



FACULDADE DE TECNOLOGIA SENAI CIMATEC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO E
TECNOLOGIA INDUSTRIAL

EGIDIO VERONESE JUNIOR

AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA DA APLICAÇÃO DE
TERMOPLÁSTICOS EM PAINÉIS EXTERIORES AUTOMOTIVOS

Salvador

2010

EGIDIO VERONESE JUNIOR

**AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA DA APLICAÇÃO DE
TERMOPLÁSTICOS EM PAINÉIS EXTERIORES AUTOMOTIVOS**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Tecnologia, Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Tecnologia Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Wagner Mauricio Pachekoski

Salvador
2010

Ficha catalografica

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca da Faculdade de Tecnologia SENAI Cimatec

EGIDIO VERONESE JUNIOR

AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA DA APLICAÇÃO DE
TERMOPLÁSTICOS EM PAINÉIS EXTERIORES AUTOMOTIVOS

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em
Gestão e Tecnologia Industrial, Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC.

Aprovada em 13 de dezembro de 2010.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Wagner Mauricio Pachekoski – Orientador _____
Doutor em Ciência e Engenharia dos Materiais pela Universidade Federal de São Carlos,
São Carlos, Brasil.
Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC

Prof. Dr. Alex Álisson Bandeira Santos _____
Doutor em Energia e Ambiente pela Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil.
Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC

Prof. Dr. Marcio Luis Ferreira Nascimento _____
Doutor em Ciência e Engenharia dos Materiais pela Universidade Federal de São Carlos,
São Carlos, Brasil.
Universidade Federal da Bahia

*Dedico este trabalho inteiramente a
Daiane, o grande amor da minha vida,
aos nossos filhos caninos e aos dois
bebês que logo logo estão nascendo...*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus pela força, garra e sorte de conseguir chegar neste ponto da vida e vencer na conquista deste título.

Sou profundamente grato a Daiane, que está gestando nossos dois bebês, pela paciência comigo nas vezes em que precisei dedicar tempo exclusivo a esta pesquisa, principalmente nas noites mal dormidas, assim como pela atenção, sugestões e correções de metodologia.

Aos meus pais Egidio e Nair pela ótima criação e educação de berço, e irmãs Nayara e Thayanara pelo apoio enviado do Paraná à Bahia. Vocês são parte importante da nossa vida e foram fundamentais nestes três anos...

Ao Prof. Dr. Wagner Mauricio Pachekoski por ter assumido minha orientação faltando menos de um ano para conclusão, com toda paciência, sapiência, boa vontade e disponibilidade de encontros semanais, proporcionando ótimas e produtivas reuniões de orientação e redação da dissertação.

Aos amigos Antônio, Melzak, Japa, Fabilson, Paulinho, La Cava, Wesley, Luciano e Cajuhi, todos colegas de departamento na *Ford*, pela experiência e informações passadas, tanto na área de CAE quanto de desenvolvimento de produto. Todos contribuíram do seu modo na pesquisa e na confecção da dissertação.

Ao Prof. Dr. Cristiano Vasconcellos Ferreira por iniciar a orientação deste aluno sugerindo idéias no desenvolvimento do tema e da pesquisa.

Ao Prof. Dr. Marcelo Ueki pelas indicações bibliográficas e sugestões no projeto.

Agradeço a *Ford Motor Company* pelo suporte financeiro e também pelo apoio técnico desprendido desde o início do mestrado, com destaque especial à Carol Barreto

por nos controlar e puxar nossa orelha quando foi preciso, ao João Marcos Ramos pelo entusiasmo e apoio inicial, ao Marcelo Magalhães pelas idéias trocadas e trabalho realizado como *Champion* deste mestrado e ao Rogério Colella pelo suporte e tempo fornecidos.

Ao SENAI CIMATEC pela disponibilidade da secretaria, estrutura de biblioteca e laboratórios oferecida, alta qualidade das aulas e ótimos professores, em especial aos professores do departamento de polímeros que prestaram todo o auxílio necessário à pesquisa.

Aos Prof. Dr. Alex Álisson Bandeira Santos por integrar as bancas de qualificação e defesa da dissertação.

A Prof. Dr. Carla Dalmolin pela presença na banca de qualificação e correções sugeridas.

Aos Prof. Dr. Marcio Luis Ferreira Nascimento pela disponibilidade de presença na banca de defesa da dissertação.

Por último, e com todo o coração, agradeço aos meus filhos Nicole, Dante e Ariel por estarem comigo, literalmente do meu lado e por vezes até nos meus pés, durante 80 ou 90% do tempo em que estive dedicado à leitura de artigos e trabalhos, desenvolvimento de gráficos e propostas, bem como redação deste trabalho. Meu mais sincero obrigado aos três, vocês são fantásticos.

*“A maravilhosa disposição e harmonia do universo só pode ter tido
origem segundo o plano de um Ser que tudo sabe e tudo pode.
Isso fica sendo a minha última e mais elevada descoberta.”*

(Isaac Newton)

RESUMO

Painéis exteriores automotivos, como por exemplo paralamas, são comumente fabricados em aço devido ao elevado grau de conhecimento das propriedades e variáveis de processamento deste tipo de material. Porém, peças confeccionadas com este tipo de material possuem desvantagens, como o elevado peso e reduzida possibilidade de variação de formas. Uma possibilidade de substituição do aço neste tipo de utilização reside em resinas poliméricas, que possuem como características, por exemplo, o menor peso por peça e uma maior flexibilidade de formas na conformação. Desta maneira, este trabalho contempla a avaliação da viabilidade técnica da aplicação de termoplásticos em painéis exteriores automotivos, juntamente com um estudo de caso de peças do tipo paralamas. Esta pesquisa propôs uma rotina de seleção e avaliação de polímeros para esta aplicação tomando como base características relevantes neste tipo de peça, como por exemplo, vibração, peso e flexibilidade. Para a avaliação de tais critérios, a pesquisa fez uso de ferramentas do Processo de Desenvolvimento do Produto (PDP) e simulações virtuais considerando como premissa os requisitos impostos pelas empresas do ramo automobilístico para tais peças. Juntamente com os critérios de viabilidade técnica da peça, foram analisados fatores secundários, mas também de influência no processo, tais como facilidade de fabricação, pintura e montagem, além do custo para peças deste gênero. Como principais resultados, verifica-se a viabilidade inicial de termoplásticos para este tipo de aplicações, condicionadas ao volume de produção, tipo de processo produtivo e desenho final da peça.

Palavras-chave: Processo de desenvolvimento do produto, termoplásticos, paralamas automotivos.

ABSTRACT

Automotive body panels, like front fenders, normally are manufactured with steel due to high level of knowledge on properties and process variables available for this kind of material. On the other hand, parts made with steel have some drawbacks, like the high weight and few possibilities of shape concepts. One alternative for material substitution of these steel components are the polymeric resins, that have as characteristics low weight by part and large choices of shape variations, for example. Thus, this dissertation covers the evaluation of technical feasibility to apply thermoplastic materials on automotive body panels, within an automotive front fender case study. This research has proposed a polymers evaluation and selection routine, considering some important facts that must be established at the material selection phase, like vibration, weight and flexibility displacement. In the evaluation of these criteria, one has been used tools from Product Development Process methodology (PDP) and virtual simulations, considering the requirements imposed by companies for such parts. Simultaneously with the initial criteria simulation results, one has been analyzed the secondary factors, which also influence on the process, such manufacturing, painting, assembly, beyond the cost criteria for automotive body panels. As main results, one has verified the initial thermoplastics for these applications, conditioned to production volume, productive process type and part final drawing.

