Figura 41 - Furo oblongo para facilitar montagem.....	31
Figura 42 - Esquema do processo de termoformação.....	32
Figura 43 - Localização das zonas de pormenor analisadas	33
Figura 44 - Análise de raios nas zonas de Pormenores 1 e 2.....	33
Figura 45 - Análise de raios nas zonas de Pormenores 3 e 4.....	33
Figura 46 - Análise de raios na zona de Pormenor 5	34
Figura 47 - Sonotrodo composto e sonotrodo simples	35
Figura 48 - Localização e dimensão dos isolantes	35
Figura 49 - Exemplo dos ganchos utilizados para fixar isolante acústico	36
Figura 50 - Tipos de perfis de bases de termoformação, para diferentes finalidades	36
Figura 51 - Modelação de base protótipo para validação de processo de termoformação	37
Figura 52 - Simulação teórica de enchimento para peça ' <i>Rückwand Outer</i> '	38
Figura 53 - Simulação teórica de enchimento para peça ' <i>Rückwand inner</i> '	38
Figura 54 - Simulação teórica de enchimento para peça ' <i>Deckel Outer + Inner Re</i> '	39
Figura 55 - Simulação teórica de enchimento para peça ' <i>Gurtblende Re</i> '	39
Figura 56 - ' <i>Rückwand Outer</i> ' – Furos para saída de ar	43
Figura 57 - ' <i>Rückwand Outer</i> ' – Furos para saída de ar	44
Figura 58 - ' <i>Rückwand Outer</i> ' - Patilhas de ajuste na direcção X carro, do ' <i>Rückwand Inner</i> '	44
Figura 59 - Suporte de peça para aplicação de cola	46
Figura 60 - Equipamento de secagem de cola e equipamento de reactivação da cola.....	47
Figura 61 - Estufa usada para reactivação da cola.....	48
Figura 62 - Prensa de corte do PVC	49
Figura 63 - Célula de soldadura por ultra-sons com robô de 6 eixos	49
Figura 64 - Equipamento de teste de tracção e verificação final	50
Figura 65 - Equipamento dispensador de lubrificante	50
Figura 66 - ' <i>Layout</i> ' e fluxo de produção e materiais	56
Figura 67 - ' <i>Layout</i> ' com operadores e fluxo de produção e materiais	59

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Áreas projectadas por molde.....	20
Tabela 2 - Forças de fecho obtidas através de simulação na aplicação informática ' <i>Moldflow</i> '	23
Tabela 3 - Tempos cronometrados por operação	52
Tabela 4 - Amplitude média dos tempos, por operação	53
Tabela 5 - Dispersão dos tempos, por operação	54
Tabela 6 - Erro associado ao tempo padrão e tempo padrão, por operação.....	55
Tabela 7 - Distriuição das operações por operadores	58
Tabela 8 - Taxa de ocupação por operador	59

1. Introdução

1.1. Enquadramento

Os veículos são um bem indispensável à Sociedade actual, sendo possível constatar que, apesar de todos os problemas ambientais daí resultantes, o seu uso está constantemente a ser incrementado.

Apesar da forte concorrência movida pelos fabricantes de outros continentes, verifica-se que, também na Europa, a produção de veículos automóveis tem vindo a crescer ano após ano, verificando-se apenas pequenos decréscimos em anos de acentuada crise económica. Isso mesmo poderá ser observado na figura seguinte.



Figura 1 - Gráfico da produção de veículos automóveis na Europa entre 1999 e 2009 (Beissmann, 2010)

Portugal possui poucas empresas dedicadas à montagem automóvel, das quais se destacam a VOLKSWAGEN em Palmela e a CITROËN em Mangualde, mas, pelo contrário, possui já alguma tradição no fabrico de peças para a indústria automóvel, tanto sob a forma de componentes metálicos como plásticos.

Este trabalho, realizado no âmbito da Dissertação de Mestrado em Gestão de Processos e Operações, foi elaborado tendo por base a actividade exercida por uma consagrada empresa portuguesa de fabrico de componentes plásticos para a indústria automóvel. O presente estudo foi desenvolvido no âmbito do desenvolvimento do processo de um conjunto montado, designado por 'Rückwand', que na sua forma final é revestido a PVC (Policloreto de vinilo), e que será usado numa futura versão de um dos modelos 'cabriolet' de maior produção de um construtor automóvel alemão.

1.2. Objectivos

O presente trabalho tem como objectivo principal o desenvolvimento do processo de produção de um conjunto designado por '*Rückwand*', o qual passará pelas seguintes etapas:

- Validação de conceito de processo com peças protótipo;
- Desenvolvimento de meios de produção pré-série;
- Desenvolvimento de meios de produção em série;
- Estudo de tempos por posto de trabalho;
- Optimização do '*layout*' do processo produtivo.

1.3. Metodologia

O trabalho teve início com uma pesquisa selectiva sobre livros e artigos científicos dedicados à temática deste trabalho, com particular incidência nas seguintes áreas:

- Normas técnicas;
- Processos associados à transformação de polímeros para a área automóvel;
- Automatização de processos industriais, ligados particularmente ao sector automóvel;
- Gestão de processos industriais ligados ao sector automóvel.

Para além de livros e pesquisas na internet, na realização deste trabalho foram ainda utilizados os seguintes meios disponíveis na empresa onde se desenvolveu este trabalho:

- Software CATIA V5;
- Software Autodesk Moldflow;
- Normas próprias do construtor;
- Fichas técnicas e documentação específica dos materiais utilizados;
- Base de dados de características das máquinas existentes.

Depois da pesquisa elaborada, foi efectuado um levantamento do processo na empresa SIMOLDES, o qual serviu de base à estruturação inicial do desenvolvimento do processo de produção do produto já referido. Finalmente foi redigido o presente relatório, com a estrutura que seguidamente se resume.

1.4. Estrutura

Este trabalho está estruturado essencialmente em duas partes principais: a Fundamentação Teórica e o Desenvolvimento Prático.

Na Fundamentação Teórica são abordados vários conceitos relacionados com o desenvolvimento do processo do produto, relacionados com a produção de componentes para a indústria automóvel.

O Desenvolvimento Prático, parte principal deste trabalho, está dividido nos seguintes capítulos:

2. Revisão Bibliográfica

*“Não é o que você desconhece que o leva a apuros.
É o que você tem a certeza mas que não é bem assim.”*

Mark Twain

2.1. Considerações teóricas sobre os princípios agregados ao desenvolvimento do produto

O desenvolvimento do processo está intimamente ligado ao desenvolvimento do produto. De nada adianta projectar um produto extremamente inovador, se não existirem as técnicas de produção necessárias para o realizar na prática, ou as mesmas forem suficientemente caras para inviabilizar a sua comercialização na escala pretendida. Donald G. Reinertsen (Reinertsen, 2009) acredita que o paradigma dominante para a gestão do desenvolvimento do produto está fundamentalmente errado. E não apenas um pouco errado, mas errado na sua génese. Está tão errado como nós estávamos na fabricação, antes de os japoneses abrirem o segredo de produção *'lean'*. Ele acredita que está surgindo um novo paradigma, o qual desafia a ortodoxia actual de desenvolvimento do produto.

Oficialmente, muitos técnicos ligados ao desenvolvimento do produto têm as fases do processo de desenvolvimento compartimentadas. O trabalho é dividido em fases mutuamente exclusivas, separadas por barreiras. Uma fase deve ser concluída antes da próxima poder ter início. Por exemplo, esses processos requerem tipicamente que todos os requisitos do produto estejam definidos antes de iniciar as actividades de *'design'*. A equipa parece fazer isso, e entrega exigências completas de produtos à gestão, no âmbito da revisão da barreira. Seguidamente, recebem autorização para sair da fase de definição de requisitos e começar a fase de projecto do produto. Numa primeira análise, este procedimento parece bastante sensato e funcional. No entanto, o que acontece na prática é bem diferente.

Noventa e cinco por cento dos gestores do desenvolvimento do produto inquiridos admitem que começam a projectar antes de conhecer todos os requisitos. Na verdade, em média, o desenvolvimento do produtos começa quando apenas cinquenta por cento dos requisitos são conhecidos.

O que acontece, efectivamente, é que esta realidade não é comunicada à gestão. Em vez disso, eles se envolvem num ritual consagrado pelo tempo de pedir permissão para prosseguir. Há uma política tácita de "não pergunte, não diga". Os gestores evitam educadamente perguntar se as actividades da próxima fase já começaram, e os técnicos de desenvolvimento discretamente evitam mencionar que já seguiram em frente. Na prática, o comportamento sensato prevalece, apesar da presença de um procedimento formal disfuncional.

A sobreposição clandestina de actividades de *'design'* e especificação é apenas um exemplo simples deste paradigma alternativo em acção. Entre outras coisas, este paradigma enfatiza transferências de lotes pequenos, *'feedback'* rápido e materiais em curso de fabrico limitados. Estes três métodos específicos são, na verdade, largamente aplicáveis a todo o processo de desenvolvimento. Quando entendemos efectivamente como trabalham, podemos adaptá-los a muitas outras situações.

Na sua essência, este novo paradigma enfatiza a realização de fluxo. Ele tem muitas semelhanças com os métodos de produção *'lean'* e poderia ser rotulado de desenvolvimento de produto *'lean'*. No entanto, os métodos de produção *'lean'* foram otimizados para um domínio com características muito diferentes do desenvolvimento do produto (Reinertsen, 2009).

O desenvolvimento de novos produtos (DNP) é uma estratégia fundamental na indústria automóvel. O DNP é uma actividade necessária para os construtores sobreviverem nos mercados turbulentos de hoje. Muitos construtores construíram a sua competitividade e obtiveram um lucro enorme devido ao DNP. Os construtores para fornecer a variedade de produtos que os clientes exigem, apresentarem a competitividade desejada e verem as suas receitas subirem, precisam de ser inovadores. O quadro de DNP fornece as ferramentas adequadas para que os gestores se possam aproximar dos seus objectivos.

O DNP é um processo que tem início numa meta motivadora, atravessa uma fase de concepção da ideia, é reduzido para a prática na sua fase de implementação, e é concluído numa fase de transição, durante o qual o produto se estabelece. O processo que um produto percorre antes da introdução, envolve sete fases:

- geração de ideias;
- triagem das ideias;
- testes de conceito;
- análise de negócios;
- desenvolvimento do produto;
- marketing;
- comercialização-teste.

O DNP é uma actividade interdisciplinar, incluindo a gestão de marketing, organizações, projectos de engenharia, gestão de operações e requer contribuições de quase todas as funções de uma empresa, quer seja um *'upgrade'* (melhoria de um produto existente) ou um novo conceito, seja para a empresa ou para o mercado. Uma área emergente de pesquisa na literatura é o impacto das variáveis organizacionais internas das empresas sobre a capacidade das mesmas para minimizar o tempo e custo do DNP. Assim, o tempo e o custo são dois factores importantes no novo processo de DNP. O DNP também é definido como a transformação de uma oportunidade de mercado e um conjunto de hipóteses sobre tecnologia do produto em um produto disponível para venda. Casos de estudo de inovações reais mostraram que o mercado desempenhou um papel importante em estimular a necessidade de novos e melhores produtos. A previsibilidade do mercado, habilidades de *marketing* e recursos, o reconhecimento de relações de longo prazo entre marcas e clientes (fidelização), interface cruzada funcional, ênfase na compatibilidade, ênfase no custo e serviço e estilo de liderança do gestor de projecto são alguns outros factores importante para o DNP. A redução do tempo de ciclo de DNP pode criar vantagens relativas de quotas de mercado, lucro e competitividade a longo prazo. Resultados empíricos sugerem que projectos de sucesso diferem de projectos mal sucedidos no ambiente de projecto, competências e recursos, liderança de projectos, adequação estratégica, eficiente do processo de DNP e estratégias eficazes de posicionamento do produto.

Além disso, os ambientes do projecto, incluindo a natureza do mercado e do nível de concorrência desempenham um papel importante no sucesso ou fracasso do projecto. Os fornecedores têm também um impacto grande e directo no custo, qualidade, tecnologia e tempo para o lançamento de novos produtos. O líder do projecto é outro factor que afecta criticamente o desempenho do processo e da eficácia do produto e facilita a comunicação entre a equipa de projecto e a gestão de topo. A proficiência do processo de DNP e o papel e compromisso da alta administração foram factores-chave de diferenciação entre o sucesso e o fracasso. Além disso, uma boa comunicação foi identificada como crucial para o sucesso da inovação. A colaboração fornecedor-cliente é uma questão bastante complicada e difícil. Clientes (alguns autores chamam compradores) e fornecedores estão a enfrentar uma série de problemas na área da gestão de desenvolvimento colaborativo de novos produtos. O bom planeamento é levado a incluir procedimentos de controlo de custos do projecto, planeamento e controlo da produção, assim como estabelecer previsões sobre a receptividade do mercado para novos produtos (Bahar, 2012).

2.2. O desenvolvimento do produto na área automóvel: uma breve revisão

Ao longo de todo o seu ciclo de vida, os veículos têm impactos no ambiente de várias formas: consumo de energia e de recursos, resíduos gerados durante a sua fabricação e uso e eliminação no final da sua vida útil. Cerca de 75% dos materiais resultantes dos veículos em fim de vida, principalmente os materiais metálicos, são recicláveis na União Europeia. O restante (~25%) do veículo é considerado resíduo e geralmente é dirigido para aterros sanitários (Smink, 2007).

Foi necessária uma maior atenção da Europa para este problema, numa tentativa de que, em termos mundiais, se definissem normas que regulamentassem a reciclagem de automóveis em fim de vida (Bellmann, 1999).

Assim, em 1997, a Comissão Europeia adoptou uma proposta de directiva que visa o desmantelamento e reciclagem de veículos de forma a proteger o ambiente, definindo metas claras e quantificadas de reutilização, reciclagem e recuperação de veículos e seus componentes, impelindo os produtores a fabricar os novos veículos usando uma maior percentagem de materiais recicláveis. Esta legislação foi oficialmente adoptada pelo Parlamento Europeu em Setembro de 2000 e foi publicada no Jornal Oficial sob a referência L269 de 21 de Outubro. De acordo com esta Directiva, “o mais tardar até 1 de Janeiro de 2015, a reutilização e valorização de todos os veículos em fim de vida deve ser dilatada para um mínimo de 95 %, em massa, em média, por veículo e por ano. Dentro do mesmo período, a reutilização e reciclagem deve ser incrementada para um mínimo de 85 % em massa, em média, por veículo e por ano.” (Directiva 2000/53/CE, 2000).

Devido ao facto de o poliuretano ser termoendurecível (forma ligações cruzadas entre moléculas que não se quebram com o reaquecimento), a sua reciclabilidade é muito difícil. Segundo Modesti e Simioni (Modesti et al, 1995), peças provenientes da indústria automóvel em R-RIM PU rejeitadas de produção e no final do seu ciclo de vida, podem ser recicladas para a produção do novo PU RIM por processos químicos, nomeadamente hidrólise, alcoólise, aminólise ou pirólise.

Porém, tais processos não são vulgarmente utilizados na prática, pois requerem volumes de PU da ordem das centenas de toneladas para serem economicamente viáveis. Assim, o procedimento mais usual de reutilização de PU é a trituração e utilização de partículas de PU como enchimento em espumas de PU, embora com sucesso limitado (Ecopur Technologies, 2012).

Sabendo que o PVC também coloca problemas quanto à reciclabilidade e ao impacto ambiental, é de notar que “A Comissão está actualmente a analisar o impacto ambiental do PVC” (Directiva 2000/53/CE, 2000). Para este trabalho tal não foi tido em consideração, pois tanto a peça anterior como a peça desenvolvida actualmente são revestidas com PVC.

Do que foi exposto anteriormente, a substituição do poliuretano por um termoplástico é um passo importante no sentido de facilitar a reciclabilidade de diversos componentes do automóvel.

2.3. O desenvolvimento dos produtos poliméricos na área automóvel

Os *‘designers’* e engenheiros ligados à indústria automóvel há muito que sonham fazer um carro supereficiente, seguro e leve. Agora podemos já não estar muito longe de um carro totalmente de plástico que atenda a esses critérios e possa ser produzido em massa.

O primeiro carro de plástico foi feito pela Ford em 1941. Usando um plástico composto por 70% de celulose, o carro era leve: pesando menos 30% do que as peças homólogas de metal. Mas, o facto do aço e a gasolina do pós-guerra terem descido significativamente de preço, tornaram os automóveis de plástico pouco atraentes.

Quando se pensa na estrutura de um automóvel, o metal que compõe a estrutura, elementos de ligação e carroçaria vem à mente – fornecendo estabilidade, forma e segurança ao veículo e aos seus ocupantes. No entanto, os plásticos estão cada vez mais substituindo metais na fabricação de automóveis hoje em dia, e atingindo, se não ultrapassando, os requisitos de estabilidade, forma e segurança exigidos pelo mercado.

Apesar dos automóveis de alta tecnologia usarem cada vez mais fibra de vidro e outros não-metais, a sua estrutura principal é ainda quase completamente realizada em metal. O desafio que a indústria dos plásticos tem é o *chassis*, que tende a ser a secção com o peso mais elevado do veículo. No entanto, nos últimos anos têm sido realizados investimentos substanciais em investigação & desenvolvimento no sentido de incrementar a utilização de peças de fibra de carbono em aplicações que visam o *chassis* e a carroçaria. Quando adaptado com sucesso, este seria um grande salto para a engenharia automóvel, e mais um passo para o automóvel realizado integralmente em plástico.

Os consumidores estão dispostos a gastar mais, quando um carro vem com um rótulo ecológico ou de poupança de combustível. Alguns fabricantes de automóveis de luxo viraram-se, recentemente, para os compósitos de fibras de carbono como peças estruturais e da carroçaria. No entanto, os elevados custos de matérias-primas como a fibra de carbono é ainda um factor determinante. Se o custo não fosse um problema, os carros poderiam ser completamente produzidos em fibra de carbono. O custo do aço ainda continua a ser um décimo do da fibra de carbono, embora os custos de fibra de carbono tenham caído dez vezes na última década. Mas tudo isso está prestes mudar...

O avanço na inovação e requisitos de maior eficiência de combustível resultará, sem dúvida, no incremento do uso de plásticos nos automóveis. Neste momento, mais de 50% do volume de um veículo típico é composto de materiais plásticos e compósitos poliméricos, sendo que estes representam apenas 10% do peso total do veículo.

No entanto, outras mudanças estão ocorrendo progressivamente na indústria automóvel. Por exemplo, os padrões de economia de combustível estão a ficar cada vez mais rigorosos. Pode ser conseguida uma redução de 10% no peso do veículo (cerca de 100 kg) com o uso de materiais leves como o plástico, resultando em 5% de economia de combustível ou 2,5 litros por kg de plásticos usados durante o tempo de vida médio de um veículo. Além disso, a utilização de janelas em policarbonato, em desenvolvimento há mais de 10 anos, está agora quase pronta para a produção em massa, podendo contribuir para uma redução do peso das janelas em cerca de 50%.

Outra vantagem chave dos polímeros é o facto de serem transformados por moldação e não estampagem. Os moldes possibilitam a criação de formas complexas que são difíceis de alcançar com o aço estampado, possibilitando ainda a integração de diversas peças numa só e a injeção de diversas e diferentes peças num único ciclo de produção. Actualmente, verifica-se ainda uma crescente utilização de materiais poliméricos nos veículos automóveis.

Rapidamente, a indústria automóvel vai reconhecer os polímeros como o material preferido para produção. Em muitos casos, os plásticos irão definir o desempenho do automóvel, assim como estabelecer novos padrões de sustentabilidade para o futuro (PlasticsEurope, 2012).

Os compósitos de matriz polimérica datam dos primeiros dias na indústria automóvel, quando a madeira era usada como material de reforço. Na década de 1950, a *General Motors* lançou um *Corvette* com *chassis* em materiais compósitos, tendo aparentemente começando o 'boom' dos compósitos (Smock, 2012).

Recentemente, um projecto apoiado pelo governo alemão promovendo a "investigação para o futuro da produção" apresentou, num evento recente, as suas conclusões sobre o processo de "SpriForm" para componentes estruturais leves. Este processo de produção combina as vantagens da moldação por injeção de termoplásticos com a termoformação de produtos semiacabados reforçados com fibras contínuas (designadas também por folhas orgânicas) para aplicações em componentes estruturais leves. As folhas orgânicas apresentam uma forma semelhante a placas, sendo a fibra de reforço impregnada numa matriz de poliamida (PA). A placa é constituída por seis camadas de fibra de 0.5 mm e uma matriz de PA6 (Poliamida 6), para uma aplicação de protecção contra o impacto.

No processo de produção "SpriForm", folhas individuais pré-aquecidas num forno de infravermelhos são inseridas num molde de injeção, sendo fixadas no sítio correcto por meio de agulhas hidráulicas. Simultaneamente, do outro lado do molde, é removida uma peça acabada. A folha recém-inserida é termoformada e injectada com nervuras de reforço, sendo os seus bordos totalmente sobre-moldados.

Numa apresentação recente deste projecto de desenvolvimento, estiveram representadas um grande número de empresas para se inteirarem dos avanços desta tecnologia. De acordo com os participantes no evento, a tecnologia de compósitos de fibra tende a tornar-se numa vertente muito importante na construção automóvel de baixo peso e a percentagem de plásticos como matéria-prima preferencial na área automóvel vai continuar a aumentar, de acordo com os investigadores do projecto (Moore, 2012).

2.4. A injeção de peças para a área automóvel: desenvolvimento do processo

O método de desenvolvimento de um processo de moldagem por injeção que assegure repetibilidade e confiança é absolutamente essencial para a produção de qualquer produto com a devida qualidade ao longo do tempo normal de duração de um molde de injeção. A maioria dos transformadores de plásticos adoptaram formas de desenvolvimento do processo que estão em consonância com os princípios de moldagem por injeção de acordo com determinados conceitos mais científicos, mas muitas vezes os aspectos do processo ficam comprometidos devido a problemas de qualidade.

Por vezes são aceites deficiências no estabelecimento do processo devido à geometria da peça e / ou projecto de molde, mas estes compromissos muitas vezes podem limitar a forma como um processo pode ser repetitivo e reduzir significativamente a janela de processamento global. Isto leva a que o processo fique mais próximo do insucesso, comprometendo a qualidade e inviabilizando o sucesso do produto, através de uma qualidade inadequada, falta de competitividade ou prazos de entrega irregulares. A maioria destes problemas pode ser absolutamente evitada apenas por não se entender onde e quando começa efectivamente o desenvolvimento do processo. Se entendermos que esse processo se inicia, entenderemos melhor quem precisa ser envolvido em cada nível do desenvolvimento.

O desenvolvimento do processo, acredite-se ou não, começa logo no RFQ (*Request For Quotation*). Quando um pedido de cotação para um produto em plástico é recepcionado, deve ser realizado desde logo um 'briefing' da equipa para analisar qual a melhor forma de o realizar. Isso permitirá o cruzamento de diferentes ideias para a sua realização, permitindo a optimização da produção e o respectivo incremento da produtividade e competitividade do produto no mercado. Esta equipa deve incluir:

- Engenharia de moldes;
- Engenharia de produção;
- Engenharia de processo.

Envolvendo os engenheiros de cada uma destas áreas desde o início, as hipóteses de ter um arranque bem-sucedido terão certamente tendência a ser muito maiores. Estes indivíduos devem ser experientes o suficiente para olhar para o projecto inicial das peças e assegurar a sua moldabilidade. Estando envolvidos no processo de RFQ, também ajudarão a dar estimativas mais próximas dos tempos de ciclo e custos das ferramentas, sendo que ambos são muito importantes na apresentação de cotações.

Engenheiros de processo e de ferramentas devem ser capazes de identificar de forma rápida e concisa quais os problemas que poderão surgir na realização de um dado produto. É extremamente importante um bom entendimento de moldação por injeção e conhecimento científico do que é exigido no projecto da peça para desenvolvimento do respectivo processo. O seu conhecimento irá permitir o envio de sugestões ao cliente que podem assegurar a realização das peças iniciais com elevada qualidade e podem mesmo determinar se existe interesse do moldador ou não na produção do produto.

Se um potencial cliente não está interessado em fazer modificações para melhorar a capacidade do processo, deverá ponderar-se se esse cliente é um bom parceiro para o negócio. O desenvolvimento do processo continua durante toda a fase de cotação e desenvolvimento do projecto, e este trabalho inicial irá reduzir ou eliminar absolutamente a necessidade de resolução de problemas durante o processo de moldação por injeção (Gattshall, 2012).

3. Desenvolvimento

3.1. Breve introdução ao trabalho prático

A necessidade de desenvolvimento deste processo surge na sequência do desafio lançado pelo departamento de compras do construtor automóvel em questão a uma empresa portuguesa que fornece há longos anos peças plásticas para a indústria automóvel. Apesar de mesmo no construtor automóvel haver departamentos que não se mostravam favoráveis ao projecto, o desafio foi lançado, pois para além da redução de custos (provavelmente o factor principal na óptica do cliente), seria mais um passo no sentido de cumprir com a DIRECTIVA 2000/53/EC DO PARLAMENTO EUROPEU, relativa aos veículos em fim de vida.

3.2. Breve caracterização da empresa onde foi desenvolvido o trabalho prático

A Simoldes Plásticos, S.A. está localizada em Oliveira de Azeméis e é uma empresa de produção de peças injectadas em material polimérico.

A sua actividade centra-se principalmente no ramo automóvel, enquanto outras empresas do grupo se dedicam à indústria eléctrica e electrónica, embalagem e puericultura. Outra actividade importante de todas as empresas da Divisão de Plásticos é o suporte de ensaios.

A Simoldes Plásticos possui especialização em diversas tecnologias nas áreas da injeção, compressão, acabamento e acabamento de superfícies, de forma a responder a um mercado cada vez mais exigente e competitivo.

Desde a sua criação, a empresa tem vindo a crescer substancialmente num mercado de elevada exigência, devido à sua capacidade de resposta, traduzida em *'lead-times'* adequados e, fundamentalmente, no desempenho de uma equipa altamente qualificada e competente, capaz de dominar e implementar os sucessivos desenvolvimentos tecnológicos.

A Simoldes Plásticos é um fornecedor directo de diversos OEMs (*'Original Equipment Manufacturer'*) em várias regiões do globo.

As peças produzidas pela empresa para o sector automóvel estão representadas na Figura 2.

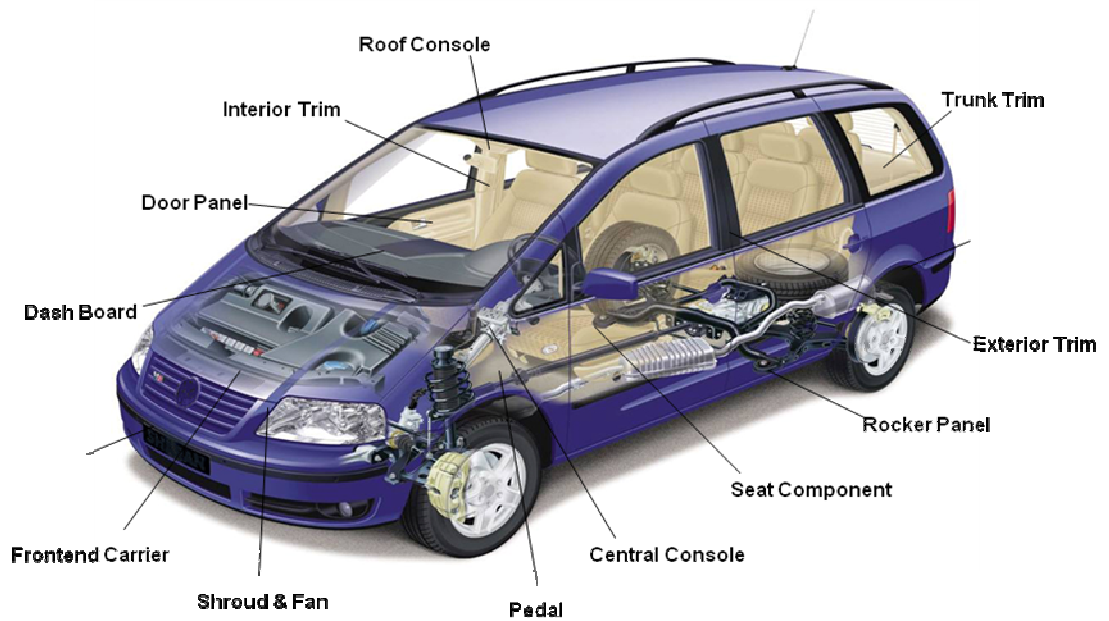


Figura 2 - Identificação de peças produzidas pela Simoldes Plásticos

Os principais mercados de exportação da Simoldes – Plásticos, S.A. são a Alemanha, França e Espanha e os principais clientes são:

- PSA Peugeot Citroën
- Renault
- Volvo
- VW
- Audi
- Nissan
- Toyota
- Porsche
- Ford
- Seat
- Skoda
- Honda
- Mercedes
- GM
- Mitsubishi
- Dorel
- AmtrolAlfa
- Faurecia

3.3. O produto

3.3.1. Definição do produto e seus componentes

O produto abordado neste trabalho é um conjunto montado, usado em automóveis do tipo 'cabriolet'. O estado da arte de tais conjuntos nos modelos do construtor para o qual este conjunto foi desenvolvido, implicam a utilização da tecnologia *Reinforced Reaction Injection Molding* (R-RIM), usando como matérias-primas o Poliuretano (PU) reforçado com manta de fibra de vidro sobre PVC, incluindo ainda suportes de componentes em Poliacetal (Polioximetileno – POM). O produto abordado neste trabalho é composto por peças obtidas pelo processo de moldação por injeção de termoplásticos, sendo este processo o 'core business' da empresa onde este trabalho foi desenvolvido. Para além deste processo, e tendo em atenção a obtenção do conjunto montado, é ainda necessário:

- revestir a peça exterior a PVC, termoformando-o e colando-o;
- montar componentes e peças;
- soldar os subconjuntos por ultra-sons.