Keywords: Product development process, thermoplastics, automotive front fenders.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1.1	Diagrama custo determinado e conhecimento do projeto.....	21
Figura 2.1	Monômero propileno e polímero polipropileno.....	28
Figura 2.2	Exemplos de estruturas moleculares de polímeros	29
Figura 2.3	Disposição das cadeias em plásticos amorfos e semicristalinos.....	30
Figura 2.4	Divisão dos termoplásticos de acordo com o volume consumido.....	31
Figura 2.5	Representação do diagrama tensão vs. deformação das diferentes classes de materiais poliméricos	33
Figura 2.6	Gráfico para seleção de material proposto por Ashby	36
Figura 2.7	Evolução dos materiais nos automóveis ao longo dos anos	37
Figura 2.8	Cárter do modelo Mercedes Classe C.....	39
Figura 2.9	Módulo frontal do veículo <i>BMW X6</i>	41
Figura 2.10	Teto panorâmico do carro <i>Opel Zafira</i>	42
Figura 2.11	Fases do PDP.....	45
Figura 2.12	Comparação entre o tempo de desenvolvimento de produto usando o projeto tradicional e a engenharia simultânea	51
Figura 2.13	Fluxo típico da engenharia seqüencial	52
Figura 2.14	Fluxo típico da engenharia simultânea	52
Figura 2.15	Diagrama com uma matriz do QFD	55
Figura 2.16	As quatro fases do QFD	56
Figura 2.17	Exemplo de desenhos 2D e 3D	57
Figura 2.18	Exemplo de peça discretizada em elementos finitos	58
Figura 2.19	Exemplo de resultado de simulação	59
Figura 3.1	Etapa do <i>benchmarking</i> no PDP.....	62
Figura 3.2	Etapa do levantamento de requisitos, critérios e restrições no PDP	68
Figura 3.3	Desenho 3D dos paralamas do Modelo “A”	70
Figura 3.4	Malha de elementos finitos dos paralamas do Modelo “A”	71
Figura 3.5	Ponto de fixação engastado com os graus de liberdade restritos	72
Figura 3.6	Representação modal do primeiro modo de vibração do paralama.....	74
Figura 3.7	Deformação do paralama com a aplicação da carga distribuída	75

Figura 3.8	Resultados gráficos para o material <i>Xenoy X5410®</i> nas espessuras 2,1mm; 2,3mm; 2,5mm e 2,7mm	79
Figura 3.9	Resultados gráficos para o material <i>Daplen EF341AE®</i> nas espessuras 2,1mm; 2,3mm; 2,5mm e 2,7mm.....	80
Figura 3.10	Resultados gráficos para o material <i>Noryl GTX 974®</i> nas espessuras 2,1mm; 2,3mm; 2,5mm e 2,7mm	82
Figura 3.11	Resultados gráficos para o material <i>Noryl GTX 975®</i> nas espessuras 2,1mm; 2,3mm; 2,5mm e 2,7mm	83
Figura 3.12	Resultados gráficos para o material <i>Noryl GTX 8730®</i> nas espessuras 2,1mm; 2,3mm; 2,5mm e 2,7mm	85
Figura 3.13	Resultados gráficos para o material <i>Technyl A 238P5 M25®</i> nas espessuras 2,1mm; 2,3mm; 2,5mm e 2,7mm.....	86
Figura 4.1	Gráfico frequência do 1º modo de vibração para 2,1mm de espessura	88
Figura 4.2	Gráfico frequência do 1º modo de vibração para 2,3mm de espessura	88
Figura 4.3	Gráfico frequência do 1º modo de vibração para 2,5mm de espessura	89
Figura 4.4	Gráfico frequência do 1º modo de vibração para 2,7mm de espessura	89
Figura 4.5	Gráfico flexão (deslocamento) após aplicação da carga para 2,1mm de espessura	90
Figura 4.6	Gráfico flexão (deslocamento) após aplicação da carga para 2,3mm de espessura	91
Figura 4.7	Gráfico flexão (deslocamento) após aplicação da carga para 2,5mm de espessura	91
Figura 4.8	Gráfico flexão (deslocamento) após aplicação da carga para 2,7mm de espessura	92
Figura 4.9	Gráfico com a massa do componente para 2,1mm de espessura.....	93
Figura 4.10	Gráfico com a massa do componente para 2,3mm de espessura.....	94
Figura 4.11	Gráfico com a massa do componente para 2,5mm de espessura.....	94
Figura 4.12	Gráfico com a massa do componente para 2,7mm de espessura.....	95
Figura 4.13	Localizadores plásticos do paralamas da Empresa “B”	104
Figura 4.14	Fixação deslizante do paralamas da Empresa “B”	105
Figura 4.15	Casa da qualidade do projeto.....	111
Figura 4.16	Gráfico com a porcentagem de importância de cada requisito	112

LISTAS DE TABELAS

Tabela 3.1	Comparação entre requisitos e atributos veiculares.....	60
Tabela 3.2	Compilação dos dados encontrados no <i>benchmarking</i>	63
Tabela 3.3	Resinas termoplásticas pré-selecionadas para o estudo de viabilidade....	64
Tabela 3.4	Comparação das propriedades E, W e ρ entre os três <i>grades</i> de <i>Noryl GTX®</i> selecionados.....	65
Tabela 3.5	Valores de restrição dos critérios iniciais.....	70
Tabela 3.6	Resultados encontrados nas simulações da peça em aço.....	77
Tabela 3.7	Resultados das simulações da peça em <i>Xenoy X5410®</i>	78
Tabela 3.8	Resultados das simulações da peça em <i>Daplen EF341AE®</i>	80
Tabela 3.9	Resultados das simulações da peça em <i>Noryl GTX 974®</i>	81
Tabela 3.10	Resultados das simulações da peça em <i>Noryl GTX 975®</i>	83
Tabela 3.11	Resultados das simulações da peça em <i>Noryl GTX 8730®</i>	84
Tabela 3.12	Resultados das simulações da peça em <i>Technyl A 238P5 M25®</i>	86
Tabela 4.1	Compilação geral dos resultados obtidos.....	96
Tabela 4.2	Materiais e espessuras iniciais que atendem aos requisitos.....	97
Tabela 4.3	Resinas e espessuras intermediárias para a segunda interação de simulações.....	98
Tabela 4.4	Compilação dos resultados oriundos da segunda interação de simulações.....	99
Tabela 4.5	Índice de fluidez e temperatura de fusão dos plásticos selecionados.....	102
Tabela 4.6	Temperatura de trabalho e fusão dos plásticos selecionados.....	103
Tabela 4.7	Custo em UNV\$ por quilograma dos termoplásticos selecionados.....	106
Tabela 4.8	Custo estimado por veículo para cada blenda selecionada.....	107
Tabela 4.9	Custo estimado para as ferramentas de fabricação.....	107
Tabela 4.10	Custo estimado para quatro volumes de produção em quatro anos.....	108
Tabela 4.11	A voz do cliente (o quê do QFD).....	110
Tabela 4.12	Requisitos de projeto (comos do QFD).....	111
Tabela 4.13	Valores dos requisitos de maior influência para cada blenda selecionada.....	113