Para se poder atingir o mesmo nível de desempenho de uma peça reforçada com manta de fibra de vidro através de um produto simplesmente moldado por injeção, tornou-se necessário reforçar a mesma com nervuras e apoios à chapa, aproveitando a parte técnica para o efeito. Isso mesmo poderá ser observado na figura seguinte (Figura 3), embora a mesma se refira ao 'benchmark' realizado sobre uma peça de PU reforçada com manta de fibra de vidro.



Figura 3 - Peça em PU reforçada com manta de fibra de vidro ('benchmark')

De salientar que a forma final desta peça, com o número de reforços entretanto criados, inviabilizava a sua moldação num único componente. Tal facto ficou a dever-se, essencialmente, a dois factores:

- forma/posicionamento dos reforços;
- espessura.

Assim, e mesmo sabendo que a peça virá a ser revestida com PVC, verificava-se existir um forte risco de contracções localizadas originadas pela grande massa de material, podendo as mesmas ser perceptíveis na parte visível, após montagem no automóvel. Devido a estes factores, tornou-se necessário proceder ao tratamento diferenciado da parte técnica e da parte visível, dividindo o conjunto em duas peças distintas, sendo posteriormente necessário soldar o conjunto por ultra-sons.

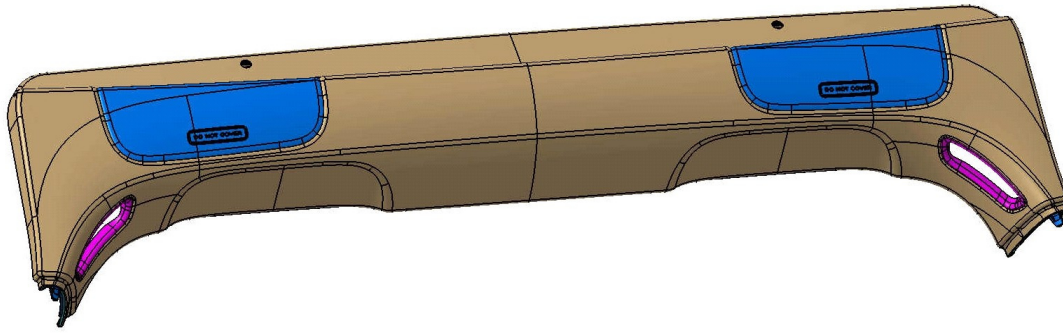


Figura 4 - Imagem de modelo 3D do conjunto 'Rückwand' (lado visível)

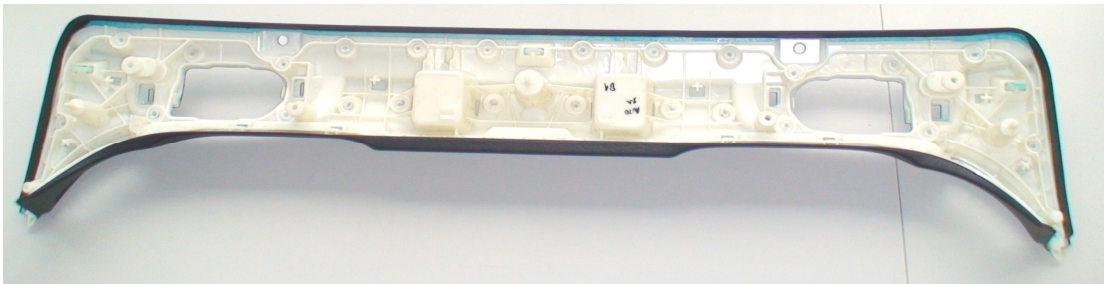


Figura 5 - Conjunto 'Rückwand' (lado técnico)

No conjunto usado para 'benchmark', por ser a mais semelhante ao conjunto a desenvolver, as peças 'Deckel L_i e R_e ' não existiam, pois a protecção de cabeças em caso de capotamento era assegurada por barras fixas ao chassis do carro conforme se mostra na figura seguinte (Figura 6).



Figura 6 - Protecção de cabeça fixa, da peça usada como 'benchmark'

Noutros modelos do construtor, apesar de também ser usado um princípio de sistema activo de protecção de capotamento semelhante, a protecção está integrada no apoio de cabeça, pelo que tiveram que ser desenvolvidas peças para ocultarem este sistema, mas também permitirem a sua saída em caso de capotamento, sem a dificultar, nem haver o perigo de ferir os ocupantes.



Figura 7 - Protecção de cabeça integrada no apoio de cabeça

Com esta finalidade foram desenvolvidas as peças '*Deckel Li e Re*', para cumprirem as funções solicitadas.

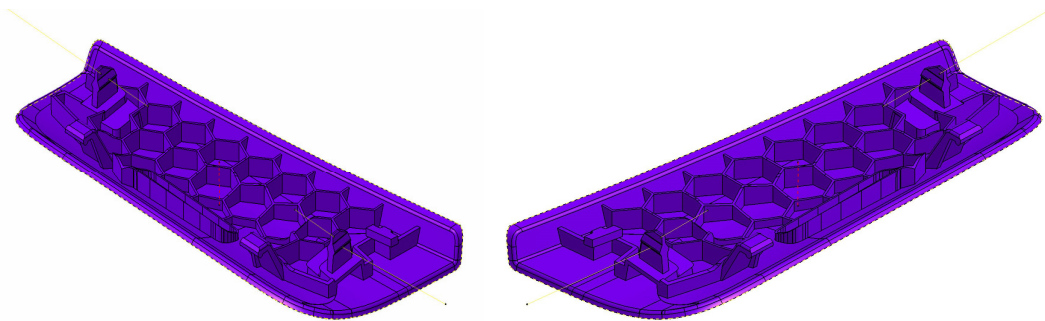


Figura 8 - Imagem do conceito inicial das peças '*Deckel Li e Re*'

Inicialmente foram concebidas peças únicas mas, posteriormente, com recurso a simulações pelo método de elementos finitos e devido ao facto de existir risco elevado do aspecto das peças ficar degradado, em virtude do elevado número de nervuras de reforço que as peças deveriam ter, ou poder originar marcas de contracção localizada na superfície visível da peça, estas peças foram alteradas para conjuntos montados e soldados por ultra-sons.

As peças desenvolvidas e injectadas pela empresa são as seguintes:

- '*Rückwand Outer*' - peça principal exterior que será revestida em PVC

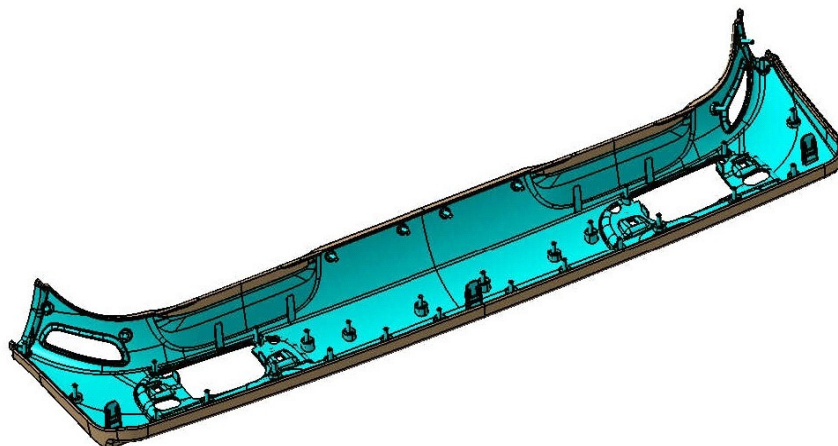


Figura 9 - Imagem de modelo 3D da peça '*Rückwand Outer*'

- *'Rückwand Inner'* - reforço estrutural da peça principal

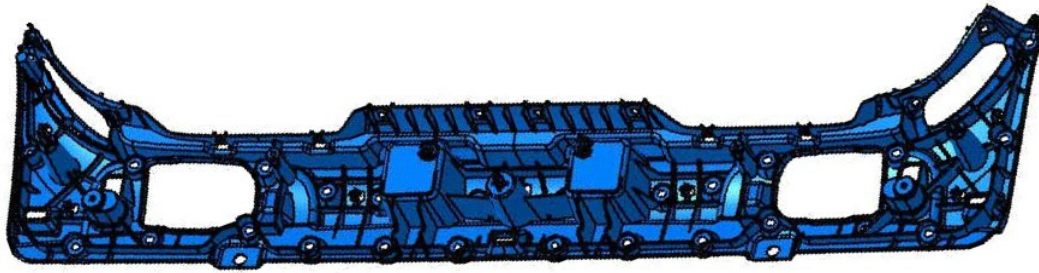


Figura 10 - Imagem de modelo 3D da peça *'Rückwand Inner'*

- *'Deckel ZSB Li+Re'* - tampas esquerda e direita que ocultam o sistema de protecção dos passageiros em caso de capotamento

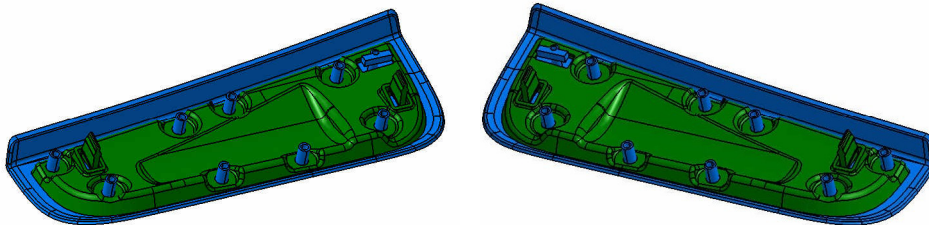


Figura 11 - Imagens de modelos 3D dos conjuntos *'Deckel Li e Re'*

Estes conjuntos são formados pelas seguintes peças:

- *'Deckel Outer Li+Re'* - tampas exteriores esquerda e direita

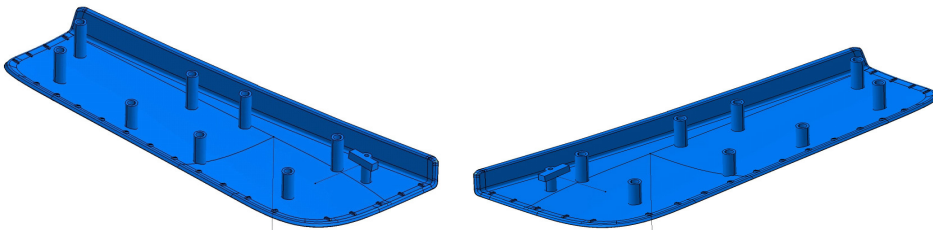


Figura 12 - Imagens de modelos 3D das peças *'Deckel Outer Li e Re'*

- *'Deckel Inner Li+Re'* - reforços das tampas exteriores

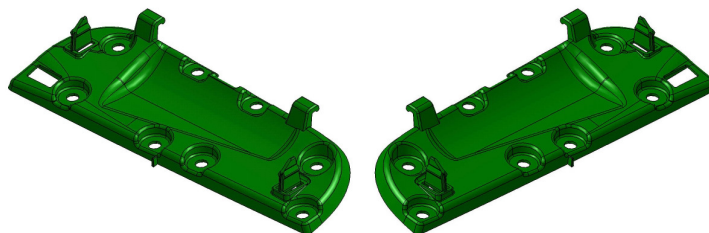


Figura 13 - Imagens de modelos 3D das peças *'Deckel Inner Li e Re'*

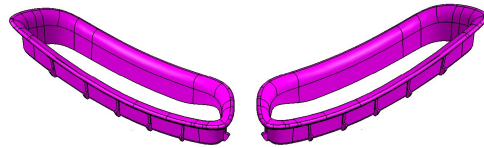


Figura 14 - Imagens de modelos 3D das peças 'Gurtblende Li e Re'

3.3.2. Função do produto

O conjunto é utilizado no veículo como elemento estético, fazendo a transição entre as peças do interior e as do exterior do veículo, ao mesmo tempo que oculta os mecanismos de abertura da capota e o sistema activo de protecção de capotamento, não obstruindo o seu funcionamento e protegendo os ocupantes de serem atingidos por peças soltas. Serve também como passagem do cinto de segurança nas aberturas laterais, impedindo a degradação por fricção do cinto no contacto com o conjunto.

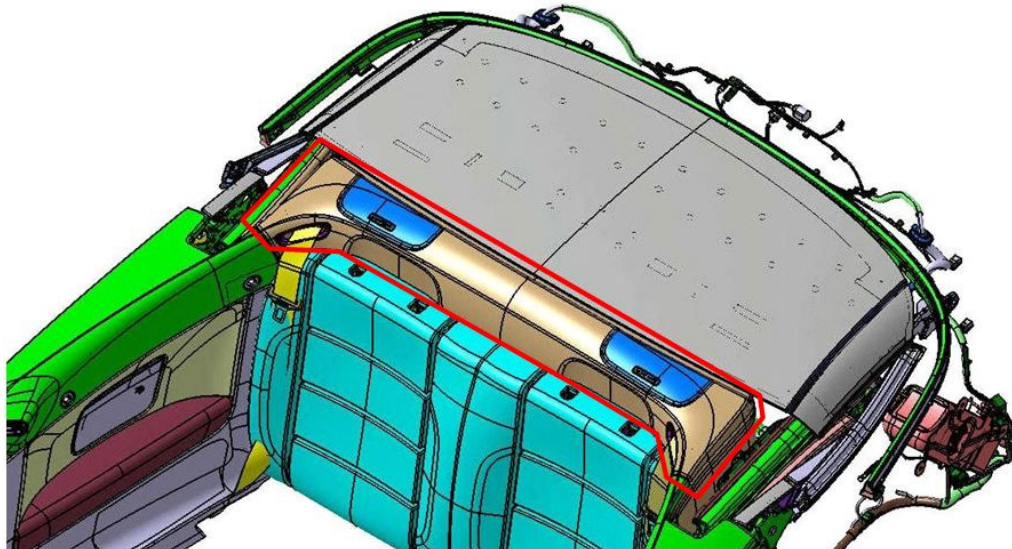


Figura 15 - Imagem de modelo 3D (conjunto + envolventes), com localização da peça no carro

O conjunto desenvolvido teve que atingir o mesmo nível de desempenho funcional, da peça que irá substituir, tendo-se recorrido para tal à simulação por elementos finitos ('*FMES - Finite Module Elements Simulation*') por forma a certificar esta situação.

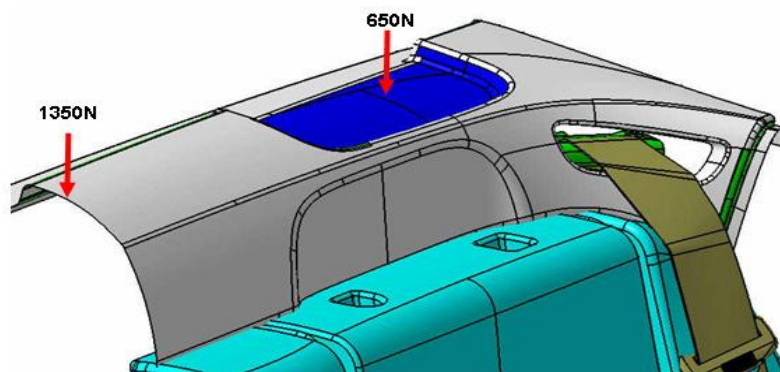


Figura 16 - Solicitações que o conjunto deverá suportar

Uma das condições do caderno de encargos deste conjunto (a mais exigente) refere que a peça tem que suportar duas cargas de 65 kg na zona dos 'Deckels'.

Apenas como curiosidade, foi referido informalmente pelo construtor que esta condição resulta do facto de o veículo a que o conjunto se destina ser do tipo 'cabriolet', e ser necessário assegurar a segurança necessária no caso de duas pessoas se sentarem em cima da peça no carro (conforme o indicado na Figura 16), considerando o construtor que a anatomia das pessoas que o poderia fazer, seria do tipo "Cheerleader". O construtor chama inclusive ao teste real feito com a peça no carro, "Girly test".



Figura 17 - Exemplo de solicitação a que o conjunto está sujeito "Girly test"

3.3.3. Materiais utilizados e razões da sua utilização

O uso do composto PC/ABS (Policarbonato / Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno) para a peça 'Rückwand Outer', prende-se com o facto de ser uma peça estrutural que necessita apresentar resistência mecânica a alta e baixa temperatura superior à do ABS, sendo mais económico que o PC, mas que permita também uma boa colagem/adesão do revestimento de PVC.

Outra propriedade importante deste material é a sua facilidade de processamento, pois possui uma menor viscosidade comparativamente ao PC.

Este material proporciona as características mais desejáveis de cada um dos dois materiais: temperatura de trabalho relativamente elevada (tendo em consideração a família destes materiais) e resistência ao impacto superiores, características do PC e a flexibilidade própria do ABS. Em anexo (ANEXO I) poderá ser observada a ficha técnica com as características deste material, das quais se destacam as propriedades genéricas seguintes:

- Óptima resistência ao impacto (200 - 600 J/m)
- Elevada resistência térmica (HDT a 1.82 MPa de 105 - 120°C)

- Alta rigidez (Módulo Young 2.3 GPa, ISO 527-1,-2)
- Alta dureza (Rockwell R 110, ISO 2039-2)
- Excelente estabilidade dimensional (0.75 a $0.8 \cdot 10^{-4}/K$, ISO 11359-1,-2)
- Coeficiente de contracção térmica baixo (0.5 a 0.7% , ISO 2577)

em que HDT (*'Heat Deflection Temperature'* ou *'Heat Distortion Temperature'*) representa a temperatura à qual um polímero se deforma quando sujeito a uma carga específica.

Normalmente este tipo de material é usado em peças interiores para a indústria automóvel, localizadas acima do nível da cintura, onde a temperatura ambiente pode atingir 80°C a 110°C .

Na peça *'Rückwand Inner'*, por ser a peça que funciona como reforço do *'Rückwand Outer'* e, portanto, por maioria de razão, sujeito aos mesmos esforços deste, mas também, por se pretender que o conjunto soldado por ultra-sons se comporte como uma única peça, usamos o mesmo material, PC/ABS, pois permite que a peça usufrua das boas características mecânicas que este material proporciona, e uma óptima soldabilidade com o *'Rückwand Outer'*, pois ambas as peças serão produzidas na mesma matéria-prima.

Outra razão para esta escolha, porventura a mais importante, é que tendo o *'Rückwand Inner'* e o *'Rückwand Outer'* a mesma matéria-prima, haver a possibilidade de geminar os dois moldes, podendo estes trabalhar como um só numa máquina convencional (uma única unidade de injeção). Esta opção permite, em termos económicos, a possibilidade de redução de 1 operador, pois em vez de 1 operador em cada máquina com 1 peça cada, passaríamos a ter 1 operador numa máquina com 2 peças. Outra vantagem económica está relacionada com a comparação do custo/hora de 2 máquinas de uma determinada pressão de fecho, relativamente ao custo/hora de uma máquina com o dobro da capacidade (no pior dos casos). Para o presente caso, o custo/hora de uma máquina de 1200 ton é menor que o dobro do custo/hora de uma máquina de 600 ton.

Nos conjuntos *'Deckel ZSB Li+Re'*, por serem peças que não serão revestidas a PVC, mas que terão que suportar os impactos do sistema activo de protecção de capotamento, a matéria-prima seleccionada foi o ASA/PC (Acrilato de Acrilonitrilo Estireno/Policarbonato). A principal razão para esta escolha, está relacionada com o facto deste material, mesmo após exposição prolongada às condições meteorológicas, não apresentar a mudança de cor típica do ABS, mesmo para os que são estabilizados para resistência aos raios ultravioleta. Pelo lado económico, o uso deste material torna-se bastante mais barato do que o uso do ABS/PC, sendo depois sujeito a um processo de pintura.

Para os *'Gurtblende Li+Re'* foi seleccionada uma Poliamida 66/6 (PA), pois este material tem muito boa resistência à abrasão. Esta característica foi fundamental para a sua selecção, pois estas peças farão de ponto de apoio do cinto de segurança, devendo as peças impedir que, com a fricção contínua do cinto, não haja degradação nem do cinto nem das peças, impedindo o contacto do cinto com os *'Rückwand Inner'* e *'Outer'*.

Foram ainda consideradas as seguintes características na selecção deste material para estas peças:

- Alta rigidez e elevada temperatura de trabalho – necessária já que, sendo estas peças pequenas, com pouca superfície resistente a suportar os esforços de desmontagem, terem que suportar esforços transmitidos pelo cinto de segurança e estarem sujeitas a temperaturas elevadas;
- Excelente resistência ao impacto a altas e baixas temperaturas;

- Facilidade de processamento – devido à geometria das peças, o processo de injeção terá sempre tendência a deixar marcas de união de fluxos de material, pelo que, sendo as peças visíveis, é importante que esta marca seja controlável através da variação dos parâmetros de processo.

3.4. O Molde

3.4.1. Condicionalismos a que o molde tem que obedecer

3.4.1.1. Força de fecho

Uma das principais condicionantes que um determinado molde impõe na escolha da máquina onde deverá/poderá trabalhar é a força de fecho (FF em toneladas - ton) que esta necessitará de possuir para manter o molde fechado durante o processo de injeção. A força necessária para a moldação deverá respeitar a seguinte expressão:

$$FF > \frac{P \times AP}{1000} \quad (1)$$

em que FF representa a Força de Fecho, expressa em Kg, P representa a Pressão de Injeção, em kg/cm^2 , e AP representa a Área Projectada da cavidade de moldação, expressa em cm^2 . A título de exemplo, para um disco em forma de cone truncado, a área projectada é a superfície delimitada pela projecção das linhas de partição da peça, nos pratos da máquina de injeção.

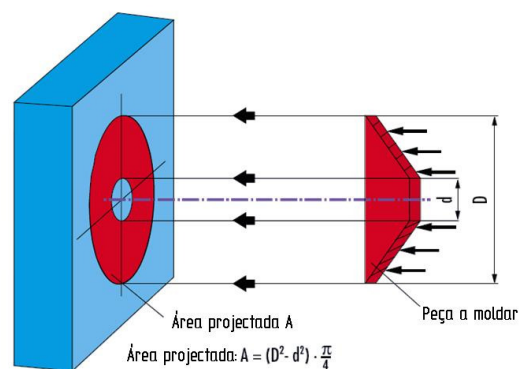


Figura 18 - Exemplo de cálculo de área projectada

Usando a ferramenta informática CATIA V5, poderemos facilmente obter as áreas projectadas para cada uma das peças, após definição do vector de desmoldagem, que serão as seguintes:

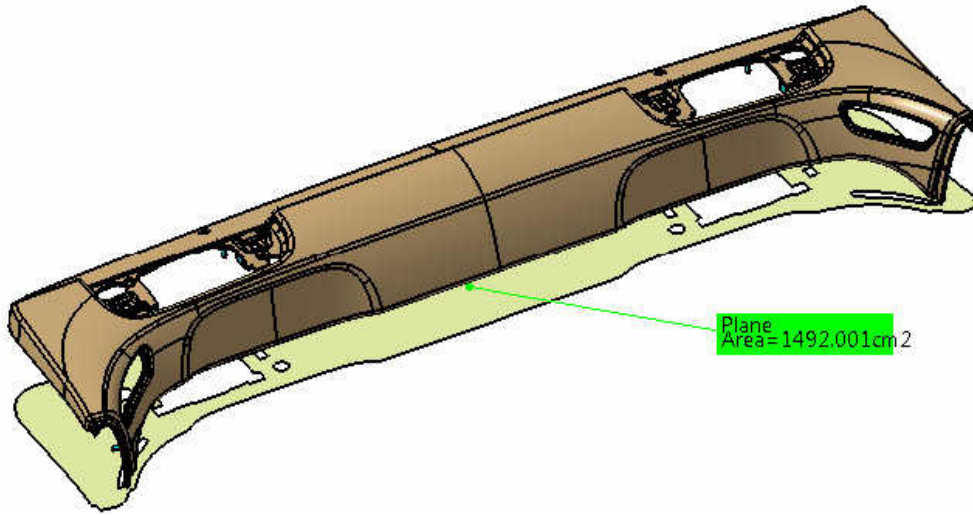


Figura 19 - Área projectada da peça 'Rückwand Outer'

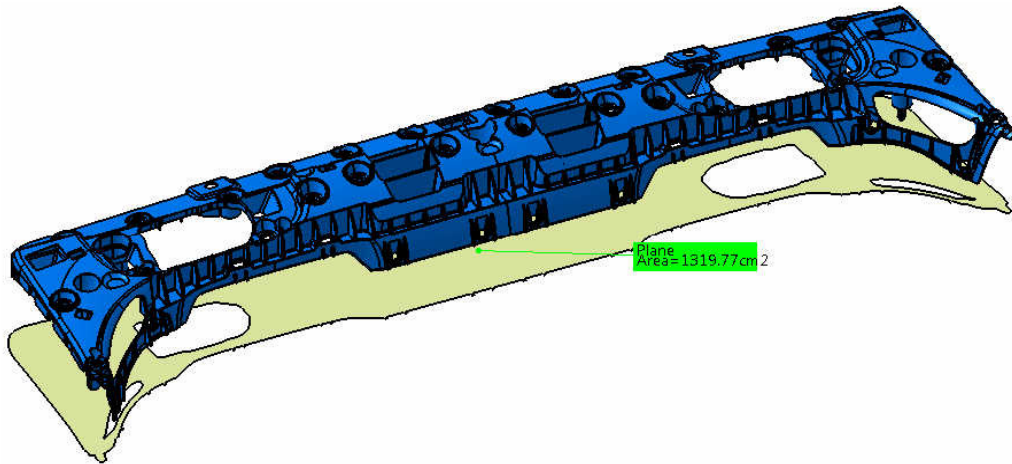


Figura 20 - Área projectada da peça 'Rückwand Inner'

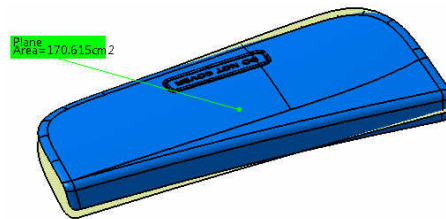


Figura 21 - Área projectada das peças 'Deckel Outer Re'

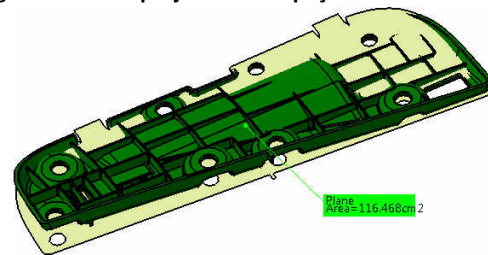


Figura 22 - Área projectada das peças 'Deckel Inner Re'

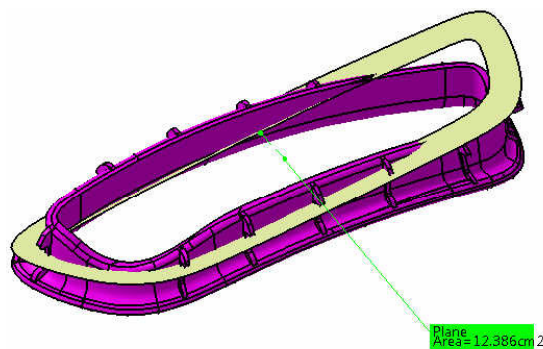
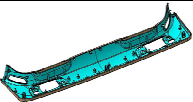






Figura 23 - Área projectada das peças 'Gurtblende Re'

Tabela 1 - Áreas projectadas por molde

Peça		Área projectada total do molde (cm ²)
Rückwand Outer		1492.0
Rückwand Inner		1319.8
Deckel Outer Li+Re		2 x 170,6 + 2 x 116.5 = 574.2
Deckel Inner Li+ Re		
Gurtblende Li+ Re		2 x 12.4 = 24.8

A pressão de injeção necessária para encher a zona de moldação é condicionada por diversas variáveis, tais como:

- Viscosidade do material;
- Espessura média da peça;
- Comprimento de fluxo, definido como sendo a distância entre o ponto de injeção e o ponto mais afastado da peça.