LISTAS DE SÍMBOLOS E UNIDADES

°C	Grau <i>Celsius</i>
Δ	Deformação
ν	Coeficiente de <i>Poisson</i>
ρ	Massa específica
A	Área da peça
cm ²	Centímetro quadrado
cm ³	Centímetro cúbico
E	Módulo de elasticidade ou módulo de <i>Young</i>
e	Espessura da peça
G	Módulo de cisalhamento
GPa	GigaPascal
g/10min	Gramas por dez minutos
g/cm ³	Gramas por centímetro cúbico
Hz	Hertz
Kg	Quilograma
L	Litro
m	massa da peça
mm	Milímetro
MPa	MegaPascal
N	Newton
UNV\$	Unidade de valor
UNV\$/Kg	Unidade de valor por quilograma
V	Volume da peça
W	Módulo de resistência à flexão

LISTAS DE SIGLAS

2D	Duas dimensões
3D	Três dimensões
ABS	Terpolímero Acrilonitrila-Butadieno-Estireno
CAD	<i>Computer Aided Design</i> (Desenho Assistido por Computador)
CAE	<i>Computer Aided Engineering</i> (Engenharia Assistida por Computador)
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i> (Manufatura Assistida por Computador)
CIMATEC	Centro Integrado de Manufatura e Tecnologia
EPDM	Terpolímero Etileno-Propileno-Dieno
PA	Poliamida (<i>Nylon®</i>)
PC	Policarbonato
PDP	Processo de Desenvolvimento do Produto
PE	Polietileno
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PET	Poli(Etileno Tereftalato)
PMMA	Poli(Metil Metacrilato) (Acrílico)
PP	Polipropileno
PPE	Poli(Fenileno Éter)
PS	Poliestireno
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
QFD	<i>Quality Function Deployment</i> (Desdobramento da Função Qualidade)
TRIZ	<i>Teoriya Resheniya Izobretatelskikh Zadatch</i> (Teoria da Solução de Problemas Inventivos)
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	18
1.1	Definições do Problema	19
1.2	Objetivo.....	21
1.3	Importância e Motivação da Pesquisa	22
1.4	Limites e Limitações.....	23
1.5	Aspectos Metodológicos, Questões e Hipóteses	24
1.6	Organização da Dissertação de Mestrado	25
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	27
2.1	Polímeros.....	27
2.1.1	Definição de Polímero.....	27
2.1.2	Classificações dos Polímeros	29
2.1.3	Termoplásticos.....	30
2.1.4	Termofixos	32
2.1.5	Elastômeros	32
2.2	Seleção de Polímeros	33
2.3	Polímeros na Indústria Automotiva.....	36
2.3.1	Poliamida (PA)	38
2.3.2	Polipropileno (PP)	40
2.3.3	Policarbonato (PC).....	41
2.3.4	Acrilonitrila-Butadieno-Estireno (ABS)	42
2.3.5	Polifenileno Éter + Poliamida (PPE/PA).....	43
2.4	Processo de Desenvolvimento do Produto	44
2.4.1	Conceitualização.....	44
2.4.1.1	Macro-Fase Pré-Desenvolvimento do Produto	45
2.4.1.2	Macro-Fase Desenvolvimento do Produto	46
2.4.1.3	Macro-Fase Pós-Desenvolvimento do Produto.....	48
2.4.2	A Engenharia Simultânea	49
2.4.3	Exemplos de Ferramentas Contidas no Processo de Desenvolvimento do Produto e Engenharia Simultânea	53

2.4.3.1	<i>Benchmarking</i>	53
2.4.3.2	<i>Quality Function Deployment (QFD)</i>	54
2.4.3.3	<i>Computer Aided Design (CAD)</i>	56
2.4.3.4	<i>Computer Aided Engineering (CAE)</i>	57
3	ANÁLISE DOS TERMOPLÁSTICOS E SIMULAÇÕES DOS CRITÉRIOS INICIAIS	60
3.1	Pré-Seleção dos Polímeros Candidatos ao Estudo	61
3.1.1	<i>Benchmarking</i> de Termoplásticos Aplicados em Painéis Externos.....	62
3.1.2	Características de Composição e Disponibilidade dos Materiais.....	63
3.2	Avaliação da Peça a ser Estudada	65
3.2.1	Seleção do Componente.....	66
3.2.2	CrITÉrios, Requisitos e Restrições da Peça.....	67
3.2.3	Estabelecimento dos Testes a serem Simulados	68
3.3	Configurações dos Testes Virtuais	70
3.3.1	Simulação do CritÉrio Frequência.....	73
3.3.2	Simulação do CritÉrio Deformação	74
3.3.3	Simulação do CritÉrio Massa	75
3.4	Simulações Aplicando os Materiais na Peça	76
3.4.1	Simulação da Peça com o Aço	76
3.4.2	Simulação da Peça com os Termoplásticos Pré-Selecionados	77
3.4.2.1	<i>Xenoy X5410®</i>	78
3.4.2.2	<i>Daplen EF341AE®</i>	79
3.4.2.3	<i>Noryl GTX 974®</i>	81
3.4.2.4	<i>Noryl GTX 975®</i>	82
3.4.2.5	<i>Noryl GTX 8730®</i>	84
3.4.2.6	<i>Technyl A 238P5 M25®</i>	85
4	DISCUSSÕES DOS RESULTADOS E CRITÉRIOS ADICIONAIS	87
4.1	Desempenho Encontrado nas Simulações	87
4.1.1	Frequência do Primeiro Modo de Vibração.....	87
4.1.2	Deslocamento (Flexão) com a Carga Aplicada.....	90

4.1.3	Previsão de Massa do Componente	93
4.1.4	Compilação Geral de Todas as Blendas e Todas as Espessuras	96
4.2	Estudo das Espessuras Intermediárias	99
4.3	Avaliação dos Requisitos de Processo da Peça.....	99
4.3.1	Parâmetros de Fabricação.....	100
4.3.2	Printabilidade do Material.....	102
4.3.3	Montagem dos Paralamas	104
4.4	Estimativa de Custos para Matéria-Prima e Ferramental	106
4.5	Valoração dos Requisitos	109
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	115
5.1	Conclusões.....	115
5.2	Contribuições.....	116
5.3	Atividades Futuras de Pesquisa.....	117
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	118
APÊNDICE A	GRÁFICOS TIPO RADAR DISPOSTOS POR MATERIAL	123
APÊNDICE B	GRÁFICOS TIPO BARRAS DISPOSTOS POR ESPESSURAS PARA OS VALORES DO CRITÉRIO FREQUÊNCIA.....	130
APÊNDICE C	GRÁFICOS TIPO BARRAS DISPOSTOS POR ESPESSURAS PARA OS VALORES DO CRITÉRIO DESLOCAMENTO.....	135
APÊNDICE D	GRÁFICOS TIPO BARRAS DISPOSTOS POR ESPESSURAS PARA OS VALORES DO CRITÉRIO MASSA	140
APÊNDICE E	QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT (QFD) E GRÁFICO DE PORCENTAGEM DE CONTRIBUIÇÃO DOS REQUISITOS.....	145
ANEXO A	CARTAS DE DADOS DOS MATERIAIS TERMOPLÁSTICOS CONSIDERADOS NA PESQUISA	148

1 INTRODUÇÃO

A indústria automotiva é um ramo industrial dinâmico e gerador de novas idéias e, por consequência, de inovações tecnológicas. Este fato pode ser observado a qualquer momento em mídias como telejornais, revistas e internet. A evolução dos automóveis foi acompanhada de perto pela população ao longo dos anos, desde os primeiros carros produzidos em madeira até os mais sofisticados modelos e marcas, como *Porsche*, *Ferrari* ou *Lamborghini*. Esta evolução se acentua a cada dia diante da globalização, concorrência e expansão dos mercados, que acirram o anseio por produtos novos e com qualidade superior aos anteriores.