Por exemplo, para o material PC/ABS Bayblend® T85 XF, o fornecedor facultada dados que permitem calcular o valor teórico da força de fecho, sabendo a espessura da peça e o comprimento máximo de fluxo.

As peças 'Rückwand Outer' e 'Rückwand Inner' têm espessura de parede de 2.2 e 2.5 mm e o comprimento máximo de fluxo é de 241 e 190 mm, respectivamente. Usando estes valores no gráfico anterior, podemos retirar que o valor da pressão de injeção necessária para encher as cavidades das peças mencionadas é, respectivamente, 480 bar e 380 bar.

Convertendo os valores da pressão em bar para kg/cm² usando o factor de conversão 1 bar – 1.019716 kg/cm², obtemos pressões de injeção de 489.5 e 387.5 kg/cm². Aplicando estes valores na expressão de cálculo da força de fecho, obtemos forças de fecho de 730 e 511 ton, para as peças 'Rückwand Outer' e 'Rückwand Inner', respectivamente. Porém, nem todos os fabricantes de matéria-prima têm informação tão pormenorizada e, mesmo para outros tipos de produtos (outra família de produtos) do mesmo fabricante, não é disponibilizada esta informação.

Comportamento do fluxo
Valores teóricos para cálculo

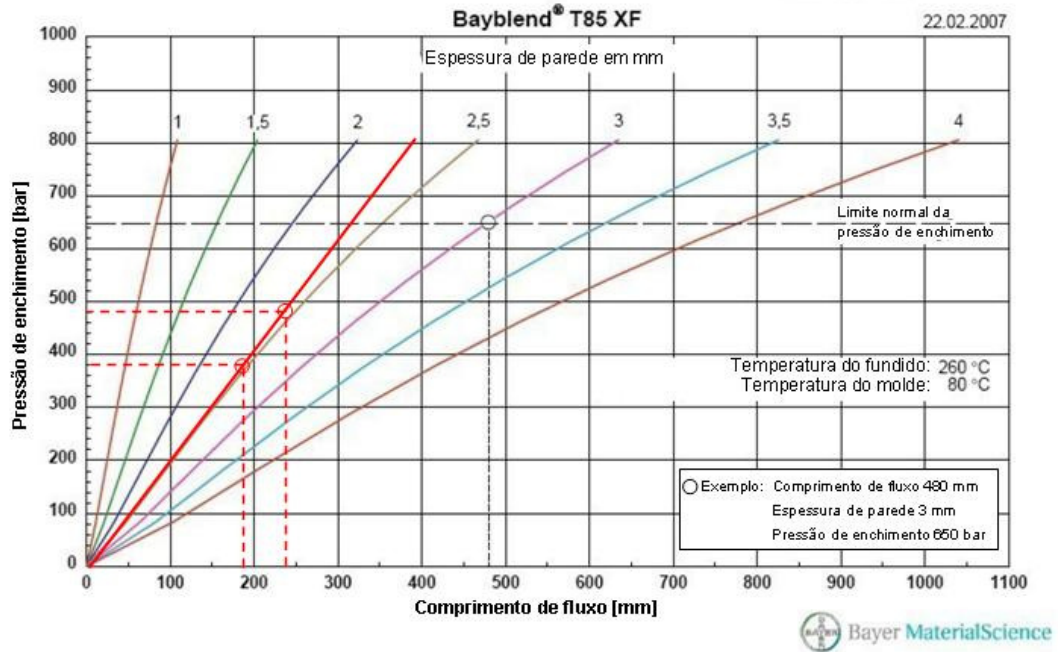


Figura 24 - Pressão de enchimento para peças 'Rückwand Outer' e 'Rückwand Inner'

Na empresa onde este processo foi desenvolvido existem ferramentas informáticas e meios computacionais que permitem obter estes valores de uma forma mais expedita. O programa informático 'Autodesk Moldflow' possui uma base de dados das características de uma grande diversidade de materiais existentes, sendo esta actualizada quase permanentemente. Com esta ferramenta informática podemos simular enchimentos de peças (estudos reológicos), definir a melhor forma e localização dos 'ataques' à peça, prever alterações na geometria das peças para facilitar o seu enchimento e prever possíveis empenos nas peças e nas zonas do molde que poderão ser afectadas por sobreaquecimento.

Das simulações efectuadas para cada molde, obtivemos as forças de fecho que se apresentam seguidamente:

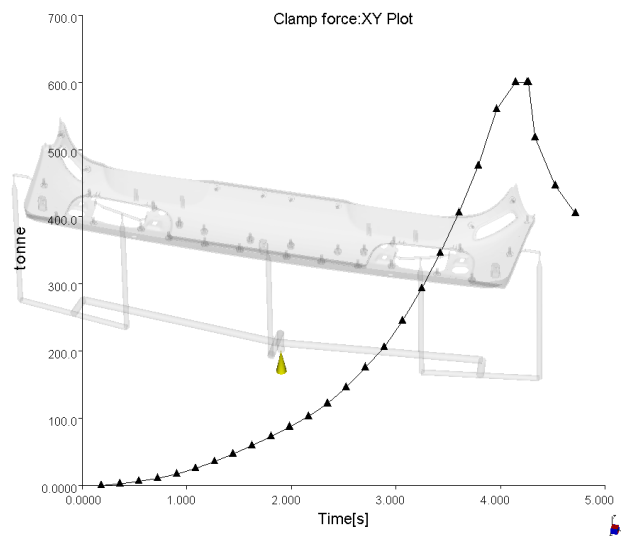


Figura 25 - Gráfico da evolução teórica calculada da força de fecho para peça 'Rückwand Outer'

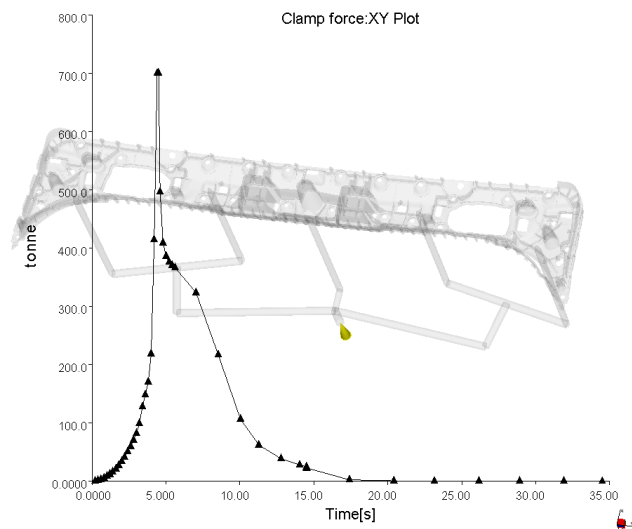


Figura 26 - Gráfico da evolução teórica calculada da força de fecho para peça 'Rückwand Inner'

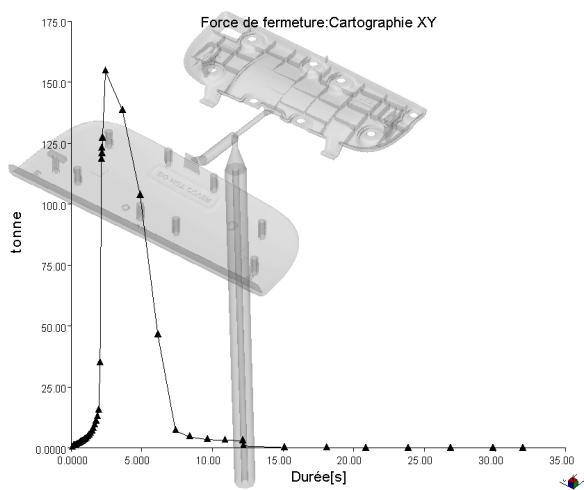


Figura 27 - Gráfico da evolução teórica calculada da força de fecho para peça 'Deckel Outer Re'

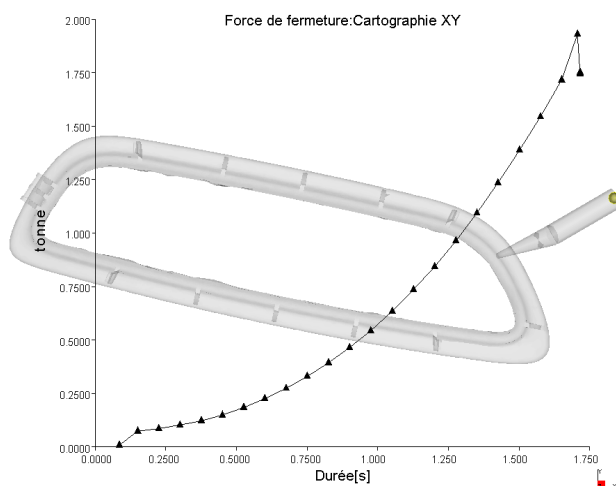
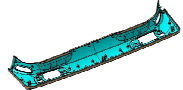






Figura 28 - Gráfico da evolução teórica calculada da força de fecho para peça 'Gurtblende Re'

Como resumo das forças de fecho por molde, apresenta-se a tabela abaixo:

Tabela 2 - Forças de fecho obtidas através de simulação na aplicação informática 'Moldflow'

Peça		Força de fecho para o molde
<i>Rückwand Outer</i>		633 ton
<i>Rückwand Inner</i>		712 ton
<i>Deckel Outer Li+Re</i>		156 ton x 2 = 312 ton
<i>Deckel Inner Li+ Re</i>		
<i>Gurtblende Li+ Re</i>		1.95 ton x 2 = 3.9 ton

3.4.1.2. Dimensões do Molde

No ponto anterior é definida a capacidade mínima teórica que cada equipamento de injeção deverá apresentar para suportar o trabalho com cada um dos moldes a utilizar, para poder ser garantida a qualidade no produto final. Porém, este não é o único ponto a impor limites à gama de máquinas em que um determinado molde poderá trabalhar. Com efeito, a dimensão do molde deverá também ser adequada a essa gama de máquinas. Com esse objectivo, após um primeiro esboço do molde por parte do seu construtor, é feita uma análise preliminar ao molde, onde são analisados vários pontos e, nos casos em que for necessário, é redefinida a gama de máquinas a utilizar. Os pontos relativos à dimensão do molde que são analisados são os seguintes:

- Largura e comprimento totais do molde devem ser inferiores às dimensões do prato da máquina, isto é, todo o molde deve estar apoiado nos pratos da injectora. Embora algumas excepções a esta regra possam ser consideradas, é imperativo que toda a área da peça a injectar esteja projectada nos pratos da máquina, sob pena de se correr o risco de danificar o molde, empenando-o ou mesmo fracturando-o, por força da pressão de injeção. Podem ocorrer excepções, no caso de moldes que tenham uma destas dimensões maior do que o prato da máquina. No entanto, tem que se salvaguardar que a área que fica fora dos pratos da máquina é uma zona onde apenas se verificam movimentos mecânicos com cursos significativos;
- O molde deve permitir a sua fixação aos pratos da máquina. No caso de máquinas sem colunas, embora teoricamente seja possível montar um molde de tamanho igual aos pratos da máquina, como as máquinas que a empresa dispõe não estão equipadas com pratos de fixação magnética, verifica-se que esta situação é impraticável. Assim, o molde deve ser ajustado ou adaptado, para que seja possível fixá-lo à máquina. Em caso de necessidade extrema, seria necessário furar o molde para permitir que o mesmo fosse fixado por parafusos directamente aos pratos da injectora;
- A altura do molde (dimensão na direcção perpendicular aos pratos da máquina) permitir a extracção da peça do molde e, nos casos em que o trancamento do prato móvel da máquina é mecânico, permitir o seu correcto funcionamento.

Para a extracção da peça, é necessário ter em conta a abertura total da máquina (distância a que o prato fixo fica do prato móvel no curso máximo deste), e verificar se o curso necessário para a extracção da peça da zona de gravação do molde é suficiente. Desta diferença resulta a cota disponível para a remoção automática da peça por robô cartesiano. Dependendo da geometria do molde e da forma como a peça terá que ser removida, são construídas as respectivas ferramentas (“grippers”) para adaptação aos robôs existentes.

Para a máquina poder atingir a força de fecho, é necessário que o prato móvel fique trancado mecanicamente, pois os cilindros que deslocam o prato móvel, sozinhos, não são capazes de sustentar a força aplicada aos pratos da máquina durante a injeção do material.



Figura 29 – Pormenores de fixação de um molde na injectora

3.4.1.3. Arrefecimento

No processo de moldação por injeção, o material plástico é sujeito a um ciclo de operações em que é aquecido e forçado, sob pressão, a preencher o interior de um molde (zona moldante) onde arrefece e recupera a rigidez. Para se garantir a repetibilidade e o funcionamento deste processo de uma forma automática, obtendo moldações dimensionalmente estáveis para se garantir o processo, é necessário arrefecer o material plástico fundido no interior do molde, de uma forma controlável e no mais curto espaço de tempo possível.

Dependendo do volume de material injectado para dentro do molde, da sua temperatura de processamento e do circuito de refrigeração do molde, o tempo de ciclo de injeção será maior ou menor. Pelo lado económico, é de toda a importância que o ciclo seja o menor possível, pelo que estando a matéria-prima definida e com ela a sua temperatura de processamento, a transferência de calor entre o

material fundido e o fluido de refrigeração deve ser otimizada. No entanto, não é apenas necessário ter atenção à necessidade de remoção de calor do material fundido, como um todo, mas também, e para obtermos peças com a adequada precisão dimensional, temos atenção a pontos no molde em que possa haver zonas de potencial sobreaquecimento. Tais zonas podem advir por exemplo, dos canais quentes do sistema de alimentação, a geometria da peça obrigar a haver paredes finas e altas de aço, movimentos mecânicos para moldação de geometrias sem saída (impossíveis de moldar pelo processo tradicional) sem possibilidade de arrefecimento, entre outras. Para estas zonas, que à partida apresentam riscos acrescidos de sobreaquecimento, consideram-se caudais de arrefecimento extra, quando possível, ou, não o sendo, a colocação nestas áreas críticas, de materiais que facilitam a dissipação de calor (insertos em Cobre/Berílio), colocando em zonas tão próximas quanto possível, o circuito de refrigeração a contactar com estes elementos.

3.4.1.4. Aquecimento

Para o processamento de alguns dos materiais a ser utilizados nas peças em estudo, um sistema de controlo de temperatura do molde tem que ser utilizado, pois na sua ausência é impossível obter peças de acordo com os requisitos apropriados, mas também, porque com o aumento de temperatura do molde, o material flui mais facilmente, não sendo necessárias pressões de injeção tão elevadas, reduzindo dessa forma, a força de fecho/dimensão da máquina de injeção.

Para o PC/ABS, a temperatura do molde recomendada pelo fabricante deste composto para processamento por injeção, situa-se nos 80°C, tal como pode ser constatado na ficha técnica deste material em anexo. Tal deve-se ao facto destes dois materiais não se ligarem quimicamente, pelo que, se a temperatura do molde não for suficientemente alta durante o processo de injeção, ocorrer uma delaminação, isto é, os componentes após a retirada da peça do molde, separarem-se.

Já o ASA/PC, sendo utilizado em peças onde a estética é importante, necessita de temperaturas no molde entre 60 e 90°C, devendo a temperatura do molde que origina a superfície visível das peças, ter uma temperatura bastante estável, pois este tem um efeito decisivo sobre a qualidade da superfície da peça (brilho, linhas de fluxo) e na resistência da(s) linha(s) de união do material.

3.4.1.5. Manipulação

Para obtermos tempos de ciclo mais baixos, aumentando assim a rentabilidade, mas também para conseguirmos garantir a estabilidade dos processos, a remoção das peças plásticas do molde após o processo de injeção, por manipuladores, tecnicamente chamados robôs cartesianos, é imperativa. Desta forma, os moldes devem ser concebidos, para que os manipuladores consigam executar essa tarefa. Para tal, é necessário em sede de análise preliminar do molde, garantir que as dimensões do molde e as cotas úteis para o funcionamento com os manipuladores não são ultrapassadas, garantindo que para determinado molde trabalhar em processo automático, não necessita de curso de manipulação em algum dos eixos, que o manipulador da máquina prevista possa não atingir.

3.5. Metodologia de desenvolvimento de produto na empresa

3.5.1. Recepção dos desenhos 3D das peças envolvidas enviados pelo cliente

Sendo a empresa responsável pelo desenvolvimento do produto, após a recepção dos ficheiros das peças envolvidas enviados pelo cliente, terá que efectuar uma análise detalhada ao conjunto desenvolvido para verificar as peças que estão em contacto com o conjunto 'Rückwand' ou que estão na sua proximidade. Esta análise, chamada de DMU ('Design Mockup'), tem as seguintes vantagens principais:

- Reduzir o tempo de colocação no mercado através da identificação de possíveis problemas no início do processo de *design*;
- Reduzir os custos de desenvolvimento do produto, minimizando o número de protótipos físicos que precisam ser construídos;
- Aumentar a qualidade do produto, permitindo que um maior número de alternativas de projecto possa ser investigado, antes de ser escolhida uma opção final.

Neste procedimento é verificada a possível existência de interferências com as peças envolvidas, a funcionalidade da montagem, assim como as folgas existentes nas zonas de interface que possam causar impacto visual.

Seguidamente apresentam-se alguns exemplos de não conformidades detectadas durante este procedimento.

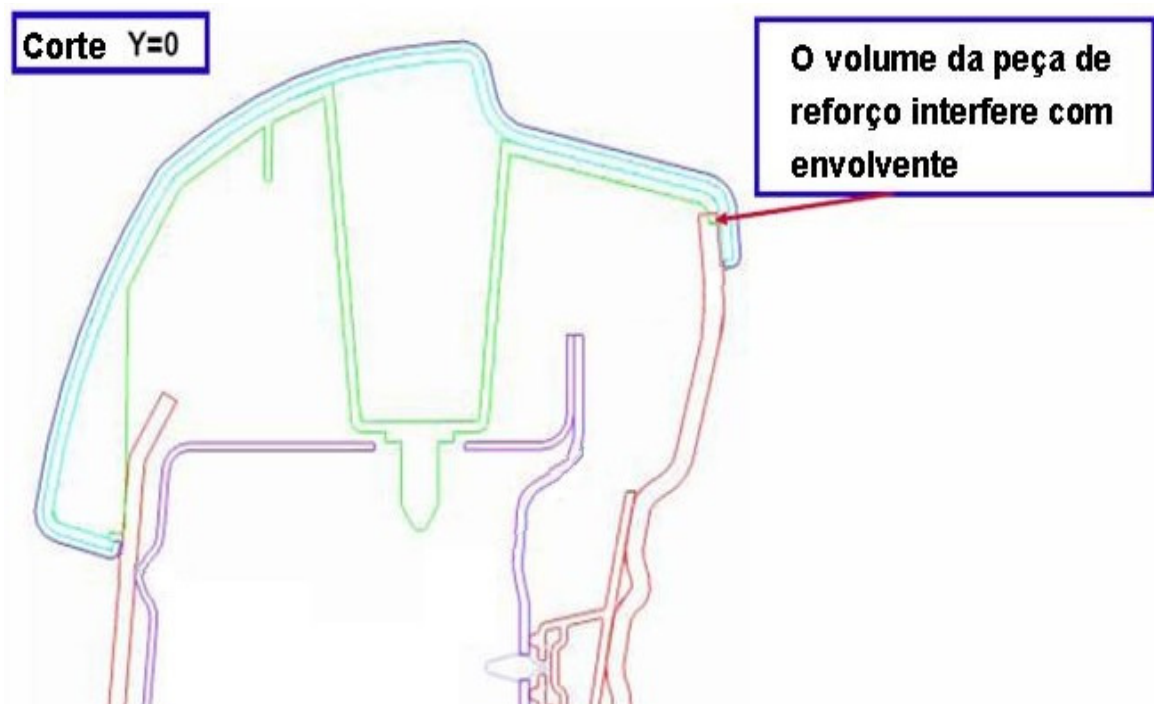


Figura 30 - Exemplo de não conformidade detectada

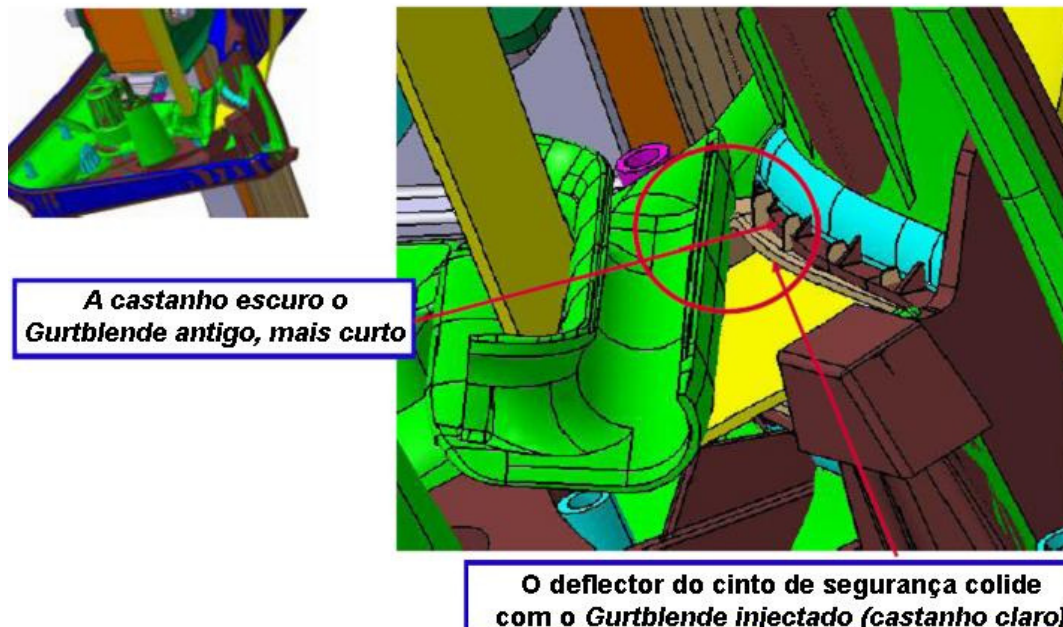


Figura 31 - Exemplo de não conformidade detectada

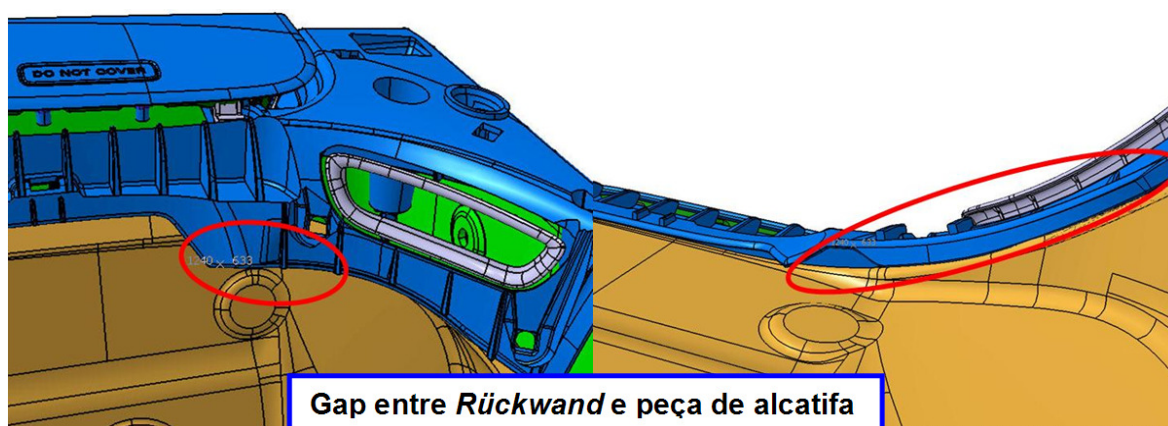


Figura 32 - Exemplo de não conformidade detectada

3.5.2. Análise do caderno de encargos do cliente para a peça

Este documento é um documento contratual de referência, que permite a eliminação de qualquer ambiguidade sobre o que é esperado em termos de desempenho do produto. Trata-se, portanto, de um documento que descreve de forma objectiva as necessidades técnicas do produto, as quais a empresa responsável pelo desenvolvimento do produto deve ter em conta, propondo soluções técnicas para alcançar aquelas exigências.

No caderno de encargos deste conjunto específico, encontram-se por exemplo as seguintes especificações:

- Esforços que o conjunto deverá suportar;
- Testes necessários à validação do produto;
- Imposição de que o conjunto não deverá interferir com funcionamento do sistema activo de protecção de capotamento.

Relativamente ao primeiro ponto, já anteriormente se mencionou que o conjunto deverá suportar esforços de 650 N nas zonas laterais, sobre os 'Deckels', e 1350 N na zona central.

Da análise DMU ao produto, tendo em atenção o segundo ponto acima mencionado, detectou-se que se cortássemos o PVC no interior do raio como previsto (Figura 33), além de manualmente ser difícil garantir um corte visualmente uniforme, no teste de calor a que a peça seria submetida, poderia correr-se o risco sério de descolamento do PVC, pois é muito difícil garantir uma dispersão uniforme de cola na espessura da peça, ao longo de toda a periferia desta.

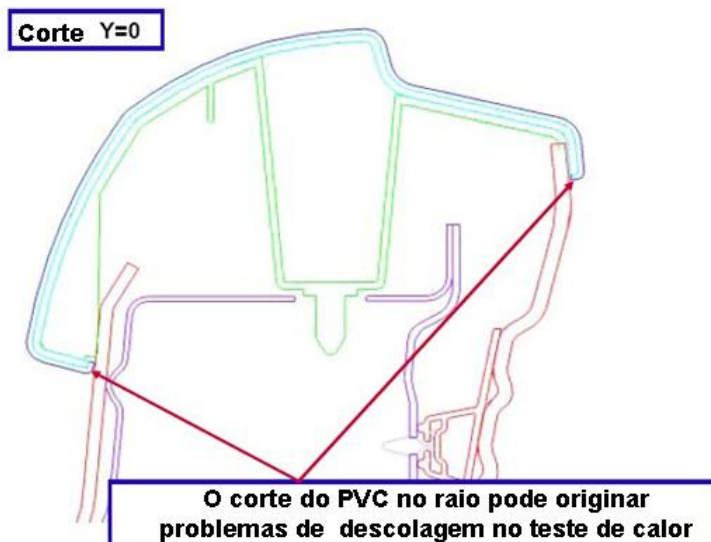


Figura 33 - Exemplo de corte de PVC

Assim sendo, sabendo que nesta zona o PVC estará sujeito a tensões no sentido do seu descolamento da superfície, pois o PVC deverá revestir todo o raio da espessura no final da peça, optou-se por fazer a rebordagem de todo o bordo da peça 'Rückwand Outer' que tivesse zonas visíveis (Figuras 34 e 35).