Paralelamente, houve o aumento de partes e complexidade dos carros, compostos atualmente por milhares de peças das mais diversas formas, tamanhos e funcionalidades (CONDOTTA, 2004). Loureiro (1999) mostra que na atualidade o projeto de um automóvel precisa considerar todo o ciclo de vida do produto, dos processos que o fabricam e da organização geradora. Para tal aplica-se a metodologia Engenharia de Sistemas para gerenciar toda esta complexidade, associada com as ferramentas do Processo de Desenvolvimento do Produto (PDP) e Engenharia Simultânea (ES).

De acordo com Maine (1997), com o decorrer dos anos, os automóveis experimentaram diversos tipos de materiais na construção de suas carroçarias, começando pela madeira, substituída pelas chapas de aço e o desenvolvimento das siderúrgicas, vidros colados para a proteção dos passageiros e, nos últimos 50 anos, utilizando gradativa e continuamente polímeros em sua composição. A autora remonta a década de 50, onde a implantação dos primeiros painéis poliméricos no exterior dos veículos, utilizando materiais termofixos, se tornou inviável economicamente. Os principais fatores que contribuíram para este resultado foram o alto custo dos materiais, a falta de conhecimento técnico sobre a aplicação e a demora no processamento das peças.

Com a adoção de metodologias estruturadas de desenvolvimento de produto e ferramentas de trabalho como o *Quality Function Deployment* (QFD),

Teoriya Resheniya Izobretatelskikh Zadatch (TRIZ), *Computer Aided Design* (CAD), *Computer Aided Manufacturing* (CAM) e *Computer Aided Engineering* (CAE) pela indústria automotiva, surgiram oportunidades de trabalho, aumentando a qualidade dos produtos entregues ao mercado e por consequência a exigência dos consumidores (CONDOTTA, 2004).

Neste contexto, alguns atributos importantes do veículo passaram a ser observados, estudados e desenvolvidos no campo desta indústria. Como exemplo destes critérios pode-se citar: conforto, consumo de combustível e dirigibilidade. Entre estes atributos, dois dos mais estudados e desenvolvidos são a redução de massa e o estilo dos automóveis.

O primeiro com intuito de reduzir a energia necessária para fazer o carro se movimentar e o segundo visando à diferenciação de modelos a fim de atrair o consumidor à compra dos produtos desenvolvidos. Seguindo esta linha de raciocínio torna-se fundamental a pesquisa e o desenvolvimento na área de materiais para atender a demanda por veículos mais leves e bonitos.

Segundo Stauber e Vollrath (2007), é crescente o número de modelos que empregam materiais termoplásticos em painéis externos nos mercados desenvolvidos como Estados Unidos e Europa na busca por redução de peso e melhores formatos destas peças nos carros.

Assim, este trabalho foi pensado e desenvolvido buscando responder questões pertinentes sobre a viabilidade de aplicação de materiais poliméricos em painéis exteriores de veículos automotivos, com foco mais específico em paralamas para utilização, principalmente, nos mercados em desenvolvimento, considerando a possibilidade de reduzir peso (balanceamento da eficiência energética dos carros), e melhorar as alternativas relacionadas ao estilo (formas mais difíceis comparando com a estampagem).

1.1 Definições do Problema

No cenário atual da indústria automotiva é usual acontecer a definição do conteúdo de um novo automóvel na etapa de pré-projeto, podendo haver pequenas modificações ao longo do projeto. A etapa de pré-projeto é o passo

em que o orçamento (*budget*) e as metas (*targets*) são fixados. Após esta etapa os projetos seguem o andamento das demais fases do processo de desenvolvimento do produto. Porém, experiências ocorridas anteriormente na América do Sul mostram consideráveis dificuldades em conter mudanças de conteúdo nas demais etapas de projeto.

Em mercados emergentes não há avaliações robustas sobre a viabilidade de aplicar materiais plásticos em painéis externos, como paralamas, dentro da indústria automotiva. Opta-se pelo tradicional emprego das chapas de aço desde o princípio dos projetos, uma vez que estas peças são projetadas e construídas de modo a atender aos requisitos das empresas e consumidores.

Para Rozenfeld *et al.* (2006), o principal momento de alocação dos recursos durante um projeto é o momento da definição do conteúdo do produto, necessitando neste caso de um alto conhecimento do mesmo, com acompanhamento nas demais fases que o sucedem.

Trabasso (2008) mostra que no método de desenvolvimento clássico, durante a fase em que o custo do projeto é determinado, o conhecimento do produto é, em geral, baixo. Tal situação pode repercutir em altos custos com retrabalhos nas fases de protótipos e com alterações corretivas na fase de produção. O autor diz ainda que usando a teoria de desenvolvimento integrado de produtos e as ferramentas associadas e esta metodologia é possível tornar alto o conhecimento durante a fase de definição de conteúdo e projeto, possibilitando a tomada de decisões ainda nesta fase.

Desta maneira é necessário que o julgamento da engenharia sobre a viabilidade da aplicação de materiais termoplásticos em painéis exteriores seja eficiente e realizado desde a etapa de pré-projeto, a fim de evitar retrabalhos e gastos com modificações tardias, como na fase de manufatura, por exemplo.

Pode-se entender as etapas e o raciocínio descritos acima na Figura 1.1, onde Trabasso (2008) indica, por meio das linhas presentes na legenda, a relação entre custo determinado, conhecimento do projeto e desembolso necessário, otimizados pelo desenvolvimento integrado de produtos e engenharia simultânea.

Trabasso (2008) indica o conhecimento do projeto pela linha sólida e o custo determinado pela linha tracejada nesta figura. As duas linhas praticamente se equivalem, e na etapa de projeto do gráfico, o conhecimento

está muito próximo do custo determinado. Este fato não ocorre nos projetos tradicionais, onde geralmente o conhecimento se apresenta muito menor que o custo determinado.