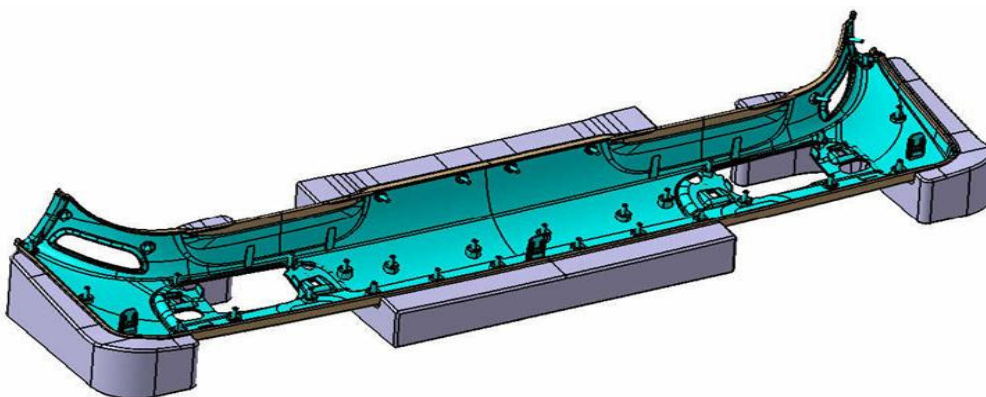


Figura 34 - Zonas a rebordar

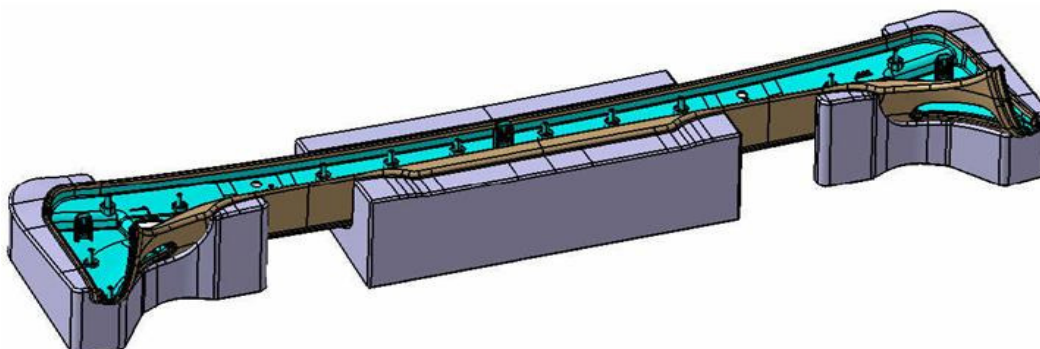


Figura 35 - Zonas a rebordar

Outro teste a que a peça tem que ser submetida, é o ensaio de impacto de bola (Figura 36). Com este teste pretende-se simular pequenos “acidentes” que podem acontecer no uso quotidiano de um automóvel, como por exemplo choques por objectos em queda. Este teste consiste em deixar cair uma esfera metálica, com um peso de 0.500 kg de uma altura de 700 mm à temperatura ambiente. Este teste é executado em 10 pontos críticos na peça, não podendo a peça deteriorar-se/partir-se.



Figura 36 - Teste de queda de bola

Com o propósito aumentar a capacidade de suporte de carga do conjunto montado, à peça ‘Rückwand Inner’ foram adicionadas nervuras de reforço.

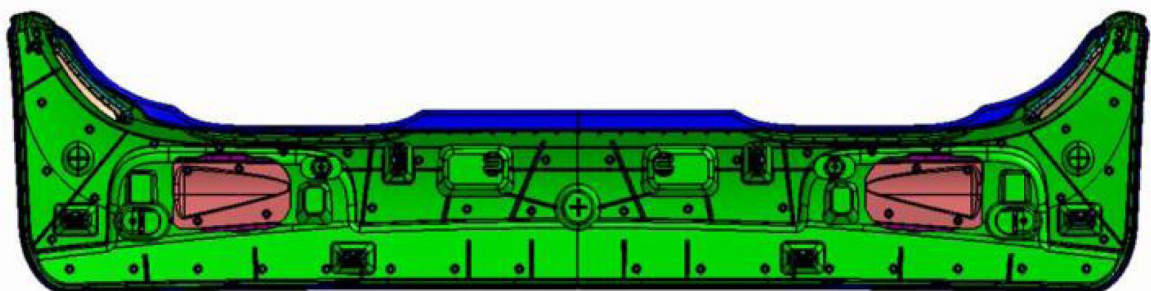


Figura 37 - Conjunto ‘Rückwand’ na versão inicial

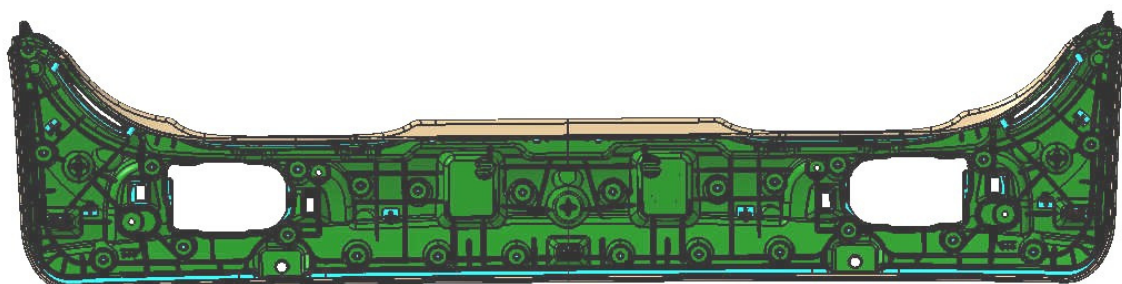


Figura 38 - Conjunto ‘Rückwand’ após aplicação de nervuras de reforço

Em relação ao terceiro ponto mencionado, a definição existente dos 'Deckels' originava que, quando estes fossem ejectados pelo sistema activo de protecção de capotamento, os tubulares de soldadura (ver figura 39) interferissem com o referido sistema, pois ficavam na zona da superfície em que o sistema de protecção entrava em contacto com os 'Deckels' no seu percurso ascendente. Esta definição poderia impedir a expulsão dos 'Deckels' na direcção do eixo Z+ veículo, originando a sua projecção na direcção do eixo X- veículo, na direcção do interior deste, correndo o risco de os 'Deckels' atingirem os ocupantes que se encontrem no assento traseiro. Para evitar este problema, foi criado um rebaixo na superfície de contacto, para que, após soldadura por Ultrasons, o tubular não interferisse no percurso do sistema de protecção, permitindo a projecção dos 'Deckels' conforme prevista.

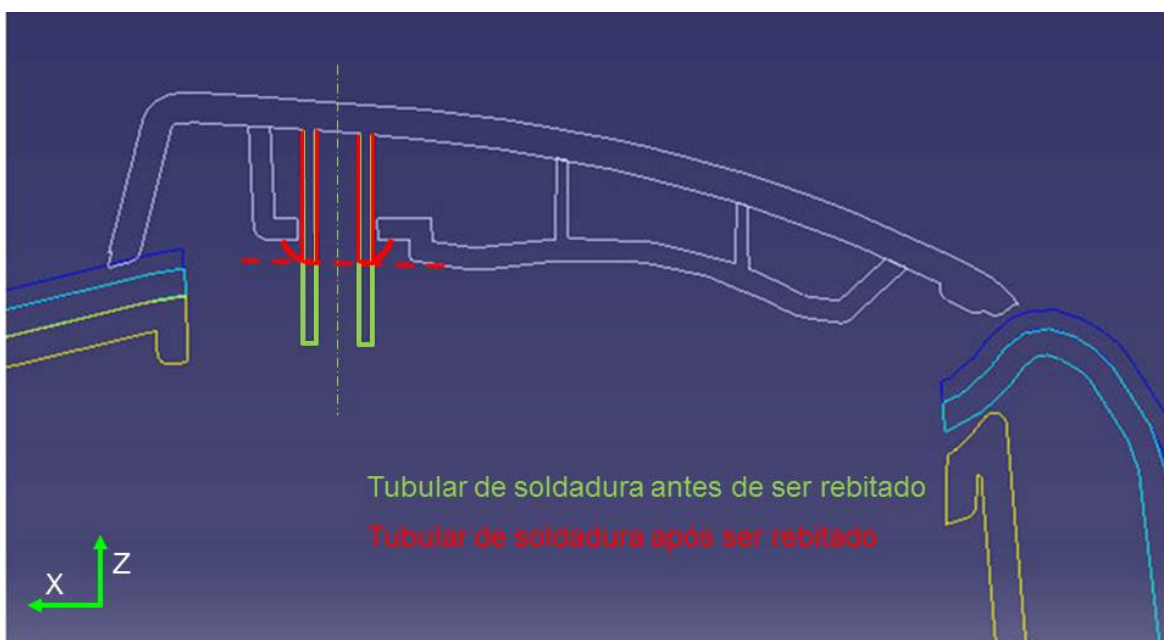


Figura 39 - Secção da zona de soldadura dos 'Deckels Outer' com os 'Inner'

3.5.3. Análise da factibilidade ao 3D

3.5.3.1 Produto

Neste capítulo procura-se validar teoricamente a/as peças desenvolvida/s, não só individualmente, mas também em termos de conjunto montado. Com este objectivo é percorrida uma lista de verificação de desenvolvimento de produto, designado por 'Checklist Factibilidade do Produto', documento interno da empresa, onde estão inscritos pontos-chave a verificar para validar o desenvolvimento do produto, antes da sua aprovação para lançamento de ferramentas. Neste documento constam vários pontos, como por exemplo:

- Peça desenvolvida de acordo com cinemática de montagem final?
- Raios mínimos de regulamentação respeitados?
- Arestas vivas na peça (manipulação perigosa pelos operadores)?

Relativamente ao primeiro ponto mencionado, verificou-se que existiam zonas de montagem/encaixes de tubulares de soldadura por ultra-sons, que sendo em direcções diferentes, estariam muito próximas, o que dificultaria muito a montagem da peça de reforço na peça exterior visível.

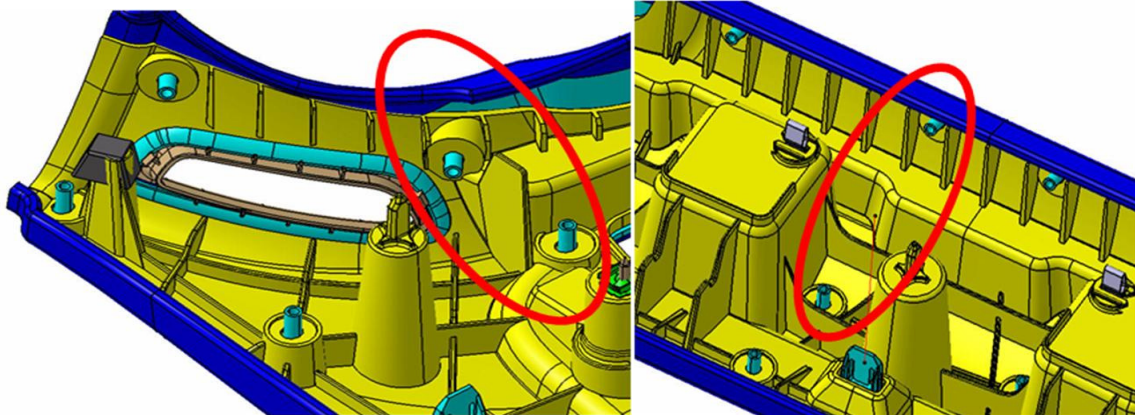


Figura 40 - Tubulares em direcções diferentes

Com o intuito de facilitar a montagem das duas peças, foram criados furos oblongos para facilitar introdução dos tubulares que montam nas direcções X e XY carro, nos furos da peça de reforço.

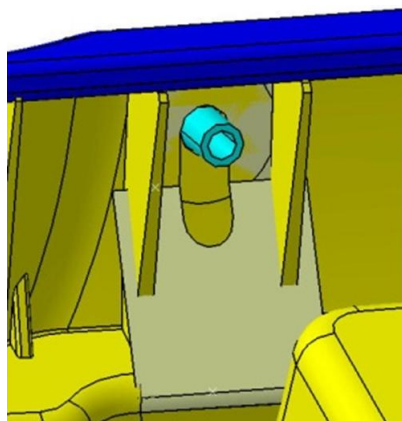


Figura 41 - Furo oblongo para facilitar montagem

Com relação ao segundo ponto, é verificada a segurança da peça para o utilizador final. De acordo com a regulamentação aplicável, em peças onde haja o perigo de embate com cabeça de algum ocupante, as peças deverão ter raios mínimos de 3.2 mm. Assim sendo, dado que neste caso o conjunto está montado no carro à altura da cabeça dos ocupantes dos bancos de trás, esta exigência tem que ser respeitada.

Se com os ocupantes a preocupação é na zona exterior da peça, zona visível, de aspecto, já com os operadores da linha de montagem, a preocupação é com os perigos que se situam na zona técnica da peça, zona não visível. Assim sendo, tal como referido no terceiro ponto, há a necessidade de eliminar as causas que possam originar perigos na manipulação e montagem da peça. Para mitigar os perigos de lesão nos operadores, é verificado se existem esquinas vivas na peça, normalmente nos finais de peça, ou nervuras em que a sua espessura terminal seja muito fina, originando gumes, que potencialmente possam cortar os operadores a trabalhar na linha de montagem.

3.5.3.2 Processo

Sabendo a cadência anual contratualizada com o cliente para fornecimento do conjunto em estudo, para o revestimento da peça 'Rückwand Outer' com PVC, escolheu-se o processo de termoformação. Este processo tem várias vantagens, tais como:

- Equipamento de baixo custo;
- Temperatura necessária relativamente baixa;
- Baixo custo do molde;
- Enformação de peças grandes com facilidade;
- Tempos de ciclo curtos.

Como a cadência esperada é relativamente baixa, a empresa optou por um processo de revestimento que tivesse um baixo valor de investimento inicial, pois pelo volume anual a produzir, as eventuais amortizações de investimento em equipamentos caros mas mais automáticos, tornariam o preço da peça muito elevado dado o ciclo de vida esperado do produto em série. Porém, este processo também tem inconvenientes, dos quais se salientam os seguintes:

- Custo de matéria-prima maior (lençóis de PVC);
- Rejeições elevadas;
- Limitações nas formas das peças;
- Variações inerentes da espessura do revestimento (PVC).

Neste processo de termoformação um lençol de PVC é esticado sobre um molde de 1 só lado, molde macho onde previamente é colocada a peça termoplástica a revestir, o PVC é aquecido até ao seu ponto de amolecimento, o molde sobe de encontro com o lençol de PVC e usando vácuo, colar o PVC à peça a revestir (Figura 42). A peça termoplástica é aquecida por um sistema de radiação infravermelho, para reactivação da cola previamente aplicada.

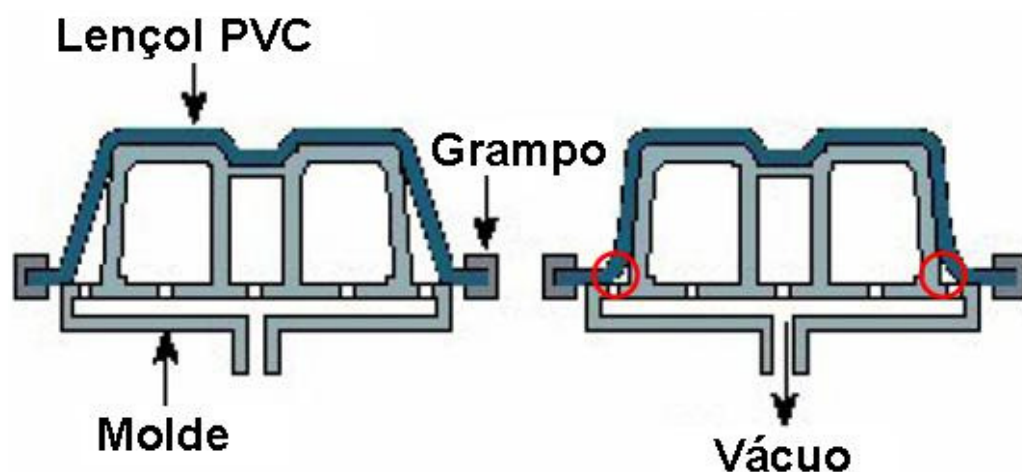


Figura 42 - Esquema do processo de termoformação

Foi realizada uma análise à geometria da peça nas zonas consideradas críticas (Figura 43).

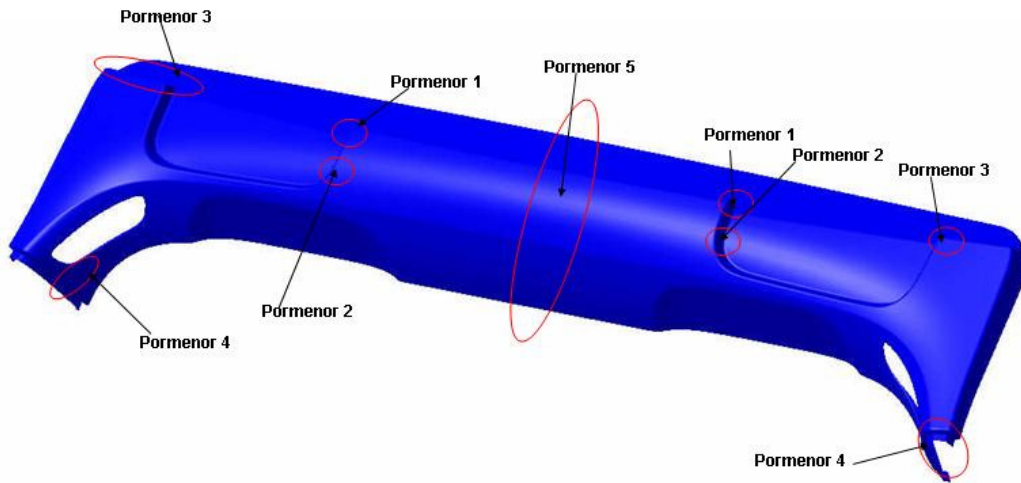


Figura 43 - Localização das zonas de pormenor analisadas

Nas zonas de pormenor assinaladas, foram avaliados os raios convexos da peça que poderiam dar origem a defeitos como o assinalado na Figura 42, bem como os rios côncavos que poderiam originar perda de textura e consequentes brilhos, por estiramento excessivo do PVC. Assim sendo, nas figuras seguintes apresentam-se as análises feitas para cada uma das zonas de pormenor assinaladas, bem como as alterações efectuadas na geometria da peça.

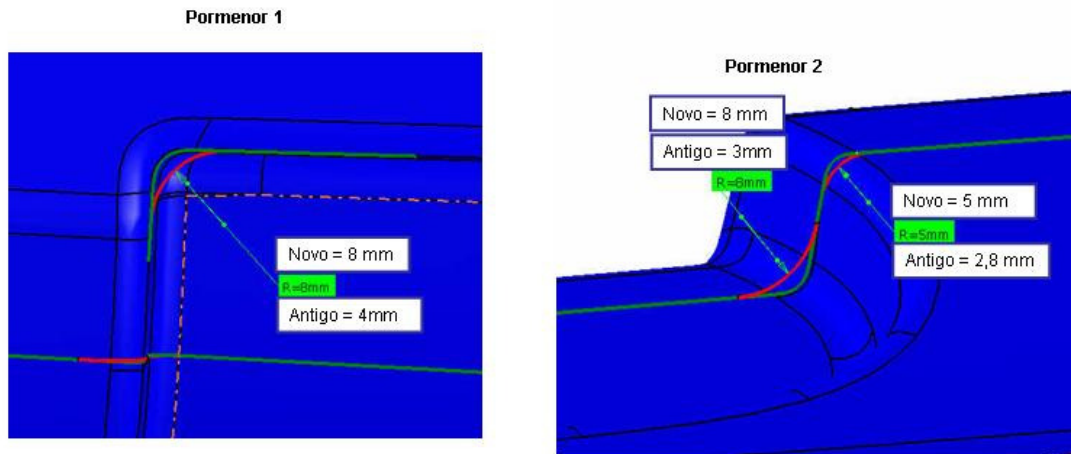


Figura 44 - Análise de raios nas zonas de Pormenores 1 e 2

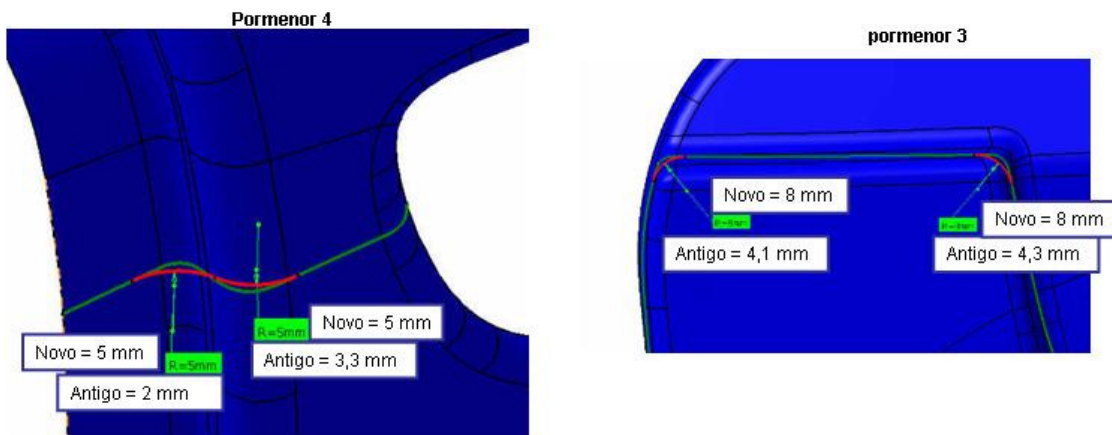


Figura 45 - Análise de raios nas zonas de Pormenores 3 e 4

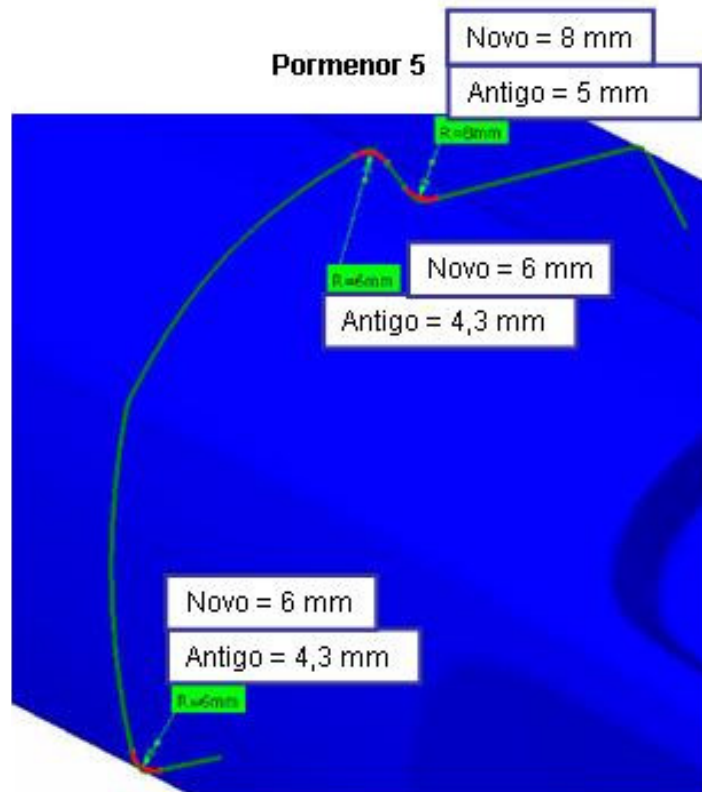


Figura 46 - Análise de raios na zona de Pormenor 5

Foi também efectuada uma análise em termos da soldadura por ultra-sons. Sabendo que a solicitação mecânica do conjunto é à compressão, a principal função da soldadura é tornar solidárias as duas peças que formam o conjunto, funcionando como uma só. Neste sentido, os 46 pontos de ligação por rebite definidos originalmente (Figura 37), apresentam-se manifestamente como excessivos para cumprir com os requisitos. Não sendo possível simular o comportamento do conjunto em termos sonoros nas condições de utilização, decidiu-se avançar com 22 pontos de ligação, mas com uma definição de conjunto preparado para um número de pontos de soldadura maior (34). Esta necessidade só poderia ser avaliada posteriormente, com peças em matéria-prima adequada (“boa matéria” – expressão usada para designar a matéria-prima especificada, a ser usada) e montadas em veículos de testes, avaliando nesta altura os ruídos provenientes da fricção entre as duas peças quando montadas no carro e este em andamento em piso irregular. Caso esta definição de soldadura provasse ser eficaz, eliminar-se-iam no molde os tubulares de soldadura, visto tornarem-se desnecessários (não são todos eliminados, mas apenas os tubulares desnecessários, ou seja, os que estão para além do número que satisfazem os requisitos especificados).

Em termos do processo de soldadura, a definição original dos pontos de soldadura implicava a utilização de um sonotrodo simples, com um activo, pois a distância entre pontos era diferente. Com o objectivo de minimizarmos o tempo de soldadura, foi alterado o posicionamento dos tubulares para se conseguir soldar dois pontos de cada vez, com um sonotrodo composto por dois activos (Figura 47).

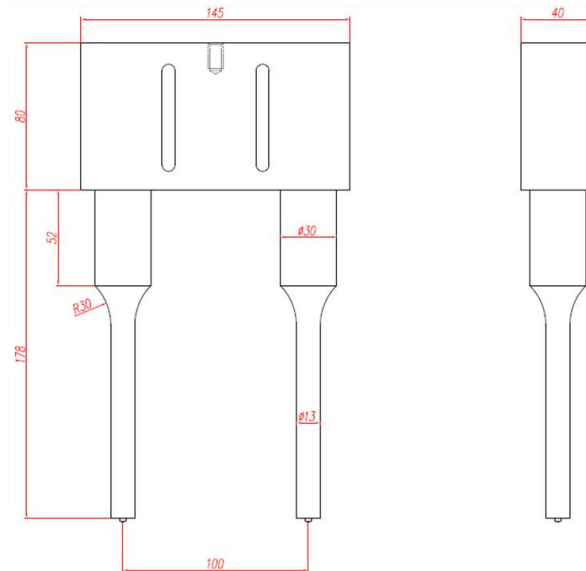


Figura 47 - Sonotrodo composto e sonotrodo simples

Desta forma, o tempo de soldadura seria reduzido a metade, quando comparado com a utilização de um sonotrodo simples, pois com um posicionamento do sonotrodo, seria efectuado em simultâneo a rebatagem de dois tubulares.

Relativamente à aplicação e fixação dos isolantes acústicos, na peça usada para 'benchmark', estes estão colados ao conjunto. Porém, aquela peça é bastante menos reforçada com nervuras, pois a manta de fibra de vidro dá muita rigidez ao conjunto, pelo que o adesivo do isolamento tem uma área de contacto maior com o conjunto 'Rückwand'. Optando por este sistema de fixação, o processo de aplicação torna-se mais demorado, devido à dificuldade em retirar a película de protecção do adesivo em material tão pouco denso e flexível. Por outro lado, o custo do isolante para fixação por ligação adesiva é cerca de 30% superior (valor indicativo), pelo que uma solução de isolante sem adesivo, quando não coloca em causa a performance da peça e é possível de conseguir, torna-se preferível à solução que usa o adesivo.

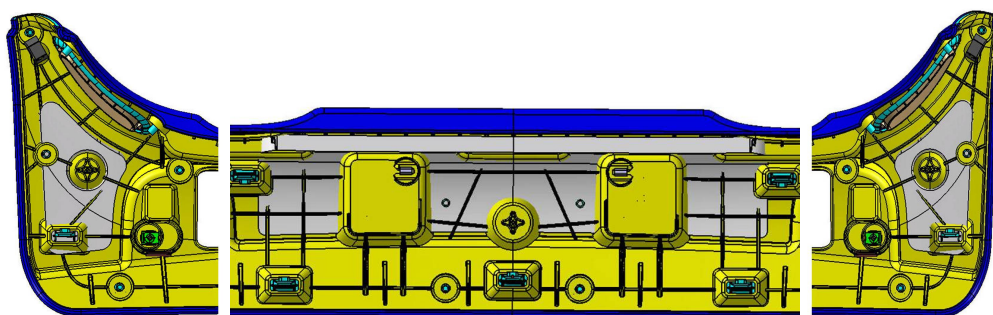


Figura 48 - Localização e dimensão dos isolantes

Como alternativa à ligação adesiva, poder-se-ia considerar a soldadura por ultra-sons. Porém, conhecendo as geometrias/tamanho dos isolantes solicitada pelo cliente (Figura 48) e sabendo que já existiam muitos pontos de soldadura, a adição de tubulares para fixação dos isolantes iria tornar o processo de soldadura mais lento. Por este motivo, foram adicionados ganchos na peça 'Rückwand Inner' (Figura 49), de forma a facilitar a montagem dos isolantes que não colocam em causa a boa fixação dos mesmos.