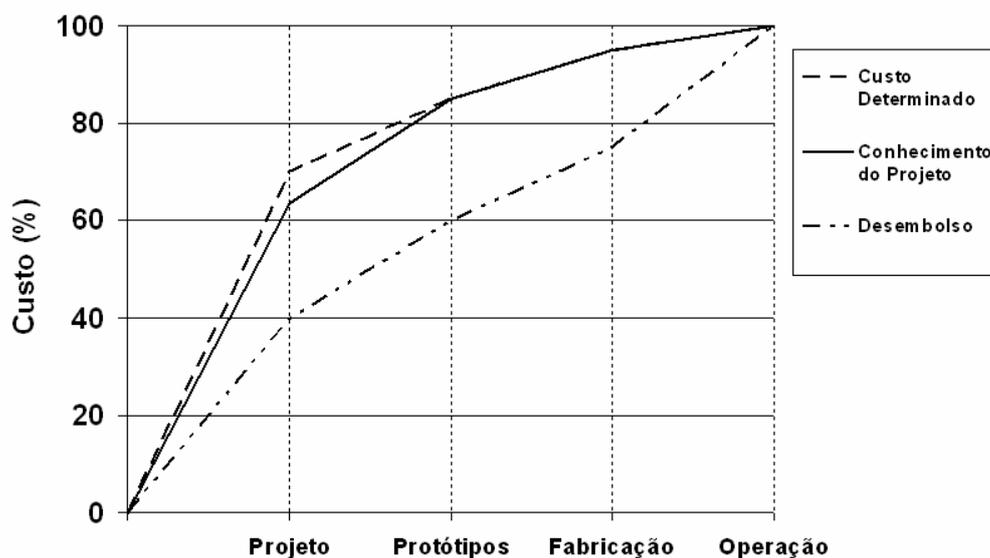


Figura 1.1 – Diagrama custo determinado e conhecimento do projeto (TRABASSO, 2008).

1.2 Objetivo

O objetivo geral deste projeto é avaliar a viabilidade da aplicação de materiais termoplásticos em painéis exteriores automotivos.

Tem como objetivos específicos:

1. Selecionar polímeros termoplásticos considerando os critérios exigidos pela indústria automotiva, baseando-se em polímeros já utilizados atualmente neste meio;
2. Selecionar uma peça do tipo paralamas, atualmente produzida em aço, de um modelo de automóvel corrente;
3. Simular virtualmente a peça selecionada utilizando como referência o aço e os materiais termoplásticos selecionados, avaliando o

comportamento mecânico vibracional, de deslocamento (flexão) e a massa;

4. Comparar os resultados das simulações empregando o aço com os resultados encontrados aplicando os termoplásticos na peça selecionada buscando um material e espessura adequados;
5. Avaliar o processamento e realizar uma breve análise de custos do paralamas com os materiais termoplásticos e as espessuras encontrados nas simulações;
6. Detalhar em que etapa este trabalho se aplica dentro de um novo projeto de automóvel considerando as metodologias de projeto aplicadas por este ramo da indústria;
7. Concluir a dissertação expondo os resultados encontrados no estudo de viabilidade com os termoplásticos selecionados e as comparações com os resultados encontrados para as peças fabricadas em aço.

1.3 Importância e Motivação da Pesquisa

Na área de seleção de materiais existem as cartas de Ashby (1992) que permitem selecionar materiais quando se tem posse de algumas propriedades. Mas no caso de automóveis apenas estas cartas não são suficientes, como será exposto ao longo deste projeto, pois o número de requisitos é muito grande e as cartas não contemplam todas estas interfaces, abrindo assim uma lacuna para o desenvolvimento desta pesquisa.

Outro incentivador diz respeito ao consumo de energia necessário para produzir movimento dos carros. Os motores de combustão interna emitem gases poluentes e causadores do efeito estufa, assim, os grupos automotivos investem grandes quantidades de dinheiro em pesquisa e desenvolvimento de combustíveis alternativos, bem como motores alimentados por outras formas de energia.

Porém ainda é inviável economicamente implantar tecnologias como motores totalmente elétricos ou célula combustível para o uso geral da

população, principalmente em países em desenvolvimento, como é o caso da América Latina¹.

Desta maneira se tenta buscar outros meios para minimizar este problema, trabalhando-se, por exemplo, em parâmetros importantes sob a ótica de engenharia, sem repassar custos à população. Um destes parâmetros é o peso dos carros (STAUBER e VOLLRTAH, 2007).

Como último incentivador desta pesquisa aparecem o estilo e a maior facilidade em moldar materiais plásticos. O plástico, pela sua característica de fabricação, permite a viabilidade de construção de peças com detalhes maiores e geometrias mais ousadas em relação ao aço.

O processo de estampagem limita ou rompe as chapas de aço nos detalhes e formas que o plástico injetado pode assumir. Assim as empresas que optam por termoplásticos conseguem explorar a criatividade e entregar automóveis mais belos, arrojados e empolgantes do ponto de vista comercial, atraindo os consumidores a adquirirem carros novos nas concessionárias automotivas.

1.4 Limites e Limitações

O escopo deste trabalho limita-se a aplicar ferramentas de desenvolvimento do produto colhendo os resultados e avaliando-os como auxílio em futuras tomadas de decisão nas fases posteriores ao planejamento do conteúdo de um novo projeto.

Limita-se também a empregar e avaliar *grades*² de materiais comerciais de fornecedores de polímeros, com propriedades conhecidas e especificadas em tabelas e gráficos encontrados nas bases de dados de tais fornecedores.

Deste modo não haverá desenvolvimento de novos polímeros ou blendas para tal aplicação, pois todos os materiais poliméricos que se encontram homologados por empresas deste campo industrial já foram criados

¹ Dispositivo que transforma energia química em elétrica, via reação espontânea de troca de íons entre um ânodo e um cátodo, semelhante ao que ocorre em uma pilha.

² *Grade*: grau; palavra da língua inglesa utilizada para designar um material específico desenvolvido por um determinado fornecedor de polímeros.

com propriedades específicas a fim de atender os critérios exigidos durante todo o ciclo de vida do automóvel (resistência a abrasão, processabilidade, densidade, flexão, tempo de vida, reciclabilidade, entre outros).

Outro ponto limitante é a área de abrangência da pesquisa em termos de experimentos e protótipos físicos, devido ao fato deste projeto trabalhar com peças de formato bastante complexo, considerar diferentes espessuras e materiais e não existir ainda moldes para este tipo de peça na empresa apoiadora do projeto.

A possibilidade de construção de um único molde que fabrique protótipos para todos os materiais esbarra nos parâmetros de fabricação dos polímeros, que variam significativamente de propriedades entre as diferentes classes poliméricas, e considerar um molde para cada respectivo material e espessura se tornaria inviável economicamente (tal possibilidade exigiria algumas centenas de milhares de reais).

Assim este trabalho englobará apenas testes virtuais com ferramentas CAD e CAE, comuns quando se fala de desenvolvimento integrado de produtos e engenharia simultânea, principalmente nas fases preliminares. Especificamente sobre tais análises, este trabalho não tem objetivo de criar ou explicar métodos numéricos computacionais para resolução de modelos matemáticos de elementos finitos, usando para isso *softwares* comerciais presentes no mercado, como *Catia®*, *Nastran®*, *Moldflow®*, *Abaqus®* e *Hyperworks®*.

1.5 Aspectos Metodológicos, Questões e Hipóteses

A metodologia adotada no desenvolvimento da dissertação será a mesma empregada na indústria automotiva, isto é, o Processo de Desenvolvimento do Produto (PDP) e a Engenharia Simultânea (ES) com suas ferramentas.

A primeira questão pertinente é ser possível substituir paralamas feitos de aço por outros moldados com termoplásticos e ainda assim manter as propriedades das peças similares. Hoje existem modelos de carros no mercado

onde materiais termoplásticos são aplicados em painéis externos, e mesmo não fornecendo características idênticas ao material anterior a substituição, trazem comportamento satisfatório, uma vez que estas peças estão presentes no mercado há algum tempo e não existe histórico de problemas com qualidade.

Seguindo este raciocínio, a pesquisa desenvolvida será comparativa e os parâmetros adotados na comparação farão parte da análise servindo como critérios de avaliação. Para tanto o uso da ferramenta *benchmarking*³ é indispensável no âmbito deste trabalho.

Outro ponto a ser considerado é a característica dos materiais avaliados com relação à estrutura física e composição molecular. Os materiais termoplásticos são classificados como materiais viscoelásticos de comportamento anisotrópico (possuem diferente comportamento de deformação para cada dimensão cartesiana x , y e z). Devido ao fato da alta dificuldade em mensurar esta diferença de comportamento durante os ensaios, esta dissertação segue a linha de estudo da indústria simplificando tais materiais como isotrópicos e trabalha apenas com a faixa de comportamento linear elástico de cada material. A anisotropia em geral é considerada quando se estuda materiais poliméricos reforçados com fibras sintéticas ou naturais.

1.6 Organização da Dissertação de Mestrado

A dissertação está dividida em cinco capítulos distintos: introdução, revisão da bibliografia e o estado da arte, desenvolvimento do método empregando as ferramentas de avaliação, resultados e discussões sobre o estudo e por último as conclusões obtidas.

O presente capítulo trouxe a exposição do cenário atual da indústria automotiva de países em desenvolvimento, a definição da problemática, as justificativas pelas quais se encontrou lacunas para o desenvolvimento da

³ Vocábulo inglês para uma ferramenta contida no desenvolvimento integrado de produtos que tem como objetivo levantar e comparar aspectos de determinadas características em um produto.

pesquisa, os objetivos esperados durante o desenvolvimento, as motivações sobre os assuntos abordados e os limites que a dissertação apresenta.

O Capítulo 2 aborda o conceito e classificações de polímeros, aplicações dentro da indústria automotiva e estudos de caso, fala sobre o estado da arte encontrado em Processo de Desenvolvimento do Produto (PDP) e Engenharia Simultânea (ES), e finda com algumas ferramentas que integram estas metodologias.

O Capítulo 3 contém a seleção inicial dos materiais, a definição do modelo de automóvel estudado e as simulações dos critérios de um paralamina construído com os materiais selecionados inicialmente (todos em quatro espessuras iguais), e com o aço na espessura usual.

O Capítulo 4 expõe e compara os resultados obtidos nas simulações, abrindo as discussões pertinentes sobre o assunto engajadas aos resultados expostos, assim como os requisitos de processo, os custos e a valoração de todos estes critérios na seleção.

Finalizando a dissertação, o Capítulo 5 apresenta as conclusões encontradas na pesquisa, as considerações finais e as possibilidades/lacunas em que novos trabalhos possam ser desenvolvidos.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo serão apresentados itens relevantes à caracterização da pesquisa sob o ponto de vista dos materiais adotados, processos de fabricação, seleção de materiais em peças, metodologias e métodos atuais neste ramo da indústria. Buscou-se abordar todas as questões necessárias para extrair o máximo de informações relevantes às quais pudessem contribuir para um melhor entendimento da pesquisa e expor possíveis lacunas a serem preenchidas.

2.1 Polímeros

2.1.1 Definição de Polímero

A palavra polímeros é comumente empregada como sinônimo quando se cita materiais plásticos no meio industrial. Deve-se isto ao desconhecimento do significado do termo, bem como a sua associação com a estrutura das substâncias. O autor Van der Vegt (2002) coloca este fato como uma meia-verdade, indo contra este conceito criado, uma vez que os polímeros também estão presentes em abundância na natureza, principalmente nos reinos animal e vegetal encontrados em celulose e proteínas, exemplificando com substâncias como lã, algodão, juta e seda.

Utracki (1998) define polímeros apontando o significado da palavra derivada da linguagem grega: poli = muitos e meros = unidades. Assim, este autor trata os polímeros como uma substância macromolecular unida por ligações covalentes com no mínimo 50 segmentos moleculares, chamados de meros.

Warson e Finch (2001) também citam a etimologia da palavra polímeros (língua grega) e explanam a união das diversas unidades pelo processo de

polimerização, formando uma macromolécula. Ainda trazem a idéia de que um polímero possui no mínimo duas mil unidades básicas, porém comumente encontra-se materiais com uma média de cinco mil unidades.

Para Lucas *et al.* (2001) ambos os termos – polímeros e macromoléculas – são empregados para definir uma molécula grande de alto peso molecular, porém diferenciam-se na composição e nas ligações dos elementos formadores da molécula. O alto peso molecular do polímero origina-se da repetição de segmentos ao longo da cadeia (poli muitos, mero partes). Assim, na idéia destes autores, macromolécula é o termo mais geral que enquadra todas as moléculas de tamanho elevado e polímero é um termo específico utilizado para moléculas grandes formadas por repetições de estruturas pequenas, chamadas monômeros.

A Figura 2.1 ilustra a definição de monômero por meio da estrutura propileno e polímero pela ligação dos monômeros formando o material conhecido por polipropileno; e a Figura 2.2 mostra algumas possibilidades de estruturas moleculares nos polímeros.

Segundo Berins (1991), a formação de um polímero acontece pela união de vários monômeros por meio de um processo químico chamado polimerização. Para este autor as moléculas podem ser formadas por diferentes técnicas de polimerização. Quando dois monômeros de composições químicas diferentes se unem, chama-se copolimerização ou heteropolimerização, dando origem aos chamados copolímeros. Crawford (1998) da mesma forma ilustra a formação dos polímeros pelo processo químico de polimerização e, após o polímero formado, a contagem do número de monômeros ao longo da molécula do polímero exprime o grau de polimerização deste polímero.

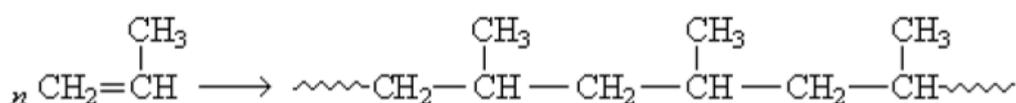


Figura 2.1 – Monômero propileno e polímero polipropileno por Lucas *et al.* (2001).

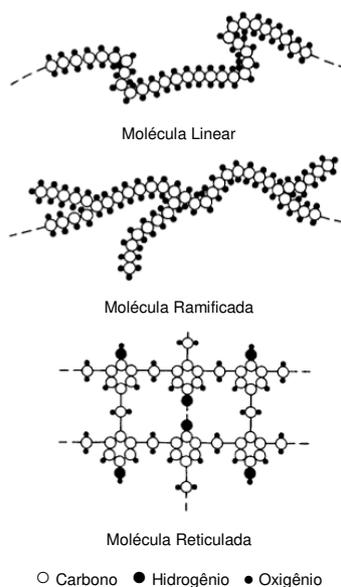


Figura 2.2 – Exemplos de estruturas moleculares de polímeros por Harper e Petri (2003).