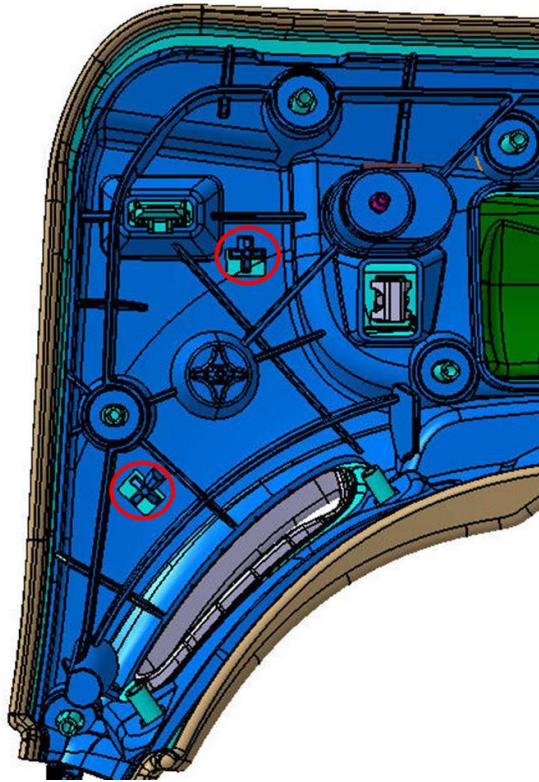


Figura 49 - Exemplo dos ganchos utilizados para fixar isolante acústico

3.3.3.3 Processo protótipo

Para validação dos conceitos teóricos aplicados no desenvolvimento das peças, desenvolveu-se um processo protótipo, para que pudessem ser tiradas conclusões com base em dados reais.

Com esse intuito, desenvolveu-se a modelação de uma base protótipo, partindo de informação sobre tipos de bases para o processo de termoformação (Figura 50), recolhidas num livro sobre a matéria, de um fornecedor de equipamentos para este tipo de processos (Kiefer, 2001).

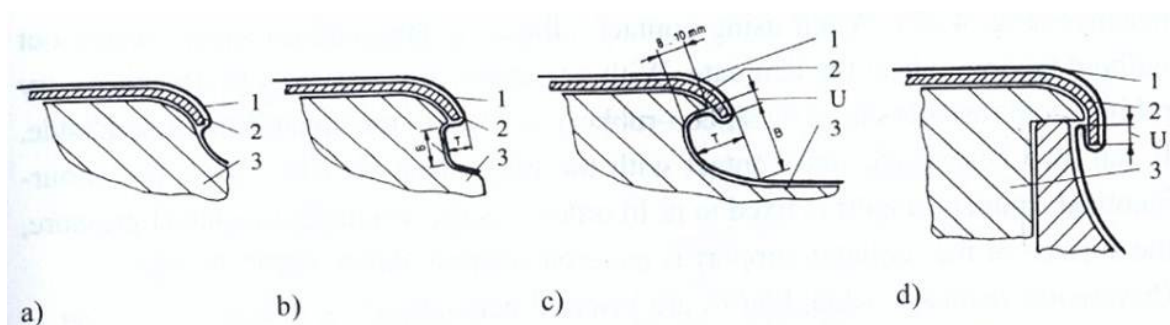


Figura 50 - Tipos de perfis de bases de termoformação, para diferentes finalidades

Sabendo que o conjunto 'Rückwand' tem rebordagem do PVC para a parte técnica, os dois primeiros perfis de base da Figura 50, não permitem uma pré-rebordagem do PVC na máquina de termoformação. Assim sendo, apenas os perfis de base c) e d) da Figura 50 permitem essa pré-rebordagem. Destas duas, embora em teoria permitam uma pré-rebordagem maior, implica a utilização de uma base mais cara e demorada de construir, pois tem que efectuar movimentos durante o processo da termoformação. Também se torna necessária a utilização de uma máquina para poder operar com este tipo de bases, mais complicada, com possibilidade de regulação dos movimentos da base.

Por todos os motivos anteriormente descritos, desenvolveu-se a modelação de uma base-protótipo (Figura 50) tendo por base o conceito de perfil de base c) (Figura 50).

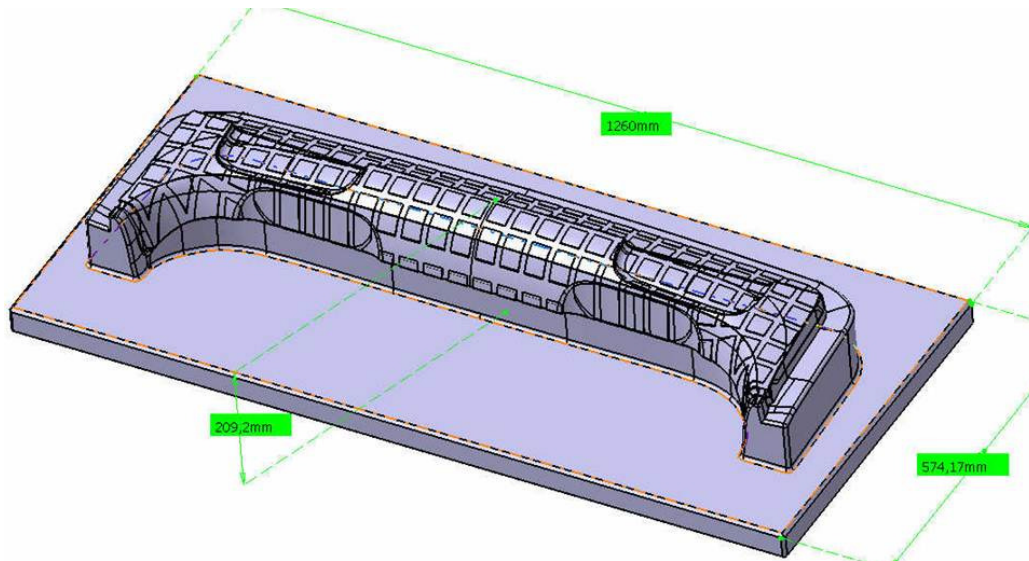


Figura 51 - Modelação de base protótipo para validação de processo de termoformação

Optou-se pela realização da base de termoformação de acordo com a modelação efectuada em PE-HD (Polietileno de alta densidade), pois este material é relativamente barato, fácil e rápido de maquinar e caso fosse necessário fazer ajustes locais à base durante os testes, estes poderiam ser feitos manualmente, através de ferramentas simples.

3.5.3.4 Prototipagem rápida

Para validação não apenas das soluções técnicas preconizadas, mas também do processo de termoformação, nomeadamente as geometrias mais difíceis de reproduzir com o PVC e o estiramento da textura do PVC, optou-se pela realização de peças-protótipo.

Para a realização das peças-protótipo foram ponderadas as seguintes alternativas tecnológicas:

- SLS (*'Selective Laser Sintering'*) – Sinterização laser selectiva;
- FDM (*'Fused Deposition Modeling'*) - Modelagem por Deposição de Material Fundido;
- Moldes de silicone usando como modelo peças em SLA (*'Stereolithography'* – estereolitografia);
- Moldes de alumínio.

Tendo este projecto limitações em termos de prazo, as duas últimas alternativas foram descartadas, pois o prazo para obtenção de peças era de 7 a 8 semanas para moldes em alumínio e 3 a 4 semanas para moldes em silicone. Quanto às outras duas tecnologias, embora a tecnologia FDM nos permitisse obter peças em ABS - material mais semelhante ao material a ser utilizado na peça final - e a tecnologia SLS apenas permitia obter peças em material com características mecânicas inferiores ao PC/ABS. Porém, para além das peças em SLS terem um custo inferior, permitiam um prazo de entrega 3 dias inferior em relação às peças em FDM. Para além disto, a principal validação que se pretendia fazer com estas peças não requeria boa resistência mecânica, pois pretendia-se validar a aptidão geométrica da peça para o processo de termoformação.

3.5.3.5 Análise do fluxo de enchimento após definição final do 3D

Com vista à validação do molde e sistema de injeção, foram efectuadas simulações com recurso à ferramenta informática 'AutoDesk Moldflow', sendo possível observar os resultados nas imagens que se seguem.

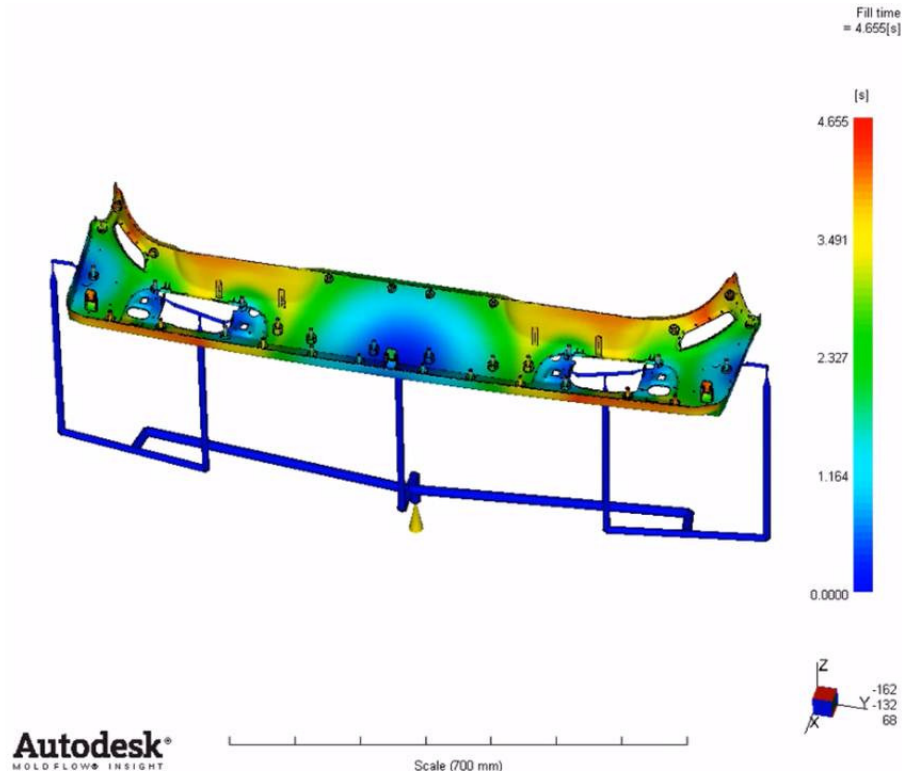


Figura 52 - Simulação teórica de enchimento para peça 'Rückwand Outer'

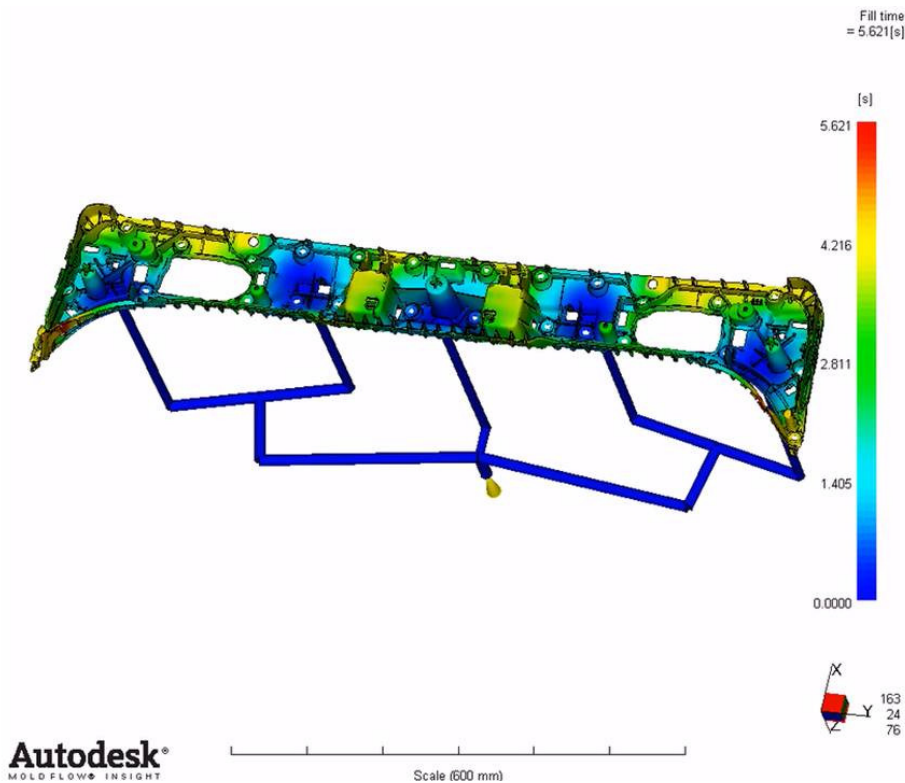


Figura 53 - Simulação teórica de enchimento para peça 'Rückwand inner'

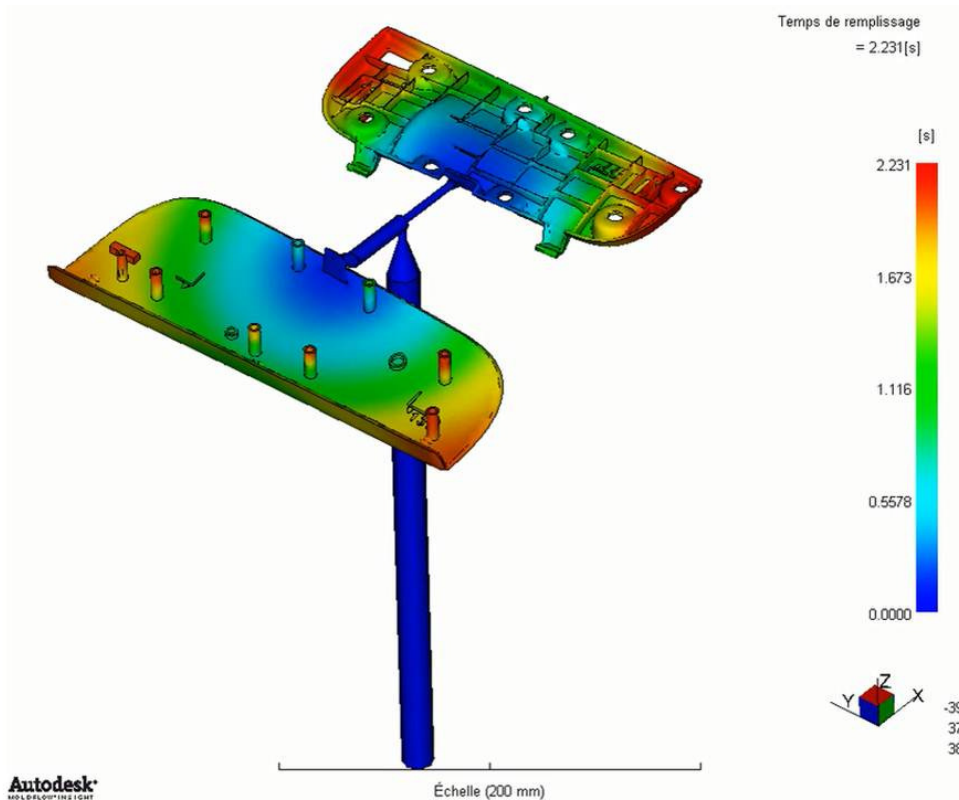


Figura 54 - Simulação teórica de enchimento para peça 'Deckel Outer + Inner Re'

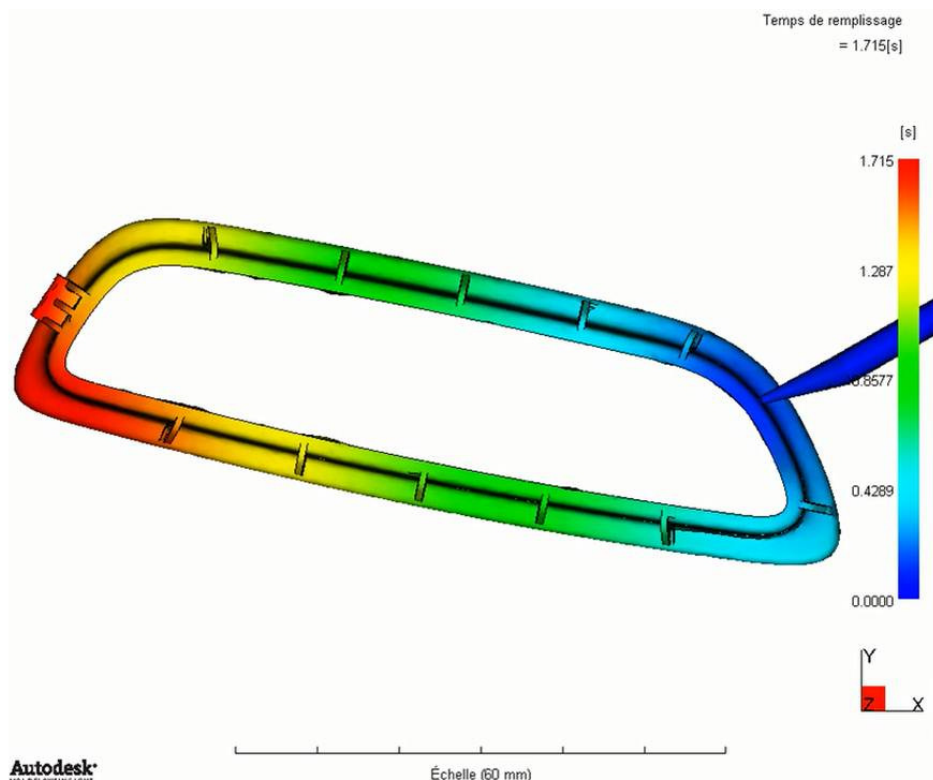


Figura 55 - Simulação teórica de enchimento para peça 'Gurtblende Re'

Das figuras anteriores, podemos avaliar os tempos de enchimento de cada uma das peças e, no caso de peças com furos ou anelares, verificar onde se irão encontrar as linhas de união de material. Apesar de para cada uma das peças as escalas de tempo serem diferentes, como seria de esperar peças maiores demoram mais tempo a injectar que peças mais pequenas. A escala de cores é bastante elucidativa quanto à forma como o material irá fluir no enchimento.

No '*Rückwand Outer*', verifica-se que o tempo de enchimento teórico é de 4.655 segundos, dando-se a junção dos vários fluxos na zona superior da peça entre os 3 e os 3.5 segundos. A última zona a encher é a zona por baixo dos '*Gurtblendes*'. Esta zona será crítica pois, sendo onde se juntam dois fluxos de material, poderá originar fragilidades na peça, se a frente de fluxo do material chegar à zona de união mais fria do que devia.

No '*Rückwand Inner*', o tempo de enchimento teórico é de 5.621 segundos. Sendo esta peça técnica, de reforço, tem muitas nervuras, o que faz aumentar o volume de material necessário para a encher, daí o aumento do tempo de injeção. Devido aos muitos furos presentes na peça, irá haver muitas zonas de união de fluxos, porém, não se prevê em nenhuma dessas zonas problemas de fragilidades por uniões tardias de frentes de fluxo.

No molde dos '*Deckel Outer Li/Re + Inner Li/Re*', para simplificação de cálculo e pelo facto de as peças serem simétricas, usou-se apenas um dos conjuntos '*Deckel Outer + Inner Re*', para análise. Para este par, verifica-se que o tempo de enchimento teórico é de 2.231 segundos, não havendo linhas de união de material previstas na peça visível '*Deckel Outer*' e sendo os tubulares de soldadura as últimas zonas a encher. Como estes últimos serão derretidos na soldadura, não se prevê nenhum problema nesta peça. Na peça '*Deckel Inner*', devido aos vários furos por onde entrarão os tubulares de soldadura do '*Deckel Outer*', as linhas de união que se prevê irão ocorrer, principalmente nas extremidades, não aparentam ser uma fonte de possíveis problemas, pois a zona de impacto do sistema activo de protecção de capotamento é na zona central, zona essa onde não se encontra nenhuma linha de união e possível fragilidade associada.

No molde dos '*Gurtblendes*', para simplificação de cálculo e pelo facto das peças serem simétricas, usou-se apenas uma peça para análise. Para esta peça, verifica-se que o tempo de enchimento teórico é de 1.715 segundos. Sendo estas peças utilizadas no veículo como elementos estéticos e tendo uma forma anelar, mesmo com um tempo de enchimento muito baixo, será inevitável a linha de união de fluxos de material. Por esta razão deslocou-se o ponto de injeção para a zona mais visível da peça, localizada no interior do carro, de forma a que a união de material aconteça numa zona menos visível, lateral do carro. Como se constata na figura 55, tal acontece.

3.6. Definição do processo produtivo

3.6.1. Condições de base

3.6.1.1. Resumo da identificação de problemas associados ao processo produtivo

De acordo com o que ficou anteriormente referido, o principal problema com que se deparava o processo de moldação por injeção era a geometria da nova peça, que inviabilizava a sua moldação como peça única. Como consequência deste facto, outro constrangimento que condicionou o processo produtivo foi a soldadura necessária para unir as duas peças. Esta teria que ser executada da forma mais fácil possível, mas deveria tornar as duas peças num conjunto que atingisse o mesmo nível de desempenho funcional de uma única peça.

Em termos de termoformação, a geometria da peça, principalmente os raios côncavos demasiado pequenos, originaria que a colagem do PVC não reproduzisse de forma correcta o volume da peça exterior. Por outro lado, os raios convexos demasiado pequenos originariam a perda de textura do PVC, por estiramento excessivo, criando brilhos localizados.

Na montagem das peças '*Rückwand Outer*' e '*Rückwand Inner*', deparamo-nos com problemas no encaixe destas duas peças, devido a alguns tubulares de soldadura que, sendo em direcções perpendiculares, estavam muito próximos uns dos outros, o que levaria à necessidade de forçar a abertura da peça exterior, para se conseguir montar a peça interior, de reforço. Tal facto originaria um esforço humanamente excessivo para, em produção em série na cadência solicitada e durante 8 horas, ser viável um operário o realizar dessa forma.

3.6.1.2. Resumo das condições de teste a aplicar ao produto depois de processado

O principal teste a que as OEMs submetem todos os modelos dos veículos a comercializar no mercado, é o '*crash test*'. Este é o teste de validação final para toda e qualquer peça que é montada num automóvel. Porém, antes de efectuar este tipo de teste, destrutivo, muito dispendioso e que apenas é efectuado quando o modelo tem todas as peças praticamente na sua versão final. No entanto, estas mesmas peças terão que, individualmente ou em subconjuntos, ser submetidas previamente a uma bateria de testes.

No caso do conjunto em estudo, para validação do produto após processamento, os testes a que o conjunto teria que ser submetido seriam os seguintes:

- **Testes efectuados pelo cliente com um subconjunto de peças, montados na parte traseira do carro**
 - '*Girly test*' – Neste teste sentam-se duas pessoas com uma estatura típica, uma de cada lado da peça. O conjunto não pode ceder, deformar-se excessivamente ou partir.
 - **Carga de 1350 N ao centro** – O teste prático que é efectuado, consiste em fazer sentar ao centro do carro uma pessoa de estatura apropriada em cima da peça. O conjunto não pode ceder, deformar-se excessivamente ou partir.
 - '*Kugelfall test*' (teste de queda da bola) – Teste efectuado para simular pequenos "acidentes" quotidianos e no qual o conjunto não pode deteriorar-se ou partir. Consiste em deixar cair uma esfera de aço com 0.5 kg, de 700 mm de altura.
 - **Teste de disparo do sistema activo de protecção de capotamento** – Neste teste é verificado o comportamento do conjunto ao impacto do sistema de protecção de capotamento, bem como, o tempo de saída deste. Este tempo é influenciado pela maior ou menor força

necessária para fazer saltar os 'Deckels' do conjunto montado. É também testado se a direcção de projecção dos 'Deckels' não coloca em perigo a integridade dos ocupantes.

- **Testes efectuados internamente no conjunto 'Rückwand'**
 - **Teste de envelhecimento ao calor** – Neste teste, o conjunto é colocado em estufa durante 168 horas a 120oC. Com este teste, é verificado não apenas o processo de colagem, mas também a degradação da cor do conjunto.
 - **Teste de envelhecimento em câmara climática** - Neste teste, o conjunto é colocado numa câmara climática durante 96 horas, onde é submetida a variações de temperatura e humidade. Após este teste a peça não pode sofrer degradações de aspecto.
 - **Teste de arrancamento dos 'Deckels'** - Este teste destina-se a verificar se o esforço de arrancamento dos 'Deckels' está entre 50 e 75 N. O objectivo deste teste é confirmar que o esforço de arrancamento necessário não interfere com o sistema activo de protecção de capotamento.

- **Testes efectuados internamente em partes do conjunto 'Rückwand'**
 - **Teste de adesividade** – Para realizar este teste são efectuados cortes paralelos no PVC, afastados 5cm um do outro, sendo o PVC depois puxado numa máquina de tracção. Este teste destina-se a validar o processo de colagem, sendo necessário que o valor obtido no teste de tracção ultrapasse os 350 N.
 - **Teste de combustibilidade** – Após cortar uma placa da peça final, esta é colocada na câmara de combustão e é posta a arder. Com este teste, mede-se a velocidade de propagação da chama, que não pode ultrapassar os 100mm/min.

3.6.2. Testes de validação das operações envolvidas no processo de termoformação (tendo por base um layout experimental)

Não sendo o processo de termoformação por si só uma novidade para a empresa, a conjugação de várias operações/tarefas necessárias para a manufactura do conjunto 'Rückwand', colocava uma série de dúvidas sobre qual a melhor forma para os executar.

Começando pela aplicação da cola, vários problemas foram detectados na fase-protótipo de desenvolvimento do processo. Em primeiro lugar, a área definida para aplicação de cola, não apenas na zona visível da peça mas também na parte técnica, nas zonas de rebordagem, Figuras 34 e 35, coloca um problema de manuseamento da peça durante o processo de aplicação da cola. Foram efectuados vários testes para definir um procedimento de aplicação da cola, a forma de segurar a peça e as movimentações que seriam necessárias fazer à peça durante a aplicação da cola, pois as movimentações do operador para aplicar cola em todas as zonas pretendidas implicavam uma projecção de cola em múltiplos sentidos, dificultando enormemente a utilização de cabina de aspiração de vapores e a protecção do excesso de

projectão de cola. Durante a validação do processo de aplicação da cola, outro problema se deparou. Quando se iniciava o processo de aplicação da cola logo de manhã cedo, os operadores deparavam-se com a dificuldade na dispersão fina da cola, pois as gotículas eram mais espessas e acumulavam-se no bico da pistola de aplicação. Estas acumulações de cola eram depois projectadas para a peça, originando na termoformação irregularidades na superfície do PVC. À medida que a temperatura ambiente aquecia, os operadores apercebiam-se que, por efeito da radiação solar e das resistências de aquecimento do PVC, a fluidez da cola variava, tornando o processo de aplicação da cola mais fiável. Assim sendo, para diminuir o efeito da temperatura ambiente na fluidez da cola, definiu-se que no processo pré-série, o pote da cola teria que ser colocado debaixo da máquina de termoformação.

Tendo sido definida para o processo de colagem uma cola com base solvente, era necessário que os solventes presentes na cola se evaporassem, antes de poder reactivar a cola e proceder à colagem/termoformação. Assim sendo, as peças que tinham cola aplicada, tinham que ser sujeitas a um tempo de espera. Tal como com a dispersão da cola, o efeito da temperatura evidenciou ser um factor importante no tempo necessário para a secagem. Com o intuito de uniformizar o processo, foi criado um 'buffer' provisório de 20 peças para garantir um tempo mínimo necessário de secagem.

Para validar a colagem do PVC ao '*Rückwand Outer*', foi necessário definir a temperatura de reactivação da cola que permitisse obter uma boa adesividade, confirmada através de ensaios laboratoriais. Tornou-se necessário definir este parâmetro, apesar da ficha técnica ter especificada uma gama de valores porque, após reactivação da cola na peça '*Rückwand Outer*', esta iria arrefecer durante o tempo em que o PVC estaria a ser aquecido/estirado.