2.1.2 Classificações dos Polímeros

Diversos são os autores e as classificações atribuídas aos polímeros na literatura sobre este assunto. Muitos autores classificam considerando aspectos de fabricação, outros preferem classificar de acordo com a aplicação que o polímero será empregado e ainda há os que classifiquem quanto à reciclabilidade. A classificação abaixo foi atribuída por Canevarolo (2006). O autor divide os polímeros da seguinte maneira:

- Quanto à estrutura química – polímeros de cadeia carbônica e polímeros de cadeia heterogênea;
- Quanto ao método de preparação – polímeros de adição e polímeros de condensação;
- Quanto ao comportamento mecânico – plásticos (termoplásticos e termofixos), fibras e elastômeros.

Considerando o tema principal desta pesquisa, a classificação de maior relevância e colaboração no desdobramento do trabalho é quanto ao comportamento mecânico pelo fato de definir o que são materiais

termoplásticos e diferenciá-los dos termofixos, fibras e elastômeros. Estes itens estão detalhados a seguir.

2.1.3 Termoplásticos

Segundo Lucas *et al.* (2001), plásticos são materiais que contêm como componente principal um polímero orgânico sintético e se caracterizam pela capacidade de se tornarem fluídos. Assim são capazes de serem moldados por ação de calor e pressão.

Os mesmos autores definem termoplásticos como plásticos capazes de serem moldados várias vezes devido à sua característica de tornar-se fluido, sob ação de temperatura, e depois retornar às características anteriores quando há um decréscimo de temperatura.

Para explicar esta característica do termoplástico, Crawford (1998) faz uma analogia destes tipos de materiais com a cera de velas, que flui quando submetida ao calor e solidifica quando é resfriada. Este autor cita como importante a subdivisão dos termoplásticos quanto à ordem de orientação das cadeias moleculares, existindo assim termoplásticos amorfos e semicristalinos. A Figura 2.3 ilustra a disposição das cadeias moleculares nestes dois casos.

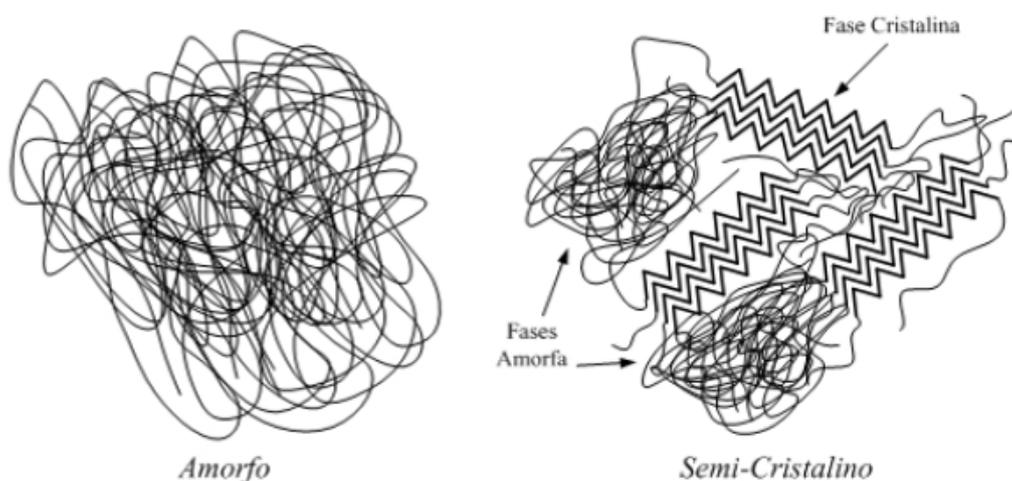


Figura 2.3 – Disposição das cadeias em plásticos amorfos e semicristalinos (MALLOY, 1994).

O autor define os termoplásticos amorfos como materiais que apresentam cadeias de moléculas desordenadas, usualmente possuem aspecto transparente, pouca contração, baixa resistência química e pouca resistência ao desgaste e fadiga. Exemplos de materiais amorfos: poliestireno (PS), policarbonato (PC), acrílico (PMMA).

Crawford (1998) também define os termoplásticos semicristalinos como polímeros que apresentam a maioria de suas cadeias moleculares ordenadas (não se consegue que um polímero seja totalmente cristalino), sempre se mostram com aspecto opaco, alta contração, alta resistência química e boa resistência ao desgaste e fadiga. Exemplos de materiais semicristalinos: polipropileno (PP), polietileno (PE), poliamida (PA).

Wiebeck e Harada (2005) dividem os termoplásticos, de acordo com o volume consumido pela indústria, em quatro categorias: *commodities*, plásticos de engenharia e plásticos de alto desempenho e plásticos de ultra-alto desempenho. A Figura 2.4 indica estas classificações com exemplos de plásticos em cada categoria.

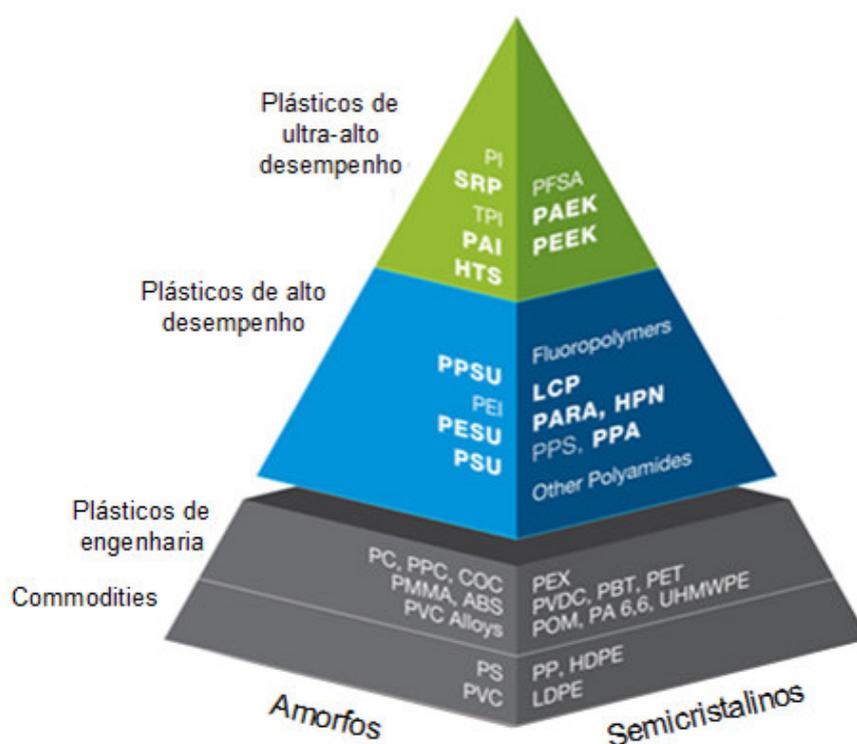


Figura 2.4 – Divisão dos termoplásticos de acordo com o volume consumido (SOLVAY ADVANCED POLYMERS, 2010).

Os *commodities* são plásticos de uso geral e se caracterizam pelo alto consumo da indústria, o que se reflete em alta produção e no baixo custo de tais materiais. São empregados em coisas básicas, como potes, sacolas, etc.

Os plásticos de engenharia são plásticos para aplicações mais específicas e apresentam consumo moderado pela indústria, desta forma o volume produzido pelos fornecedores de polímeros é menor em relação aos *commodities*, elevando o custo destes materiais. Esta é a classe com maior participação na composição dos automóveis.