Nos testes de validação da termoformação, pudemos confirmar que, como inicialmente previsto, os raios convexos pequenos originavam zonas em que o PVC não reproduzia a geometria da peça, devido a bolsas de ar que ficavam entre o PVC e o '*Rückwand Outer*'. Para resolver este problema, foram criados furos na peça a revestir com PVC, nas zonas mais críticas, que permitissem que o ar pudesse escapar destas zonas (Figuras 56 e 57). Ainda nos testes de termoformação, usando a base-protótipo (Figura 51 com a definição c) da Figura 50), pudemos constatar que a pré-rebordagem que teoricamente se obteria e que se pretendia não acontecia na totalidade, pelo que, seria necessário fazer a restante rebordagem manualmente.

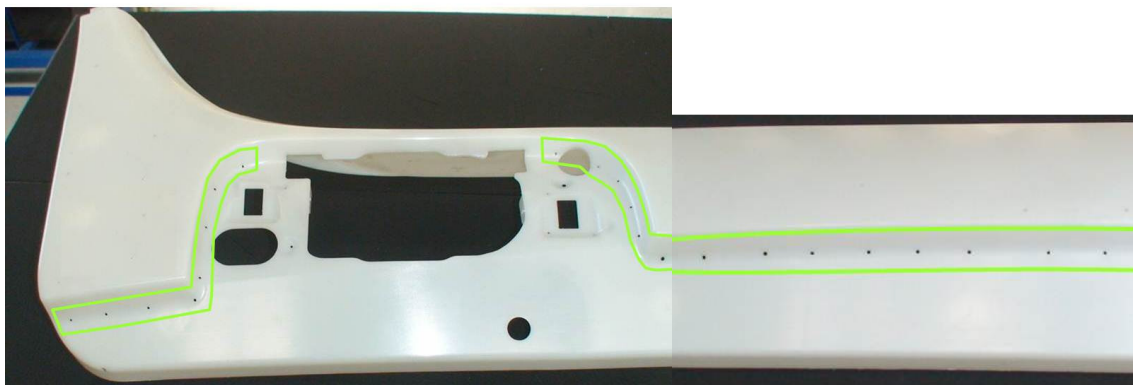


Figura 56 - '*Rückwand Outer*' – Furos para saída de ar



Figura 57 - 'Rückwand Outer' – Furos para saída de ar

Na operação de montagem das peças '*Rückwand Outer*' com o '*Rückwand Inner*', constatou-se que as patilhas criadas no '*Outer*' (Figura 58) para ajuste de folgas entre as duas peças montadas, além de não cumprirem na totalidade com a função pretendida, criavam muita dificuldade na montagem das peças. Sendo de difícil montagem e controlo, acontecia frequentemente ficarem uma ou mais patilhas mal montadas, entre o '*Rückwand Outer*' e o '*Rückwand Inner*', originando o efeito contrário do pretendido, afastando as peças e criando folgas. Por trazer mais inconvenientes do que vantagens, estas patilhas foram eliminadas na produção série.

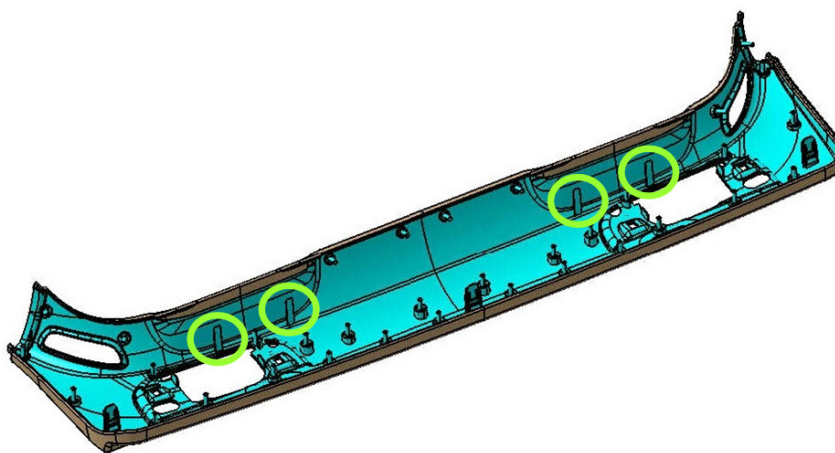


Figura 58 - 'Rückwand Outer' - Patilhas de ajuste na direcção X carro, do 'Rückwand Inner'

Na operação de soldadura, foram efectuados testes com mais e menos tubulares soldados, com o objectivo de validar o número de pontos de ligação a efectuar no processo em série. Foi validado o conceito inicialmente previsto de 22 pontos de soldadura, tendo sido retirados da peça (tapados no molde) os restantes tubulares.

3.6.3. Definição dos equipamentos e meios necessários à produção em série

No seguimento dos testes de validação feitos, improvisando com meios disponíveis e comprando algum equipamento específico, foi possível definir quais os equipamentos, e respectivas características, que viriam a ser necessários para a produção em série.

Tal como já anteriormente referido, uma premissa inicial que foi definida pela empresa para este projecto, foi o baixo investimento em equipamentos. Desta forma, muitas das operações necessárias para a manufactura do produto em causa teriam que ser manuais, sendo apenas adquiridos os equipamentos estritamente necessários.

Para a definição dos equipamentos, há que ter em conta a quantidade de peças previstas produzir diariamente e o tempo de ciclo necessário à produção de cada peça. Se a quantidade de peças diária necessária é um dado de entrada, contratualizado com o cliente e que é imperativo cumprir, já o tempo de ciclo para a manufactura de cada peça pode variar. Sabendo que a cadência nominal contratualizada com o cliente são 180 peças completas/dia e que, também por contrato, a variação da produção pode ser de $\pm 15\%$, para o cálculo do tempo de ciclo usou-se a quantidade máxima que o cliente poderia pedir, ou seja, 207 peças/dia. Outra premissa definida pela empresa, sabendo que o projecto é de baixa cadência, é a manufactura da totalidade da cadência diária em apenas 1 turno de produção. Com estes dados, sabendo que um turno tem 8 horas mas existe uma pausa de 30 minutos, calcula-se o 'takt time' da seguinte forma:

$$\text{Takt Time} = \frac{\text{tempo disponível para a produção}}{\text{procura do mercado}} = \frac{8 \times 60 - 30}{180 \times 1,15} = \frac{450}{207} = 2,17 \text{ min/peça} \quad (2)$$

Considerando as ineficiências dos processos, que nunca atingem os 100% de rendimento (avarias, limpezas, preparação da cola, reprocessamentos, rejeições, outras paragens), concede-se um tempo para compensar estas perdas. Retirando as concessões de tempo para perdas existentes, cerca de 8.5% ou 38.2 min/dia, calculou-se para este caso um tempo de ciclo de 2 minutos, para atingir a quantidade máxima necessária, cumprindo com a premissa de realizar toda a produção num turno.

Seguidamente identificam-se as operações e os meios necessários para sua realização:

- **Preparação da cola** - sendo esta obtida pela mistura de dois componentes que, após misturados em percentagens bem definidas, tem um prazo de utilização de 8 horas, tornou-se indispensável adquirir uma balança com capacidade para pesar a quantidade de cola + endurecedor necessária para a produção diária total, com a precisão adequada para que fosse assegurada a adequada proporção de cada um dos componentes.
- **Sistema dispensador da cola** - tendo sido constatado que a fluidez da cola variava com a temperatura e que esta variação tinha implicações no funcionamento da pistola de pulverização, a empresa teve de adquirir um sistema de controlo de temperatura a aplicar no reservatório de pressão, para uniformizar

a temperatura da cola dentro do reservatório eliminando as flutuações de temperatura durante o dia e durante o ano.

- **Cabina de aplicação de cola** - Sabendo que a aplicação/pulverização da cola seria manual e que a cola é de base solvente (polímero sintético diluído em solventes orgânicos), tornava-se necessário ter uma cabina de aplicação com a função de protecção para pulverização excessiva e extracção dos vapores que se libertam quando da atomização da cola. Como a cola é de base solvente, os vapores libertados são os solventes usados na base da cola. Estes vapores são muito nocivos para a saúde humana quando inalados, pelo que também se tornou necessária a utilização de uma máscara com protecção adequada para vapores de solventes. Para suportar a peça, permitindo a sua mobilidade, e para que a pistola de pulverização apenas projectasse cola contra as paredes da cabina, foi idealizado um suporte que, fixando a peça por ventosas com vácuo e actuadas por pedal, permitia a rotação da peça segundo dois eixos, o que permite a acessibilidade a todas as zonas da peça onde é necessário aplicar a cola (Figura 59).



Figura 59 - Suporte de peça para aplicação de cola

- **Secagem da cola** - Após a aplicação da cola na peça, mesmo com a libertação de solventes durante a pulverização, a cola ainda necessita de secar para garantir a completa libertação de todos os solventes antes de poder ser reactivada (conteúdo de sólidos na mistura é aproximadamente 17%!). Na ficha técnica da cola, o fornecedor menciona que o tempo de secagem é de pelo menos 20 min à temperatura ambiente, variando o tempo de secagem em função das condições ambientais. Para uniformizar esta operação e garantir a produção das peças na correcta sequência, FIFO (First In, First Out), foi adquirido um equipamento, tipo carrossel, onde as peças seguiriam em percurso fechado, em condições de temperatura controlada e, no final, à saída do equipamento, estariam imediatamente em condições de poderem ser utilizadas na operação seguinte (Figura 60).



Figura 60 - Equipamento de secagem de cola e equipamento de reactivação da cola

- **Reactivação da cola** - Para a cola ganhar as suas propriedades de adesividade após evaporação dos solventes, torna-se necessário reactivar a cola. Esta reactivação é atingida elevando a temperatura na superfície da peça até aos 80°C. Para o processo-protótipo foi usada uma estufa de abertura manual, com um volume interior várias vezes superior ao volume necessário para a reactivação da cola na peça em estudo. Para além do desperdício de energia inerente ao aquecimento de um volume muito maior do que o necessário, o espaço em chão de fábrica ocupado pelo este equipamento era demasiado grande, ou seja, ocupava cerca de 5 m² (Figura 61). Assim, após testes com lâmpadas de grande potência, foi idealizado um equipamento bastante compacto (área ocupada em chão de fábrica inferior a 0.5m²), sendo usado por baixo do carrossel por onde as peças seguem penduradas. Portanto, a área ocupada por este equipamento não vai incrementar a área necessária para ao *layout*, pois fica integrada na área do equipamento de reactivação de cola. Outra vantagem deste equipamento é o seu consumo de energia. Sendo equipado com sensores de entrada e saída de peça, este apenas acciona o aquecimento quando detecta que uma peça está a entrar dentro da área de reactivação, desligando-o após detectar a saída da peça dessa área. Com este equipamento obtém-se um processo mais '*Lean*', pois evitam-se manuseamentos desnecessários da peça (do equipamento de secagem para o equipamento de reactivação da cola) (Figura 60).

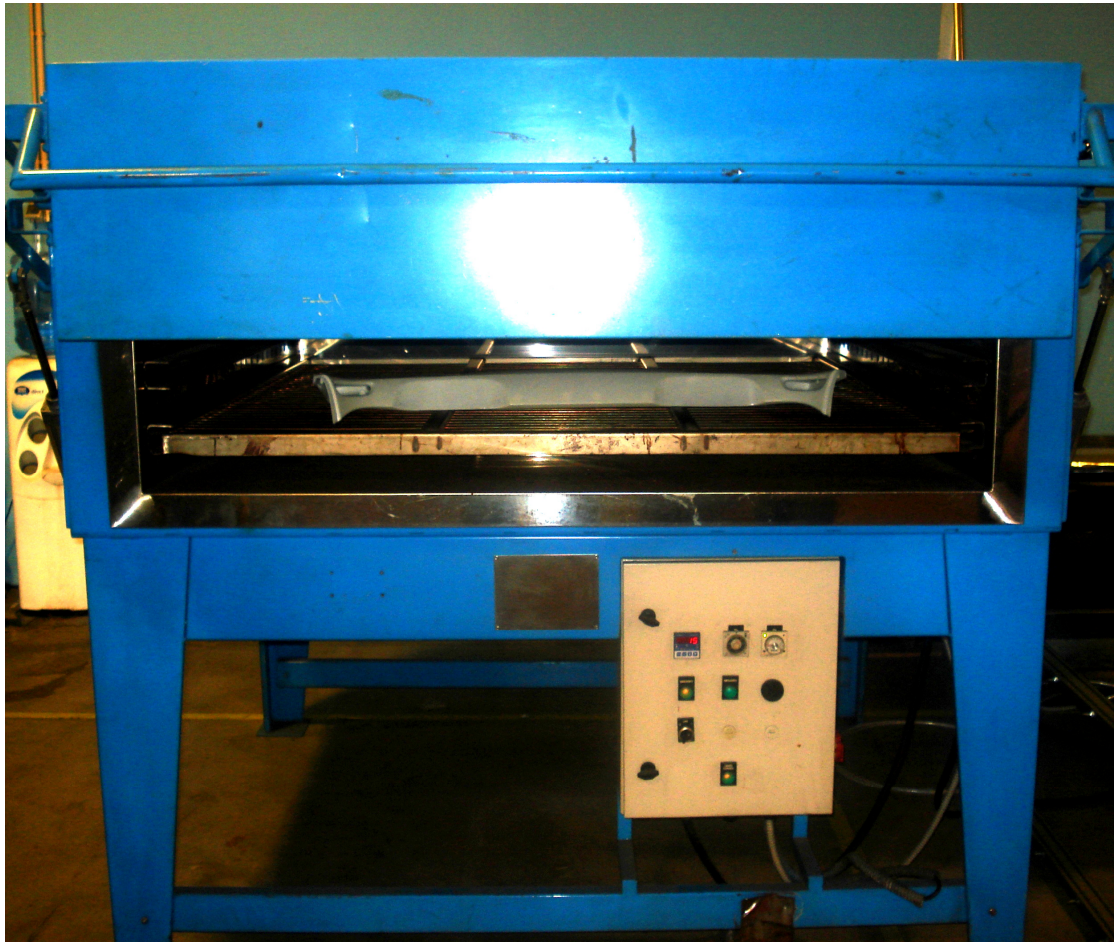


Figura 61 - Estufa usada para reactivação da cola

- **Termoformação** - Sendo este o equipamento fulcral neste processo e existindo na empresa um equipamento para este tipo de processos que não estava a ser utilizado, após adaptação interna, este equipamento foi usado no processo-protótipo e foi depois readaptado para o processo série, tendo-se incluído alguma automação para facilitar a sua operação e também para tornar mais fiável o processo. Porém, a alteração efectuada de maior relevo, que teve um grande impacto económico no resultado final do processo, foi a redução da área útil de termoformação, permitindo a diminuição da quantidade de PVC usado por ciclo, passando de $1530 \times 740 \text{ mm}^2$ para $1250 \times 470 \text{ mm}^2$.
- **Corte do PVC nos furos da peça na direcção do eixo Z** - Para diminuir a incorporação de mão-de-obra no produto final, foi adaptada uma prensa hidráulica existente e construída uma ferramenta própria para efectuar os cortes necessários (na direcção do eixo Z) sem grandes complicações técnicas nem custos elevados.

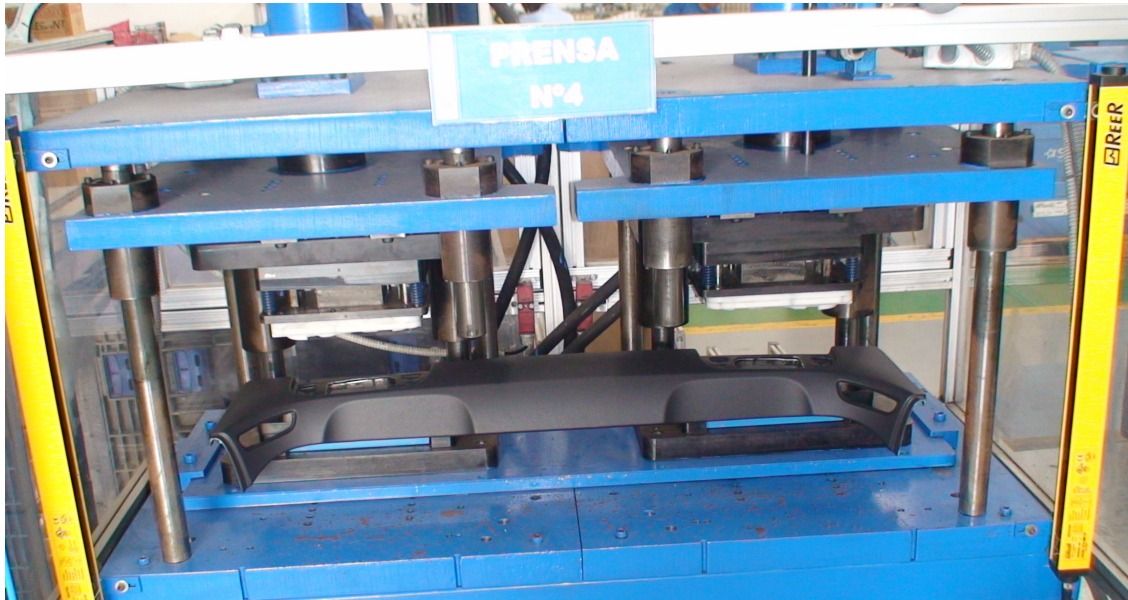


Figura 62 - Prensa de corte do PVC

- **Soldadura por ultra-sons** - Sendo este processo destinado a um produto de baixa cadência, o investimento em equipamento específico seria muito avultado e no final da vida do produto, dificilmente poderia ser reaproveitado para outros projectos. Assim sendo, e tendo sido o produto desenvolvido desde início com esse intuito, foi adquirida uma célula de soldadura com robô de 6 eixos para efectuar a soldadura dos 'Rückwands Inner' com os 'Outer' e dos 'Deckels Li 'Inner' com 'Outer' e 'Deckels Re' 'Inner' com 'Outer'. Para atingir o tempo de ciclo previsto, foi necessário acrescentar um sistema de refrigeração do ar que promove o arrefecimento dos sonotrodos.

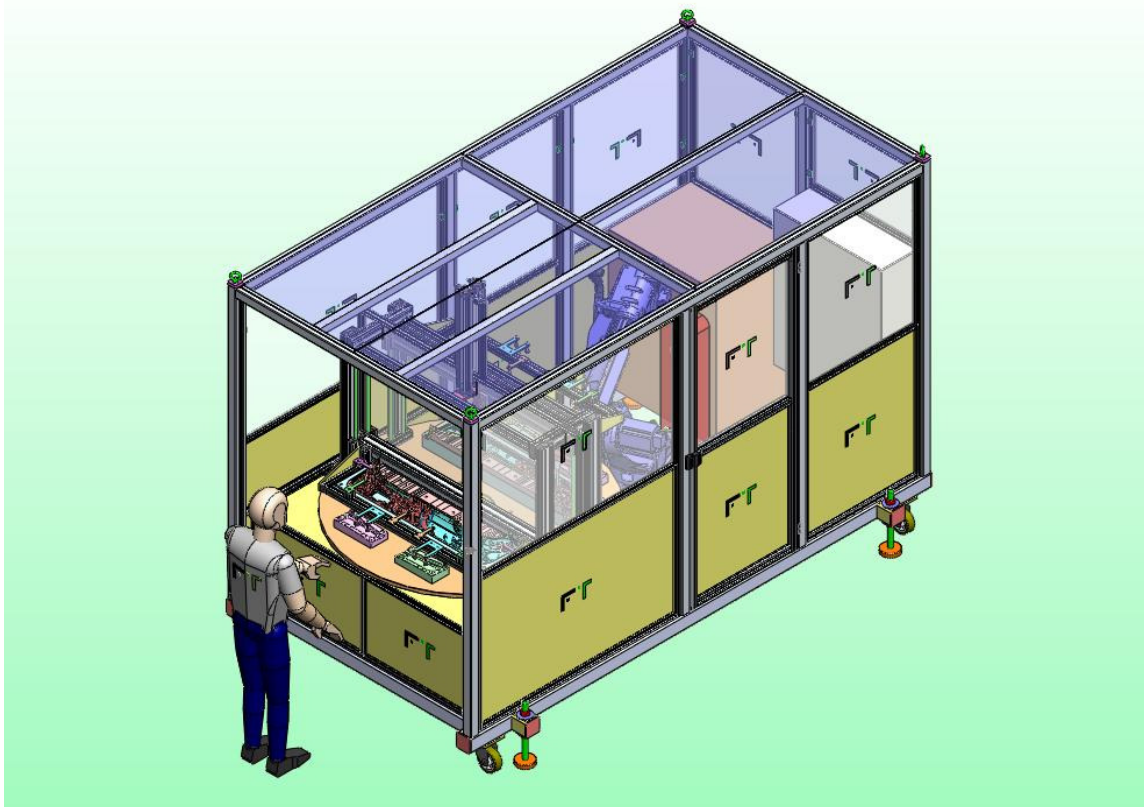


Figura 63 - Célula de soldadura por ultra-sons com robô de 6 eixos

- **Verificação final** - Sendo este um processo com muitas montagens manuais, no final do mesmo, para minimizar as possibilidades de falha, tanto humana como dos equipamentos, foi especificado um equipamento para verificar que todas as montagens e soldaduras tinham sido correctamente efectuadas e realizar um teste de tracção às cintas que seguram os 'Deckels' em caso de uso do sistema activo de protecção em caso de capotamento.



Figura 64 - Equipamento de teste de tracção e verificação final

- **Dispensador de lubrificante** - Após testes efectuados em veículos, o cliente constatou a existência de ruídos originados pela fricção do PVC com as costas dos bancos traseiros, tendo solicitado o uso de um lubrificante de elevada densidade (Densidade a 20°C (DIN 51757) = 1,90 g/cm³) e viscosidade (Índice de viscosidade, DIN 2909 = 134). Este lubrificante, sendo muito específico para sistemas tribológicos, é muito caro, sendo apenas necessário o uso de uma quantidade bastante diminuta por peça, sendo depois espalhado pela área crítica de contacto. Para garantir o uso na quantidade adequada, foi adquirido um equipamento que permite dosear gota a gota a quantidade de produto dispensado por peça.



Figura 65 - Equipamento dispensador de lubrificante

3.6.4. Avaliação / cronometragem dos tempos associados a cada operação

Na injeção e embalagem intermédio de todas as peças, processo standard e sem qualquer outra operação, o ciclo de injeção de qualquer uma das peças é superior ao tempo de operação, pelo que não há necessidade de avaliar os tempos para posterior balanceamento. Já para o processo de termoformação, montagem, soldadura e verificação, dada a complexidade do mesmo e a necessidade de termos vários operadores, este estudo é necessário. Foram assim definidas as seguintes operações que são necessárias para a produção de cada peça:

1. Retirar '*Rückwand Outer*' da embalagem e colocá-la no suporte;
2. Aplicar cola na peça com pistola, rodando o suporte para ter acessibilidade a todas as zonas da peça;
3. Retirar a peça do suporte, colocar a peça no carrossel de secagem;
4. Retirar a peça reactivada do carrossel, colocar a peça na base de termoformação e pressionar start;
5. Cortar PVC;
6. Colocar PVC na máquina de termoformação;
7. Descer calcador e pressionar '*start*';
8. Arrefecer zonas críticas com pistola de ar comprimido;
9. Cortar excesso de PVC na base de termoformação;
10. Retirar a peça da base e colocá-la na bancada;
11. Retirar sobra de PVC da máquina de termoformação e deitar fora;
12. Rebordagem manual da peça;
13. Corte do PVC nos furos dos '*Gurtblends*';
14. Colocar a peça na prensa para efectuar os restantes furos no PVC, pressionando '*start*';
15. Retirar a peça da prensa e coloca-la na bancada;
16. Retirar um '*Rückwand Inner*' da embalagem, montá-lo no '*Outer*' e colocar o conjunto na base de soldadura;
17. Retirar o conjunto '*Rückwand*' soldado no ciclo anterior e coloca-lo na bancada;
18. Retirar 1 conjunto '*Deckel Inner*' e '*Outer Li*' da embalagem e coloca-lo na base de soldadura;
19. Retirar 1 conjunto '*Deckel Inner*' e '*Outer Re*' da embalagem e coloca-lo na base de soldadura;
20. Retirar os conjuntos '*Deckels Li e Re*' soldados no ciclo anterior, pressionar '*start*' e colocar '*Deckels*' na bancada;
21. Montar '*Gurtblends*' no '*Rückwand*';
22. Montar 4 agrafos metálicos;
23. Passar as cintas pelos orifícios do '*Rückwand*', prender os '*Deckels*' nas cintas, puxar as cintas e montar os '*Deckels*' no '*Rückwand*';

24. Colar 2 feltros;
25. Colocar o conjunto na base do equipamento de detecção e prender as cintas nas garras;
26. Montar 2 agrafos metálicos;
27. Montar 3 isolantes acústicos e pressionar 'start';
28. Introduzir cintas no alojamento do 'Rückwand';
29. Colocar lubrificante e espalhá-lo;
30. Retirar a peça e embalá-la.

Seguidamente fez-se a cronometragem dos tempos associados a cada uma das operações anteriormente mencionadas. Devido à quantidade de operações envolvidas, começou-se por cronometrar 10 tempos por operação e, após avaliação do erro para a média desses tempos (com um intervalo de confiança de 95%), decidia-se se esse valor era representativo ou se se avançava com a cronometragem de mais tempos. Para esse efeito usou-se o Nomograma para determinação do erro em função da dimensão da amostra e da sua dispersão (ANEXO II), usado na metodologia REFA (REFA, 2011).

Seguidamente apresentam-se as tabelas com os valores dos tempos cronometrados por operação:

Tabela 3 - Tempos cronometrados por operação

Operação	Tempos (s)									
	6.7	5.6	5.8	5.7	5.2	5.4	6.3	5.6	6.0	5.5
1.	82.4	72.8	86.3	78.7	72.2	81.3	79.8	82.3	74.9	73.8
2.	3.5	4.0	4.1	3.9	3.7	3.9	4.1	4.2	4.2	4.1
3.	12.2	13.3	13.5	14.7	12.7	12.6	13.4	14.1	13.3	12.9
4.	14.6	15.0	14.1	15.6	15.7	15.0	15.4	15.6	15.4	15.7
5.	14.3	16.4	14.1	14.7	15.6	16.2	13.6	13.1	15.8	15.2
6.	5.2	4.8	4.4	4.7	4.9	4.8	5.2	5.2	4.5	5.1
7.	30.4	33.0	29.0	29.0	32.8	31.3	29.0	34.0	30.9	29.9
8.	23.7	23.6	23.4	23.8	23.5	25.1	24.0	20.6	24.8	23.6
9.	3.9	4.3	4.0	4.1	3.9	3.8	3.8	3.6	3.7	3.7
10.	8.0	7.6	8.3	8.4	8.4	8.5	8.9	7.6	8.4	7.5
11.	81.0	77.5	70.2	83.1	73.4	76.3	70.1	77.0	73.9	74.1
12.	19.6	21.0	20.5	20.2	18.9	19.0	19.4	21.6	19.7	20.8
13.	12.7	12.3	13.3	12.4	12.7	13.6	11.9	12.4	13.5	13.2
14.	8.2	7.8	8.8	8.3	7.3	7.4	7.5	8.2	8.2	8.7
15.	20.4	21.8	21.0	20.7	22.0	23.5	20.7	19.4	21.7	21.2
16.	3.0	2.7	2.9	3.1	3.0	2.9	3.3	3.1	3.2	3.0
17.	3.2	3.1	2.9	3.0	3.0	2.8	3.1	3.0	3.0	3.1
18.	3.1	3.0	3.0	2.9	2.9	3.2	2.9	3.3	2.9	2.9
19.	3.1	2.7	2.8	3.2	3.0	3.2	3.5	3.2	3.1	3.0
20.	8.7	9.9	11.2	9.5	11.5	10.7	10.6	10.5	9.1	9.1
21.	14.7	16.0	14.7	15.5	13.5	16.0	15.6	16.5	16.1	15.1
22.	24.0	24.6	25.4	23.2	23.2	24.0	22.1	26.1	24.7	24.2
23.	11.9	10.5	9.9	11.0	12.1	10.2	11.3	11.5	10.0	10.1
24.	6.4	7.4	6.2	6.8	7.0	7.0	7.4	6.8	7.5	7.5
25.	5.7	5.8	6.2	5.6	5.9	6.5	5.9	5.8	6.1	5.8
26.	35.0	35.2	36.7	34.2	31.2	33.7	35.2	38.7	33.4	33.9
27.	18.5	19.7	17.1	18.8	16.9	17.0	18.4	17.3	17.0	18.4
28.	7.0	7.2	7.0	6.8	6.1	7.3	6.9	6.4	6.9	7.4
29.	11.0	12.4	11.8	12.1	11.2	10.6	10.6	10.5	10.8	10.6
30.										

Seguindo a metodologia REFA para avaliação da representatividade da amostra recolhida para definição do tempo padrão por operação, fazem-se grupos de 5 cronometragens, avaliando-se para cada grupo a sua amplitude. Em seguida calcula-se a média das amplitudes. Os valores das amplitudes médias calculadas por operação apresentam-se nas tabelas seguintes:

Tabela 4 - Amplitude média dos tempos, por operação

Operação	Valor máximo <small>$i=1 \rightarrow 5$</small>	Valor mínimo <small>$i=1 \rightarrow 5$</small>	Amplitude <small>$i=1 \rightarrow 5$</small>	Valor máximo <small>$i=5 \rightarrow 10$</small>	Valor mínimo <small>$i=5 \rightarrow 10$</small>	Amplitude <small>$i=5 \rightarrow 10$</small>	Amplitude média
1.	6.7	5.2	6.3	5.4	1.6	0.9	1.2
2.	86.3	72.2	82.3	73.8	14.2	8.5	11.3
3.	4.1	3.5	4.2	3.9	0.6	0.2	0.4
4.	14.7	12.2	14.1	12.6	2.4	1.5	2.0
5.	15.7	14.1	15.7	15.0	1.6	0.7	1.2
6.	16.4	14.1	16.2	13.1	2.3	3.0	2.6
7.	5.2	4.4	5.2	4.5	0.8	0.7	0.8
8.	33.0	29.0	34.0	29.0	4.0	5.0	4.5
9.	23.8	23.4	25.1	20.6	0.3	4.6	2.4
10.	4.3	3.9	3.8	3.6	0.4	0.2	0.3
11.	8.4	7.6	8.9	7.5	0.8	1.5	1.1
12.	83.1	70.2	77.0	70.1	12.9	6.9	9.9
13.	21.0	18.9	21.6	19.0	2.1	2.6	2.3
14.	13.3	12.3	13.6	11.9	1.0	1.7	1.3
15.	8.8	7.3	8.7	7.4	1.5	1.3	1.4
16.	22.0	20.4	23.5	19.4	1.6	4.1	2.8
17.	3.1	2.7	3.3	2.9	0.4	0.5	0.5
18.	3.2	2.9	3.1	2.8	0.2	0.3	0.3
19.	3.1	2.9	3.3	2.9	0.3	0.4	0.3
20.	3.2	2.7	3.5	3.0	0.5	0.5	0.5
21.	11.5	8.7	10.7	9.1	2.7	1.6	2.2
22.	16.0	13.5	16.5	15.1	2.5	1.4	1.9
23.	25.4	23.2	26.1	22.1	2.2	4.0	3.1
24.	12.1	9.9	11.5	10.0	2.2	1.5	1.9
25.	7.4	6.2	7.5	6.8	1.2	0.7	0.9
26.	6.2	5.6	6.5	5.8	0.5	0.7	0.6
27.	36.7	31.2	38.7	33.4	5.5	5.3	5.4
28.	19.7	16.9	18.4	17.0	2.8	1.4	2.1
29.	7.2	6.1	7.4	6.4	1.1	1.0	1.0
30.	12.4	11.0	10.8	10.5	1.4	0.4	0.9

Após cálculo da amplitude média, obtém-se a dispersão da amostra, em percentagem, através da seguinte equação:

$$Dispersão da amostra = \frac{Amplitude\ média}{Média\ da\ amostra} \times 100 \quad (3)$$

Apresentam-se nas tabelas seguintes os valores da dispersão calculada por operação:

Tabela 5 - Dispersão dos tempos, por operação

Operação	Amplitude média	Média da amostra	Dispersão (%)
1.	1.2	5.8	21.2
2.	11.3	78.5	14.4
3.	0.4	4.0	10.2
4.	2.0	13.3	14.8
5.	1.2	15.2	7.6
6.	2.6	14.9	17.8
7.	0.8	4.9	15.7
8.	4.5	30.9	14.5
9.	2.4	23.6	10.4
10.	0.3	3.9	7.4
11.	1.1	8.2	13.9
12.	9.9	75.7	13.1
13.	2.3	20.1	11.6
14.	1.3	12.8	10.5
15.	1.4	8.0	17.6
16.	2.8	21.2	13.3
17.	0.5	3.0	15.2
18.	0.3	3.0	9.3
19.	0.3	3.0	11.1
20.	0.5	3.1	16.4
21.	2.2	10.1	21.7
22.	1.9	15.4	12.7
23.	3.1	24.2	12.8
24.	1.9	10.9	17.2
25.	0.9	7.0	13.2
26.	0.6	5.9	10.6
27.	5.4	34.7	15.6
28.	2.1	17.9	11.8
29.	1.0	6.9	14.7
30.	0.9	11.1	7.9

Usando o valor da dispersão calculado e a dimensão da amostra como entradas na tabela Nomograma para determinação do erro, obtém-se para cada operação um erro associado ao tempo médio da amostra (Margem de confiabilidade relativa). Os valores do erro retirados das tabelas (ANEXO III) apresentam-se na tabela seguinte.

Admitindo um valor de $\pm 5\%$ como erro máximo admissível, constata-se que todos os valores de erro previamente calculados estão dentro da margem pretendida. Assim sendo, podemos inferir com um intervalo de confiança de 95% que as amostras de tempos cronometrados são representativas dos tempos de cada uma das operações. Tendo chegado a esta conclusão, podemos usar o tempo médio da amostra de cada operação para tempo padrão dessa operação. Os tempos padrão calculados e arredondados de cada uma das operações apresentam-se na tabela abaixo.

Tabela 6 - Erro associado ao tempo padrão e tempo padrão, por operação

Operação	Erro calculado	Tempo padrão (s)
1.	4.9	6
2.	3.3	79
3.	2.4	4
4.	3.4	14
5.	1.8	16
6.	4.1	15
7.	3.7	5
8.	3.3	31
9.	2.5	24
10.	1.7	4
11.	3.2	9
12.	3.1	76
13.	2.7	21
14.	2.5	13
15.	4.1	8
16.	3.1	3
17.	3.6	3
18.	2.2	3
19.	2.6	3
20.	3.8	4
21.	5.0	11
22.	3.0	16
23.	3.0	25
24.	4.0	11
25.	3.1	7
26.	2.5	6
27.	3.7	35
28.	2.7	18
29.	3.4	7
30.	1.9	12

3.6.5. Análise do layout a utilizar no processo

A disposição de um 'layout' de um processo envolve decidir onde colocar todas as máquinas, equipamentos e pessoal nas operações de fabricação.

O layout determina a forma como os materiais e outros 'inputs' (como pessoas e informações) fluem através da operação. Mudanças relativamente pequenas na posição de uma máquina num 'layout' podem afectar o fluxo de materiais consideravelmente. Este, por sua vez, pode afectar os custos e a eficácia da operação de produção global. A má implementação de uma sequência de fabrico pode levar a ineficiências, inflexibilidade, grandes volumes de inventário e trabalhos em curso, custos elevados e clientes insatisfeitos. Mudar um 'layout' pode ser caro e difícil, pelo que é extremamente aconselhável estudar convenientemente o processo e proceder a uma adequada implementação do mesmo (Allington, 2006).

O 'layout' para o processo desenvolvido neste trabalho teve que obedecer às restrições impostas, nomeadamente na área e localização disponíveis, e na sequência de operações que as peças têm que seguir. Outras condicionantes importantes no desenho do 'layout' industrial deste processo foram a posição e dimensão das máquinas (algumas aproveitadas de outros processos descontinuados), o número de operadores, o fluxo de produção e a relação entre as máquinas e o trabalho a efectuar.

Os desenvolvimentos atuais de processos fornecem informações tipicamente de forma assíncrona em grandes lotes. Um processo baseado em fluxo proporciona informação sobre a cadência regular em pequenos lotes. Na verdade, a cadência ajuda a reduzir custos de transacção e permite a realização de pequenos lotes, economicamente mais viáveis (Reinertsen, 2009).

Tendo em vista um processo 'lean', o 'layout' desenvolvido não inclui nenhum local de armazenamento intermédio entre operações, com excepção das peças que se encontram no interior do equipamento de secagem da cola, que por inerência da função do equipamento, tem que ter sempre peças no seu interior, para fazer face ao tempo de secagem da cola. Apresenta-se na figura seguinte a disposição das máquinas e o fluxo que os materiais seguem no 'layout' definido:

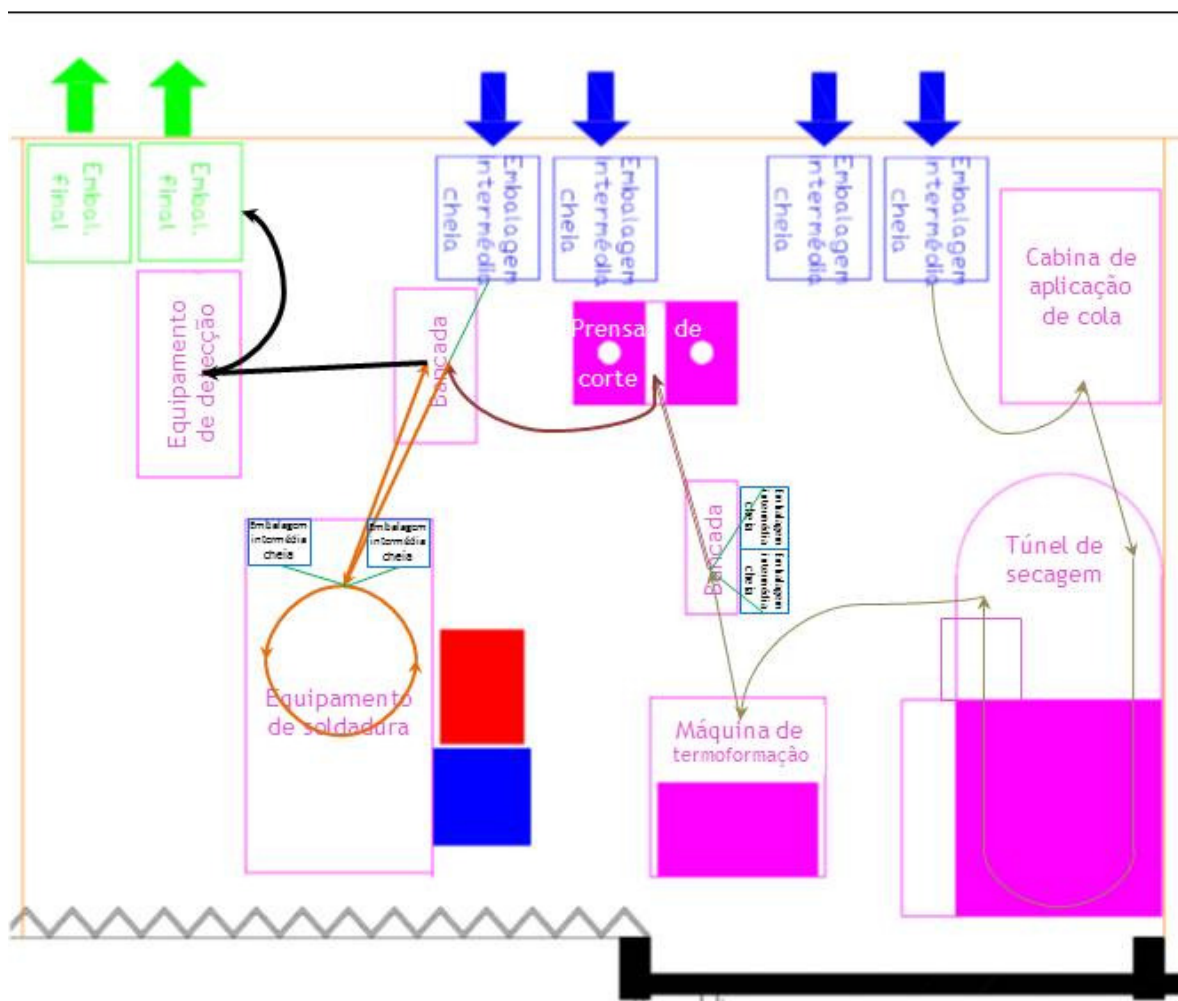


Figura 66 – 'Layout' e fluxo de produção e materiais

3.6.6. Optimização das tarefas (tempos, distribuição de cargas, optimização de meios e operações

No ponto 3.6.3, vimos que o 'takt time' para este processo teria que ser 2 minutos. No ponto 3.6.4, avaliamos os tempos de cada operação. Sabendo que as operações 8 e 9 são efectuadas por dois operadores em simultâneo (cada operador executa estas tarefas em metade da peç a), podemos calcular o tempo total de operação necessário. Assim sendo, somando todos os tempos individuais por operação da tabela 6 e se a este valor acrescentarmos mais uma vez os tempos das operações 8 e 9 que são efectuadas por 2 operadores, obtemos:

$$\text{Tempo total} = 544 \text{ s}$$

Com estes dois valores, podemos calcular o número mínimo de operadores necessários para este processo, através da seguinte fórmula:

$$\text{Número mínimo de operadores} = \frac{\text{Tempo total de operação}}{\text{takt time}} = \frac{544}{120} = 4.53(3) \quad (4)$$

Arredondando o valor calculado para o número inteiro seguinte, obtemos o número mínimo de operadores necessário para este processo, ou seja, cinco.

De forma a balancear o melhor possível a atribuição de operações a cada operador, para distribuição de cargas, começ -se por calcular o tempo médio óptimo que cada operador deverá estar ocupado. Para esse efeito, divide-se o tempo total de operação pelo número de operadores. Obtemos assim:

$$\text{tempo óptimo de ocupação} = \frac{544 \text{ s}}{5 \text{ op}} = 108.8 \text{ s/operador} \quad (5)$$

3.6.7. Definição final da gama de fabrico (layout, tempos, operações, tarefas, etc.)

Sabendo a sequência das operações, o tempo máximo que cada operador poderá estar ocupado (120 segundos) e tendo calculado o tempo óptimo de ocupação por operador, distribuem-se as operações por operador, de acordo com a tabela 7.

Tabela 7 - Distriuição das operações por operadores

Operador	Operações	Tempo / operação (s)	Tempo total de ocupação (s)
1	1	6	103
	2	79	
	3	4	
	4	14	
2	5	16	104
	6	15	
	7	5	
	8	31	
	9	24	
	10	4	
	11	9	
3	12	76	110
	13	21	
	14	13	
4	8	31	110
	9	24	
	15	8	
	16	3	
	21	11	
	22	16	
	24	11	
	26	6	
5	17	3	117
	18	3	
	19	3	
	20	4	
	23	25	
	25	7	
	27	35	
	28	18	
	29	7	
	30	12	

Após a distribuição das operações pelos operadores, actualiza-se o 'layout' com a disposição dos operadores (Figura 67).

Não sendo possível obter uma distribuição de tempos uniforme pelos operadores, de acordo com o tempo óptimo de ocupação calculado, verifica-se pela distribuição anterior de tarefas que o tempo de ciclo do processo de termoformação, montagem e soldadura será o maior dos tempos de ocupação, ou seja, cento e dezassete segundos.

Com os tempos de ocupação atribuídos e sabendo o tempo de ciclo, calculamos as taxas de ocupação de cada operador, que se apresentam na tabela 8, pela fórmula seguinte:

$$taxa\ de\ ocupação\ i = \frac{Tempo\ total\ de\ ocupação\ i}{tempo\ de\ ciclo} \times 100 \tag{6}$$

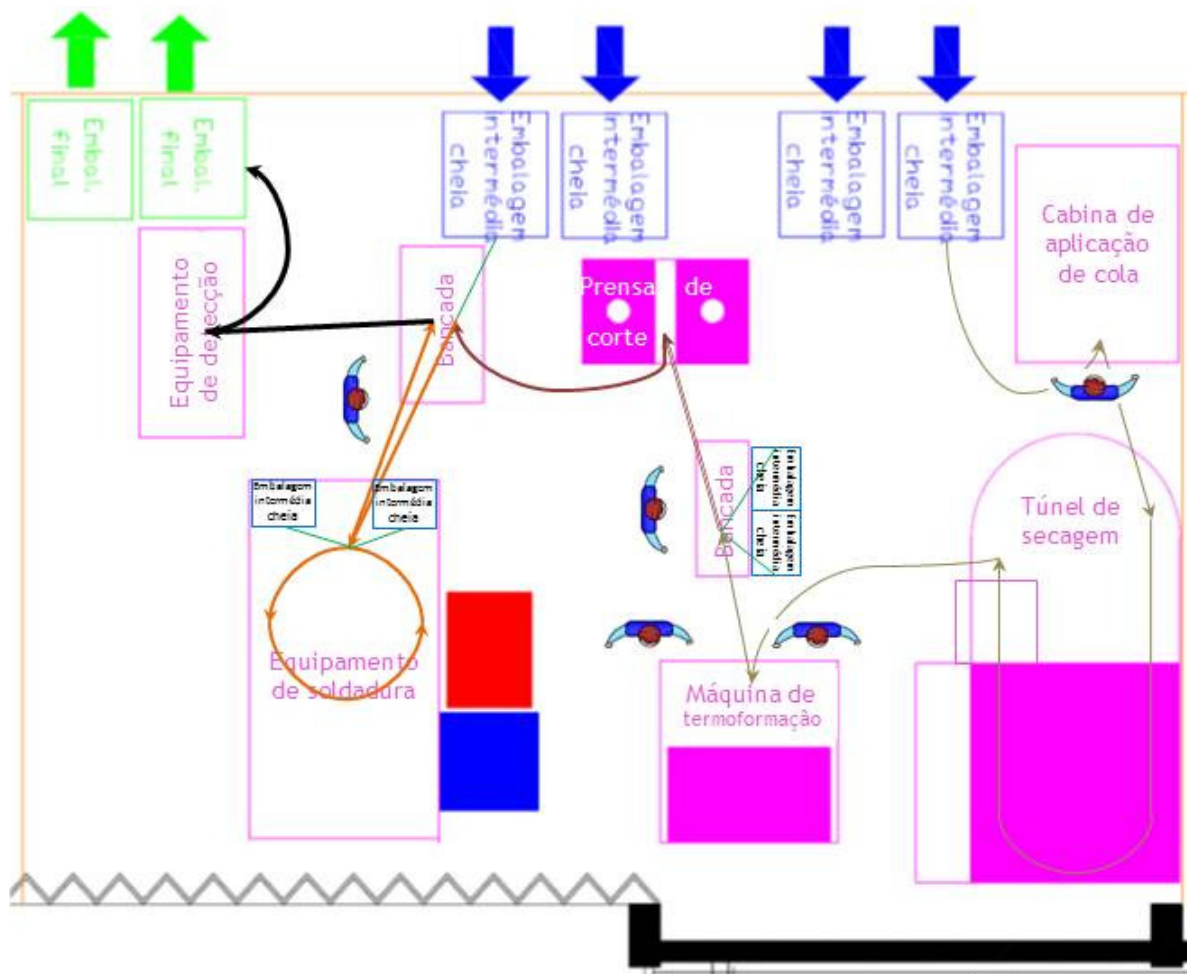


Figura 67 – ‘Layout’ com operadores e fluxo de produção e materiais

Tabela 8 - Taxa de ocupação por operador

Operador	Taxa de ocupação (%)
1	88.0
2	88.9
3	94.0
4	94.0
5	100.0

Estando os operadores 1, 2, 3 e 4 com taxas de ocupação inferiores ao 100%, serão estes que farão as tarefas logísticas que não são executadas em todos os ciclos do processo, mas sim, de tempos-a-tempos, por exemplo:

- Substituição de caixas de componentes;
- Substituição de filtros;
- Limpeza da pistola de pulverização de cola;
- Pesagem e mistura da cola com endurecedor;
- Preenchimento de dados na ordem de produção;
- Outras tarefas não previstas.

4. Conclusões

Avanços recentes na tecnologia dos processos de produção de peças plásticas para automóveis indiciam um novo caminho a trilhar na direcção da redução do peso do automóvel, permitindo ganhos significativos comparativamente às tecnologias usadas até agora em peças semelhantes. Porém, estes novos processos, como normalmente acontece com todas as novas tecnologias, têm custos de investimento muito elevados, pelo que habitualmente começam por ser usados em automóveis topo de gama ou de competição, demorando alguns anos até chegar às linhas de produção dos carros mais comuns.

A tecnologia usada para a realização deste trabalho, embora na sua essência não sendo inovadora, é actual, e permite ganhos de peso e de reciclabilidade comparativamente a outras peças semelhantes usadas até à actualidade. Outras vantagens do desenvolvimento deste processo produtivo, foram o seu relativamente baixo investimento inicial e a versatilidade do processo.

Em termos de eficiência global do processo, conseguiu-se obter 83.4%, que representa um valor muito bom, tendo em consideração que neste valor estão incluídas todas as concessões de tempo para perdas. Também a distribuição de tarefas pelos operadores se revelou bastante equilibrada, permitindo obter taxas de ocupação semelhantes.

Foi possível realizar toda a produção diária solicitada pelo cliente em apenas um turno, conforme requisito interno da empresa, evitando assim o pagamento de subsídios de turno, aumentando desta forma a rendibilidade deste projecto.

Após a conclusão do desenvolvimento do processo e início de fornecimento em série das peças, a empresa, pela sua prestação, já conseguiu junto do cliente obter mais contratos para desenvolver e fornecer outras peças termoformadas com PVC, para outros modelos.

5. Bibliografia e Outras Fontes de Informação

Allington, M., 2006, "Factory layout principles", UK-RF Closed Nuclear Cities Partnership

Bahar, Mahdi Naqdi, 2012, "Theoretical Structure for Launching New Product Development (NPD) In Automotive Industry", International Journal of Emerging trends in Engineering and Development Issue 2, Vol.5

Bellmann, K., Khare, A., 1999, "European response to issues in recycling car plastics", Technovation, Volume 19, Issue 12, Pages 721-734

Directiva 2000/53/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 18 de Setembro de 2000 relativa aos veículos em fim de vida

Kiefer, G., Schwarzmann, P., 2001, Thermoforming – A practical guide, Adolf Illig (Editor), Hanser Publishers, Munich

Modesti, M., Simioni, F., 1996, "Chemical recycling of reinforced polyurethane from the automotive industry", Polymer Engineering & Science, Volume 36, Issue 17, pages 2173–2178

PlasticsEurope, 2010, "An analysis of European plastics production, demand and recovery for 2009", Plastics – the Facts, PlasticsEurope, Association of Plastics Manufacturers, Brussels, Belgium

REFA - Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung, 1978, (associação alemã para o estudo do trabalho, organização empresarial e qualificação profissional), Methodenlehre des Arbeitsstudiums

Reinertsen, Donald G., 2009, "The Principles of Product Development Flow", Celeritas Publishing, 2009

Smink, Carla K., 2007 "Vehicle recycling regulations: lessons from Denmark", Journal of Cleaner Production, Volume 15, Issues 11-12, Pages 1135-1146

Fontes de Informação 'Online'

Beissmann, Tim, 2010, "caradvice.com.au", <http://www.caradvice.com.au/60561/eu-car-production-lowest-since-1996-2010-looking-very-challenging/>, consultado em 12 de Março 2010

Ecopur Industries Inc., 2012, PU2PU Technology for PU recycling, (<http://www.pu2pu.com/COMMUNITY/Featured-Company/Ecopur/Booth-Product-Details.aspx?ID=207>), consultada em 12 de Junho de 2012)

Smock, D., 2012, "What's the future for automotive composites?", Plastics today, (<http://www.plasticstoday.com/articles/whats-future-automotive-composites0911201201>), consultada em 24 de Setembro de 2012)

Moore, S., 2012, "Hybrid thermoforming-injection process attracts auto industry interest", Plastics today, (<http://www.plasticstoday.com/articles/hybrid-thermoforming-injection-process-attracts-auto-industry-interest-polyamide-audi-20111202a>), consultada em 24 de Setembro de 2012)

Gattshall, R., 2012, "When should process development begin? Try at RFQ", Plastics today, (<http://www.plasticstoday.com/articles/when-does-process-development-begin-try-rfq-061220123>), consultada em 10 de Setembro de 2012)

ANEXO I

ficha técnica ABS/PC

Bayblend T85 XF

Standard grades / Non reinforced

(PC+ABS) blend; unreinforced; injection molding grade; Vicat/B 120 temperature = 130 °C; better flow than T85.

ISO Shortname

Property	Test Condition	Unit	Standard	Value
Rheological properties				
C Melt volume-flow rate	260 °C; 5 kg	cm ³ /10 min	ISO 1133	19
Molding shrinkage, parallel	150x105x3; 260 °C / MT 80 °C	%	b.o. ISO 2577	0.5 - 0.7
Molding shrinkage, normal	150x105x3; 260 °C / MT 80 °C	%	b.o. ISO 2577	0.5 - 0.7
Melt viscosity	1000 s ⁻¹ ; 260 °C	Pa·s	b.o. ISO 11443-A	250
Mechanical properties (23 °C/50 % r. h.)				
C Tensile modulus	1 mm/min	MPa	ISO 527-1,-2	2300
C Yield stress	50 mm/min	MPa	ISO 527-1,-2	54
C Yield strain	50 mm/min	%	ISO 527-1,-2	4.7
Stress at break	50 mm/min	MPa	ISO 527-1,-2	50
Strain at break	50 mm/min	%	b.o. ISO 527-1,-2	> 50
Izod impact strength	23 °C	kJ/m ²	ISO 180-U	N
Izod impact strength	-30 °C	kJ/m ²	ISO 180-U	N
Izod notched impact strength	23 °C	kJ/m ²	ISO 180-A	48
Izod notched impact strength	-30 °C	kJ/m ²	ISO 180-A	35
Thermal properties				
C Temperature of deflection under load	1.80 MPa	°C	ISO 75-1,-2	109
C Temperature of deflection under load	0.45 MPa	°C	ISO 75-1,-2	127
C Vicat softening temperature	50 N; 50 °C/h	°C	ISO 306	128
Vicat softening temperature	50 N; 120 °C/h	°C	ISO 306	130
C Coefficient of linear thermal expansion, parallel	23 to 55 °C	10 ⁻⁴ /K	ISO 11359-1,-2	0.75
C Coefficient of linear thermal expansion, transverse	23 to 55 °C	10 ⁻⁴ /K	ISO 11359-1,-2	0.8
C Burning behavior UL 94 [UL recognition]	0.85 mm	Class	UL 94	HB
Electrical properties (23 °C/50 % r. h.)				
C Relative permittivity	100 Hz	-	IEC 60250	3.1
C Relative permittivity	1 MHz	-	IEC 60250	3.0
C Dissipation factor	100 Hz	10 ⁻⁴	IEC 60250	20
C Dissipation factor	1 MHz	10 ⁻⁴	IEC 60250	85
C Volume resistivity		Ohm·m	IEC 60093	1E14
C Surface resistivity		Ohm	IEC 60093	1E16
C Electrical strength	1 mm	kV/mm	IEC 60243-1	35
C Comparative tracking index CTI	Solution A	Rating	IEC 60112	225
Other properties (23 °C)				
C Water absorption (saturation value)	Water at 23 °C	%	ISO 62	0.7
C Water absorption (equilibrium value)	23 °C; 50 % r. h.	%	ISO 62	0.2
C Density		kg/m ³	ISO 1183-1	1140
Processing conditions for test specimens				
C Injection molding-Melt temperature		°C	ISO 294	260
C Injection molding-Mold temperature		°C	ISO 294	80
C Injection molding-Injection velocity		mm/s	ISO 294	240

C These property characteristics are taken from the CAMPUS plastics data bank and are based on the international catalogue of basic data for plastics according to ISO 10350.

Impact properties: N = non-break, P = partial break, C = complete break



Bayblend T85 XF

Disclaimer

Disclaimer for Sales products

This information and our technical advice - whether verbal, in writing or by way of trials - are given in good faith but without warranty, and this also applies where proprietary rights of third parties are involved. Our advice does not release you from the obligation to check its validity and to test our products as to their suitability for the intended processes and uses. The application, use and processing of our products and the products manufactured by you on the basis of our technical advice are beyond our control and, therefore, entirely your own responsibility. Our products are sold in accordance with the current version of our General Conditions of Sale and Delivery.

Test values

Unless specified to the contrary, the values given have been established on standardized test specimens at room temperature. The figures should be regarded as guide values only and not as binding minimum values. Please note that, under certain conditions, the properties can be affected to a considerable extent by the design of the mold/die, the processing conditions and coloring.

Processing note

Under the recommended processing conditions small quantities of decomposition product may be given off during processing. To preclude any risk to the health and well-being of the machine operatives, tolerance limits for the work environment must be ensured by the provision of efficient exhaust ventilation and fresh air at the workplace in accordance with the Safety Data Sheet. In order to prevent the partial decomposition of the polymer and the generation of volatile decomposition products, the prescribed processing temperatures should not be substantially exceeded.

Information Impact properties

Impact properties: N = non-break, P = partial break, C = complete break

Publisher: Global Innovations - Polycarbonates

Bayer MaterialScience AG,

D-51368 Leverkusen,

www.bayermaterialscience.com

pcs-info@bayermaterialscience.com

Bayblend[®] T65 XF and T85 XF

- (PC+ABS) blends
- Non-reinforced
- General-purpose injection molding grades
- Particularly easy-flow

Product description

Bayblend[®] T65 XF and T85 XF are non-reinforced, amorphous, thermoplastics polymer blends based on polycarbonate (PC) and acrylonitrile butadiene styrene (ABS). They are noted for their ideal combination of toughness, stiffness and flowability. Their heat resistance to Vicat VST/B 120 is in the region of 120 °C for T65 XF and 130 °C for T85 XF.

Characterization

Bayblend[®] T65 XF and T85 XF are the easy-flow variants of the general-purpose Bayblend[®] T65 and T85 grades. Their flowability has been improved by 10-15 % depending on the processing conditions. Alongside improved flowability, T65 XF and T85 XF also have the following advantages compared to T65 and T85:

- Greater low-temperature impact strength in the multiaxial penetration test over a broader processing window.
- Excellent resistance to stress cracking under the influence of media.
- Improved stability when stored in warm, humid conditions.

Delivery form

The products are supplied as spherical or cylindrical granules in 25-kg polyethylene sacks, in large cartons with a polyethylene inliner or in bulk.

Bayblend[®] T65 XF and T85 XF are available in their natural color or in a large number of opaque color shades.

The production plants for Bayblend[®] in Europe and those in Asia have been certified to DIN EN ISO

9001:2000 by the DQS (DQS = German Association for the Certification of Quality Systems, Berlin).

The production plant for Bayblend[®] in the USA has been certified to ISO 9001:2000.

Applications

The main applications for Bayblend[®] T65 XF and T85 XF are in automotive interiors for parts requiring a high heat resistance in conjunction with very good low-temperature toughness and excellent flowability.

The high flowability of Bayblend[®] T65 XF and T85 XF also opens up additional applications in thin-wall technology, including housings for mobile phones.

- **Automotive:**
Central consoles, upper door trim moldings, exterior mirror housings, glove compartment lids, grilles, headlamp housings, instrument frames, instrument panels, interior mirror housings, loudspeaker covers, rear light chassis, column trims, side protection moldings, spoilers, steering column trims, ventilation systems, wheel covers.
- **Data systems engineering:**
Mobile telephone housings.
- **Electrical/electronics industries:**
Sockets, switches, covers.
- **Household:**
Top sections of irons, hairdryers, coffee machines, shaver housings, time-switch housings.



Properties (see also table)

Bayblend® T65 XF and T85 XF are noted for their favorable combination of heat resistance, toughness, stiffness and flowability.

Mechanical properties

T65 XF and T85 XF display a high impact and notched impact strength over a broad range of temperatures. The excellent low-temperature toughness of these products in the multiaxial penetration test is even more favorable than their notched impact strength. T65 XF has a tensile modulus some 200 MPa higher than that of T65.

Thermal properties

Bayblend® grades T65 XF and T85 XF differ primarily in terms of their heat resistance. T65 XF covers the medium heat resistance range with a Vicat temperature of 120 °C while T85 XF covers the upper end of the range at 130 °C.

When parts are subject to a low level of mechanical loading, short-term exposure to temperatures of up to 110 °C in the case of T65 XF and 120 °C in the case of T85 XF will not lead to any essential dimensional changes. The maximum continuous service temperature depends on the molded part geometry, the type of loading and the requirements.

The melting range begins at approx. 200 °C, with thermal decomposition setting in at approx. 300 °C.

The coefficient of linear thermal expansion is only influenced to a small extent by the melt flow direction and is in the range of 0.75 to $0.85 \cdot 10^{-4}/K$.

T65 XF and T85 XF have a UL 94 HB rating (all colors) at a wall thickness of 0.85 mm.

T65 XF and T85 XF attain the burning rate required for FMVSS 302 at a wall thickness of 1.0 mm and above.

Rheological properties

The flowability of T65 XF and T85 XF has been increased by some 10 - 15 % compared with the general-purpose grades of T65 und T85, depending on the processing conditions. The flowability of T65

XF is higher than that of T85 XF, as can be seen from the flow path/wall thickness diagrams in the Appendix.

The favorable combination of very good flowability and sound mechanical properties means that Bayblend® grades T65 XF und T85 XF are ideal for applications in thin-wall technology.

Chemical resistance

At room temperature, molded parts in Bayblend® are resistant to mineral acids, a large number of organic acids and also aqueous saline solutions. Bayblend® parts are not resistant to bases, aromatics, ketones, esters, chlorinated hydrocarbons and a number of greases and oils. Their resistance to chemicals is conditioned inter alia by the temperature, loading duration and the internal and external stress status of the molded part. In case of doubt, compatibility should be checked in a stress cracking test.

A clear increase in resistance to chemicals has been achieved for T65 XF, in particular. This gives rise to very good stress cracking resistance under the influence of media. In cases where paints with particularly aggressive solvents are used, better adhesion can now be obtained to these materials.

Weatherability

As with most thermoplastics, weathering leads to color changes and to an impairment of the product's mechanical properties. This reduction in properties, however, is not so pronounced, and the release specifications of the automotive industry, for example, can still be met. For more demanding requirements, a UV-stabilized variant with the designation BBS910 is available. Painting is recommended for parts that are required to satisfy highly stringent demands.

Emission behavior

Bayblend® T65 XF and T85 XF are low-emission grades, i.e. it is normally possible to comply with the emission requirements laid down by the European automotive industry for parts in vehicle interiors. Since most automotive manufacturers require the emissions to be evaluated on the finished part, it should be borne in mind that the emission behavior can be influenced to a considerable extent by the injection





molding process and by the design of the molded part (particularly the gating system). Optimum emission values can be obtained by following our design and processing advice.

Processing

Bayblend® T65 XF and T85 XF are generally processed by injection molding.

While they can basically be extruded, the higher-viscosity grades of Bayblend® T65 and T85 are more suited to extrusion. In the case of extrusion applications, version BBS904 of the products should be used where more stringent requirements are imposed on surface finish.

Pre-treatment/drying

Bayblend® T65 XF and T85 XF must be dried prior to processing. For injection molding, there must be less than 0.02 % residual moisture in the granules. Moisture in the plastic melt can lead to surface defects in the form of streaks and also to hydrolytic degradation (a reduction in mechanical properties). A drying temperature of 110 °C is recommended for T65 XF and T85 XF. Dehumidifying/desiccant dryers have to be used exclusively. The drying time is 4 hours. Excessively long drying should be avoided, since this may lead to discoloration.

Processing temperature

The optimum processing temperature must be established as a function of the molded part and should be between 260 and 280 °C. Overheating, and also excessively long residence times for the melt in the cylinder must be avoided, since this can lead to material damage, i.e. to a reduction in toughness, excessively high emission values or to surface defects in the form of streaks on the injection molded part.

Mold temperature control

The mould should be kept at a uniform temperature in the recommended range of between 70 and 100 °C. While lower temperatures result in shorter cycle times, they also lead to poorer molded part quality. The degree of orientation, inherent stress and post-shrinkage increases, while the surface finish deteriorates.

Screw speed

The screw speed should be controlled in such a way that the circumferential velocity of the screw is in the range of 0.05 to 0.2 m/s.

Molding shrinkage is virtually identical in all axes at between 0.5 and 0.7 %. In addition to the part geometry, the shrinkage is conditioned primarily by the level of holding pressure and the time for which this acts, as well as by the temperature of the melt and the mold and the cooling conditions that prevail in the mold.

Finishing

- Machining:
Sawing, drilling, milling, turning, planing, filing, stamping.
- Joining:
Screw connections, gluing, welding.
- Post-treatment:
Painting, printing, foam-coating, metallization (high vacuum vapor metallization), laser marking.

Safety Notice

The information provided in Safety Data Sheet No. 036270 should be observed. The Safety Data Sheet will be supplied on request.

Recycling

Single-sort moldings made of Bayblend® T65 XF and T85 XF which do not contain any harmful substances can be mechanically recycled after use. Molded parts containing harmful substances can be chemically or thermally recycled.

Parts should be marked in accordance with DIN ISO 11469. The identification mark for parts made of Bayblend® T65 XF and T85 XF is as follows:





>PC+ABS<

Further details can be found in our Technical Information brochure TI PCS1164en (Identification of Thermoplastics Parts for Recycling).



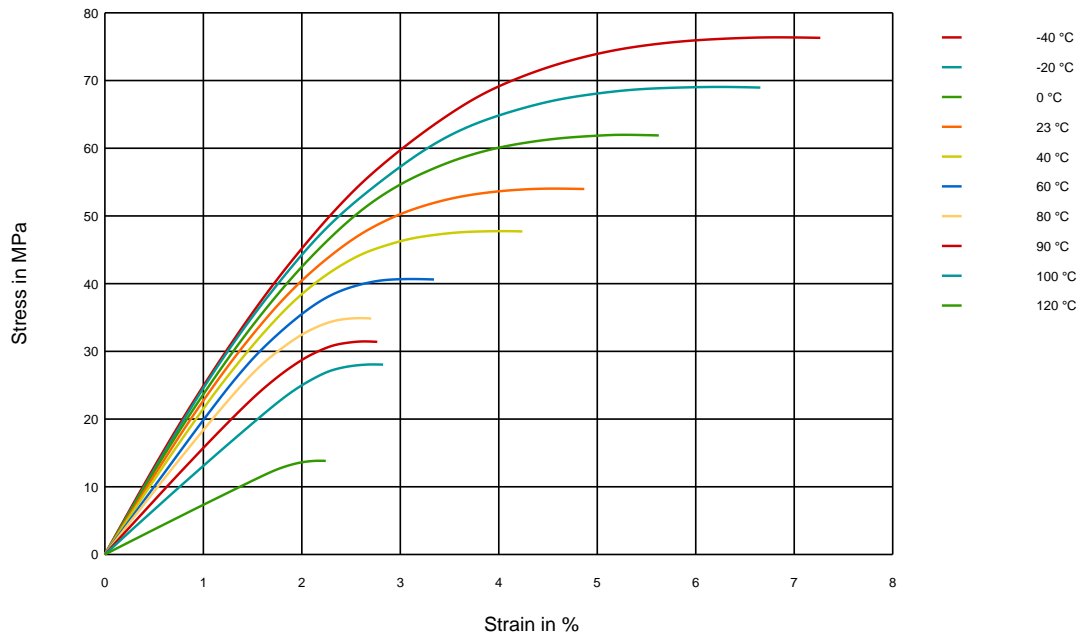


Figure 1: Isothermal stress-strain curves up to yield stress from the short-time tensile test to ISO 527-1, -2 (Bayblend® T65 XF).

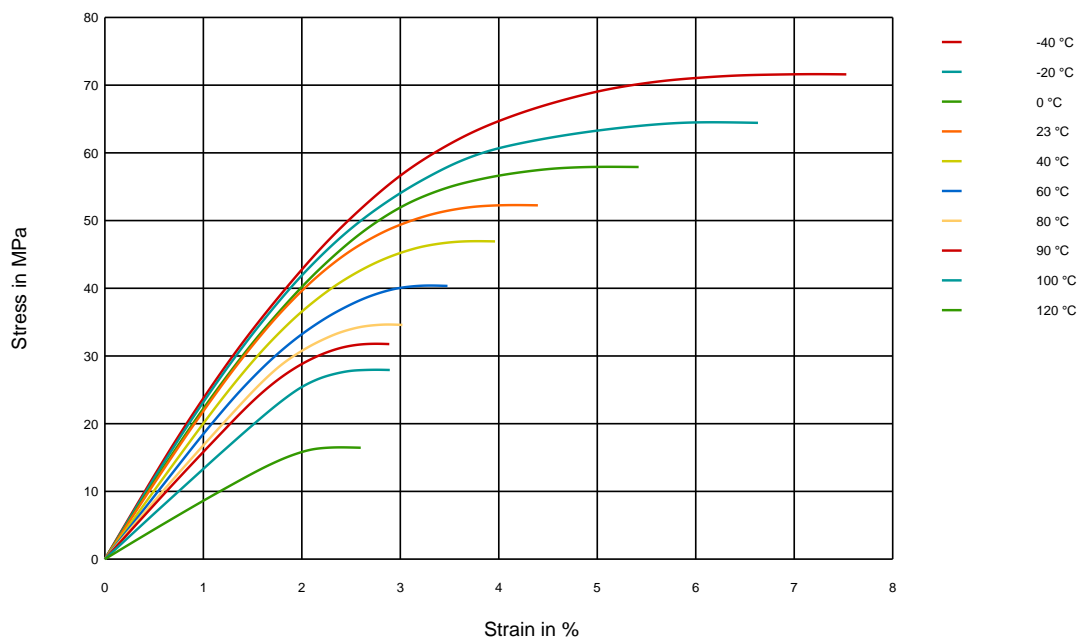


Figure 2: Isothermal stress-strain curves up to yield stress from the short-time tensile test to ISO 527-1, -2 (Bayblend® T85 XF).

327_F.PDF

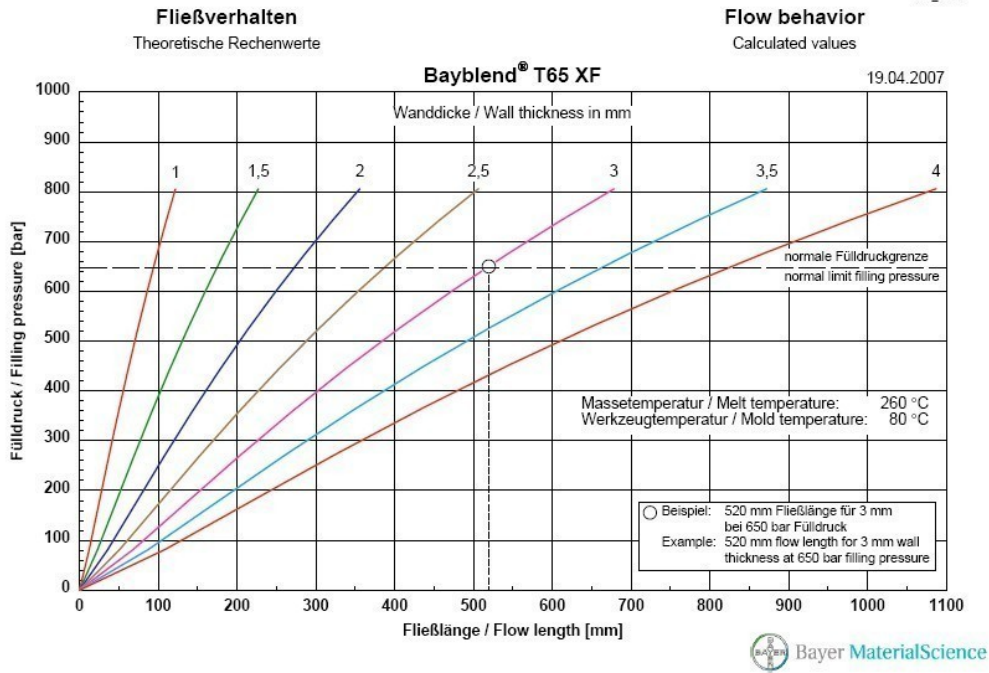


Figure 3: Flow behavior - Theoretical values Bayblend® T65 XF.

637_F.PDF

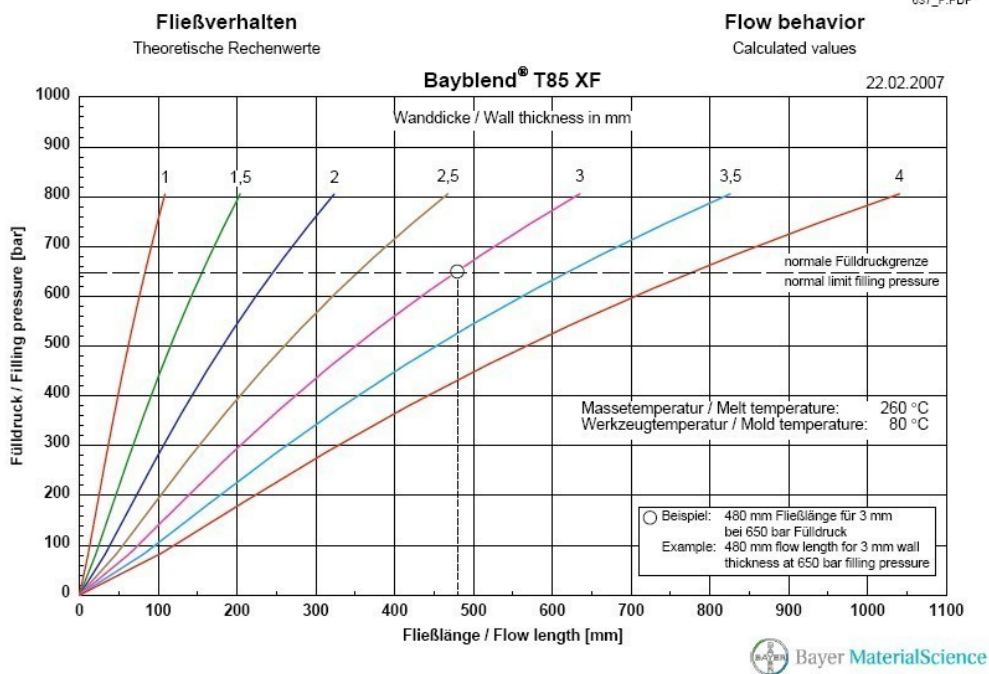


Figure 4: Flow behavior - Theoretical values Bayblend® T85 XF.

Typical Values

Property	Test Condition	Unit	Standard	Bayblend®	
				T65 XF	T85 XF
Rheological properties					
C Melt volume-flow rate	260 °C; 5 kg	cm ³ /10 min	ISO 1133	18	19
Molding shrinkage, parallel	150x105x3; 260 °C / MT 80 °C	%	b.o. ISO 2577	0.5 - 0.7	0.5 - 0.7
Molding shrinkage, normal	150x105x3; 260 °C / MT 80 °C	%	b.o. ISO 2577	0.5 - 0.7	0.5 - 0.7
Melt viscosity	1000 s ⁻¹ ; 260 °C	Pa·s	b.o. ISO 11443-A	200	250
Mechanical properties (23 °C/50 % r. h.)					
C Tensile modulus	1 mm/min	MPa	ISO 527-1,-2	2400	2300
C Yield stress	50 mm/min	MPa	ISO 527-1,-2	54	54
C Yield strain	50 mm/min	%	ISO 527-1,-2	4.4	4.7
Stress at break	50 mm/min	MPa	ISO 527-1,-2	47	50
Strain at break	50 mm/min	%	b.o. ISO 527-1,-2	> 50	> 50
Izod impact strength	23 °C	kJ/m ²	ISO 180-U	N	N
Izod impact strength	-30 °C	kJ/m ²	ISO 180-U	N	N
Izod notched impact strength	23 °C	kJ/m ²	ISO 180-A	45	48
Izod notched impact strength	-30 °C	kJ/m ²	ISO 180-A	35	35
Thermal properties					
C Temperature of deflection under load	1.80 MPa	°C	ISO 75-1,-2	102	109
C Temperature of deflection under load	0.45 MPa	°C	ISO 75-1,-2	122	127
C Vicat softening temperature	50 N; 50 °C/h	°C	ISO 306	118	128
Vicat softening temperature	50 N; 120 °C/h	°C	ISO 306	120	130
C Coefficient of linear thermal expansion, parallel	23 to 55 °C	10 ⁻⁴ /K	ISO 11359-1,-2	0.8	0.75
C Coefficient of linear thermal expansion, transverse	23 to 55 °C	10 ⁻⁴ /K	ISO 11359-1,-2	0.85	0.8
C Burning behavior UL 94	0.85 mm	Class	UL 94	HB	HB
Electrical properties (23 °C/50 % r. h.)					
C Relative permittivity	100 Hz	-	IEC 60250	3.1	3.1
C Relative permittivity	1 MHz	-	IEC 60250	3.0	3.0
C Dissipation factor	100 Hz	10 ⁻⁴	IEC 60250	30	20
C Dissipation factor	1 MHz	10 ⁻⁴	IEC 60250	85	85
C Volume resistivity		Ohm·m	IEC 60093	1E14	1E14
C Surface resistivity		Ohm	IEC 60093	1E16	1E16
C Electrical strength	1 mm	kV/mm	IEC 60243-1	35	35
C Comparative tracking index CTI	Solution A	Rating	IEC 60112	250	225
Other properties (23 °C)					
C Water absorption (saturation value)	Water at 23 °C	%	ISO 62	0.7	0.7
C Water absorption (equilibrium value)	23 °C; 50 % r. h.	%	ISO 62	0.2	0.2
C Density		kg/m ³	ISO 1183-1	1130	1140
Processing conditions for test specimens					
C Injection molding-Melt temperature		°C	ISO 294	260	260
C Injection molding-Mold temperature		°C	ISO 294	80	80
C Injection molding-Injection velocity		mm/s	ISO 294	240	240

C These property characteristics are taken from the CAMPUS plastics data bank and are based on the international catalogue of basic data for plastics according to ISO 10350.

Impact properties: N = non-break, P = partial break, C = complete break

colored fields = UL recognition

This information and our technical advice - whether verbal, in writing or by way of trials - are given in good faith but without warranty, and this also applies where proprietary rights of third parties are involved. Our advice does not release you from the obligation to check its validity and to test our products as to their suitability for the intended processes and uses. The application, use and processing of our products and the products manufactured by you on the basis of our technical advice are beyond our control and, therefore, entirely your own responsibility. Our products are sold in accordance with the current version of our General Conditions of Sale and Delivery.

All of the information, documents and illustrations published on this website are the exclusive property of BAYER. Permission for their use is given on the proviso that the copyright note appears on all copies, that only personal and not commercial use is made of the information, that the information is not altered in any way and that all illustrations on the website are used only in conjunction with the associated texts. BAYER assumes no liability or warranties with respect to the information, documents and illustrations on the website. BAYER is not responsible for any damage of whatever nature that might arise from the use or existence of the website and the information, documents and illustrations it contains. The user bears full responsibility for all risks to him that might arise from the use of this website. BAYER reserves the right to amend or supplement the documents and information provided on the website at any time and without prior notice. The user of this website is fully responsible for the content and correctness of details he or she sends to BAYER, as well as for non-violation of any third-party rights that may be involved in such details.

We have carefully checked this Internet presentation and make every effort to continually expand and update it. However, we cannot accept responsibility for errors, omissions, or possible obsolescence.

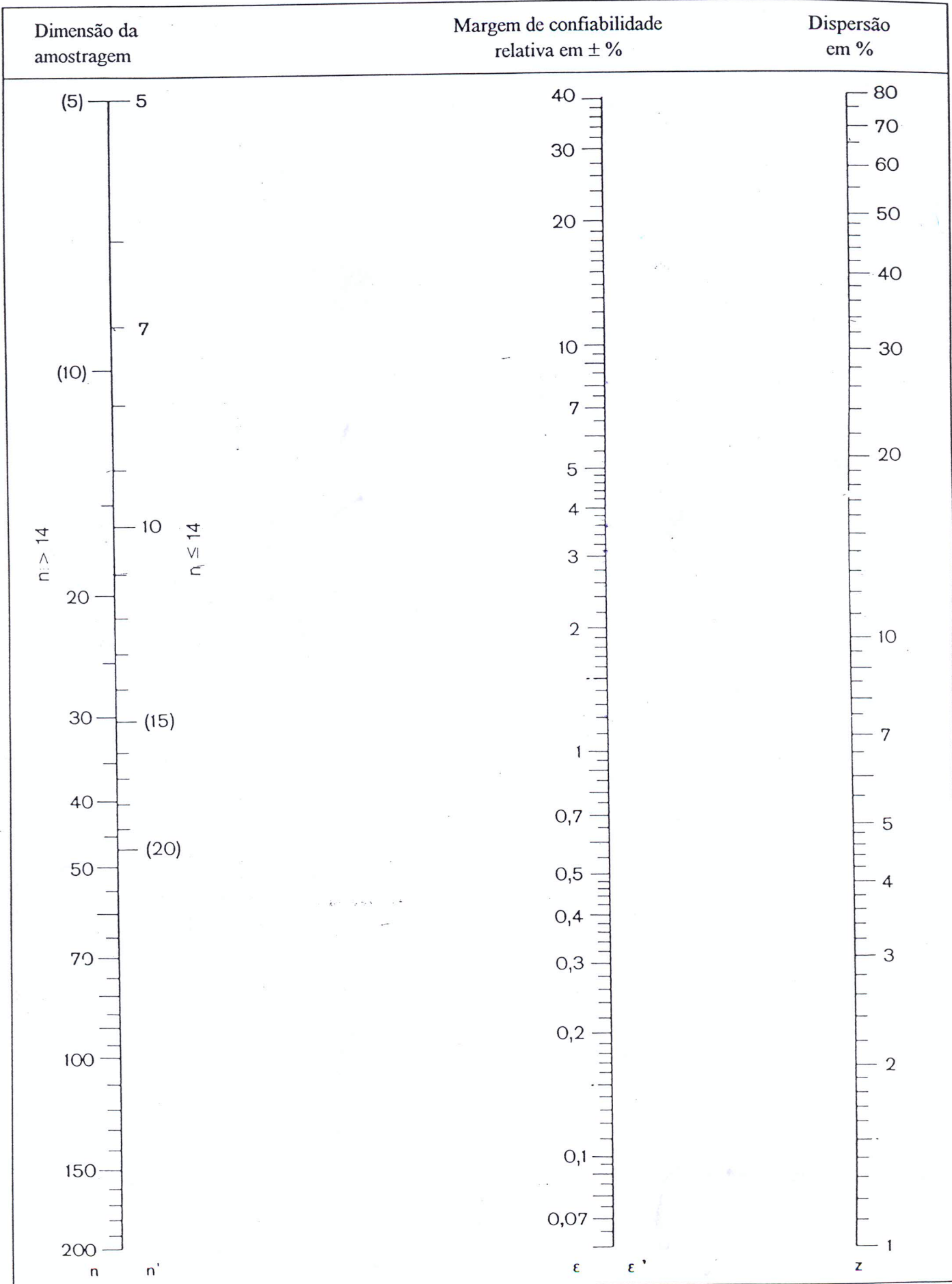
Under the recommended processing conditions small quantities of decomposition product may be given off during processing. To preclude any risk to the health and well-being of the machine operatives, tolerance limits for the work environment must be ensured by the provision of efficient exhaust ventilation and fresh air at the workplace in accordance with the Safety Data Sheet. In order to prevent the partial decomposition of the polymer and the generation of volatile decomposition products, the prescribed processing temperatures should not be substantially exceeded.

Unless specified to the contrary, the values given have been established on standardized test specimens at room temperature. The figures should be regarded as guide values only and not as binding minimum values. Please note that, under certain conditions, the properties can be affected to a considerable extent by the design of the mold/die, the processing conditions and coloring.

Editor: Global Innovations - Polycarbonates
Bayer MaterialScience AG
D-51368 Leverkusen, Germany
www.bayermaterialscience.de
pcs-info@bayermaterialscience.com

ANEXO II

Nomograma para determinação do erro em função da dimensão da amostra e da sua dispersão



ANEXO III

Nomogramas com cálculo do erro por operação