Os plásticos de alto e ultra-alto desempenho, por sua vez, possuem aplicações muito restritas, e, por consequência, baixo volume de produção e alto custo quando comparados com os *commodities* e plásticos de engenharia.

2.1.4 Termofixos

Canevarolo (2006) descreve os termofixos como polímeros que quando sujeitos a aplicações de temperatura e pressão amolecem e fluem adquirindo a forma do molde, e reagem quimicamente formando ligações cruzadas e solidificam. Subseqüentes aplicações de temperatura e pressão não têm mais influência, tornando-os materiais infusíveis, insolúveis e não recicláveis.

Harper (2002) coloca que as 10 resinas termofixas básicas têm em comum a característica de entrar em uma reação química irreversível quando elevadas de temperatura ambiente à 230°C chamada cura. Como exemplos de termofixos o autor cita as resinas epóxi, fenólicas, poliésteres termofixos, poliamidas termofixas e silicones.

2.1.5 Elastômeros

Segundo Canevarolo (2006), os elastômeros são materiais de grande ductilidade que na temperatura ambiente podem deformar-se no mínimo duas vezes o seu comprimento inicial, restabelecendo suas dimensões originais

rapidamente após removido o carregamento. Para apresentar esta característica, os elastômeros, geralmente, possuem cadeias flexíveis amarradas umas às outras, com baixa densidade de ligações cruzadas.

Lucas *et al.* (2001) consideram os elastômeros ou borrachas como materiais macromoleculares que exibem elasticidade em longa faixa, à temperatura ambiente. Estes autores diferenciam as classes poliméricas pelo comportamento mecânico por meio do diagrama tensão *versus* deformação (Figura 2.5).

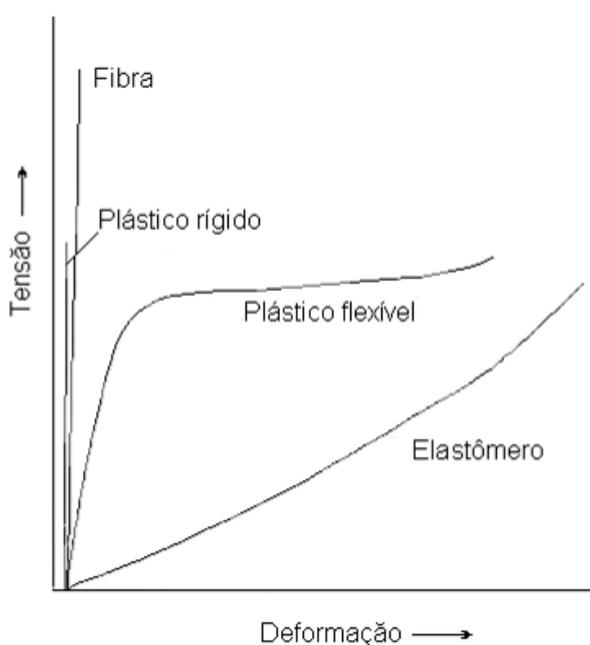


Figura 2.5 – Representação do diagrama tensão vs. deformação das diferentes classes de materiais poliméricos (LUCAS *et al.*, 2001).

2.2 Seleção de Polímeros

A presença de polímeros na indústria automotiva é forte e crescente com o passar dos anos, como citado na introdução. Hoje os carros trazem peças poliméricas desde tubos, conectores e mangueiras até partes de motores ou barras de proteção, sujeitos a temperaturas elevadas e impactos fortes, respectivamente.

Diante deste quadro, pelas características apresentadas por tais materiais, necessita-se que o polímero correto seja escolhido em cada aplicação no automóvel a fim de evitar que alguma possível propriedade exigida pela aplicação não seja atendida pelo polímero selecionado. Para tanto, faz-se uso de alguns argumentos e ferramentas que auxiliam os engenheiros a determinar qual será o polímero correto para a devida função dentro do veículo, como descrito nos próximos parágrafos.

Stauber e Vollrath (2007) dizem que muitas vezes a decisão sobre o uso de um determinado material polimérico dentro da indústria é tomada baseando-se em concorrência, experiências passadas, custos e disponibilidade do material por região. Para os autores, na maioria destas decisões o material selecionado cumpre os requisitos ao qual é submetido. Porém isto não garante que este material seja o mais adequado para a aplicação.

Asif (2009) relata que os polímeros são selecionados baseando-se em alguns requisitos importantes, como:

- Propriedades e custo dos materiais
- Processos de manufatura
- Impacto ambiental
- Energia consumida
- Requisitos legais

Para Sant'Anna e Wiebeck (2006), as metodologias de seleção de materiais evoluíram a partir do empirismo e da busca desordenada de dados em *handbooks* e folhas de dados para uma atividade sistematizada e, sobretudo, científica. Estes autores citam algumas bases de dados de materiais presentes na internet onde é possível obter os valores e comparar propriedades para diversos polímeros de variados fornecedores. Dentre estas fontes eles destacam as seguintes: *Ides* (www.ides.com), *Campus* (www.campusplastics.com), *Granta CES Optimal Polymer Selection* (www.grantadesign.com) e *Matweb* (www.matweb.com).

Malloy (1994) estabelece três passos até se chegar ao material selecionado da seguinte maneira:

- 1) Seleção preliminar: é realizada com base na comparação entre as propriedades requeridas para o material e um banco de dados de propriedades de vários materiais. Recomenda-se que sejam selecionados de três a seis materiais.
- 2) Projetar o componente utilizando os materiais selecionados: uma vez que os materiais candidatos tenham sido selecionados, o componente pode ser projetado conforme as propriedades individuais de cada um deles.
- 3) Seleção final de materiais: nesta fase um material é selecionado, mas mantendo os demais ainda disponíveis, caso ocorra algum problema com o primeiro. A escolha deste material pode ser determinada utilizando experiências passadas ou com base em algum critério como o custo do material, custo e facilidade de processamento, qualidade ou tempo do ciclo de injeção.

Ashby (1992) apresenta o desenvolvimento da ciência seleção de materiais ao longo do tempo, explana sobre as considerações em um projeto e propõe uma metodologia de seleção eficaz para produtos que não apresentam formatos muito complexos, onde são considerados as formas da peça, os objetivos desejados e o cruzamento de propriedades de diversos materiais por meio de gráficos como o da Figura 2.6.

Analisando os detalhes destas metodologias propostas pelos autores acima citados percebe-se que há possibilidades de retrabalhos, superdimensionamentos, excesso de tempo e custos, quando a complexidade do produto em questão é elevada. A própria metodologia de Ashby (1992), que se aplica bem em produtos com seções transversais simples, é pouco aplicada quando se trata de produtos com superfícies complexas.

Mascarenhas (2002) propõe uma metodologia estruturada de desenvolvimento de componentes plásticos (seleção do material e obtenção do leiaute dimensional), na fase de projeto preliminar do desenvolvimento integrado de produtos, empregando as ferramentas propostas pela Engenharia Simultânea, em que a utilização das simulações computacionais tanto na análise estrutural quanto na análise reológica de uma peça injetada reduz consideravelmente os problemas descritos no parágrafo anterior.

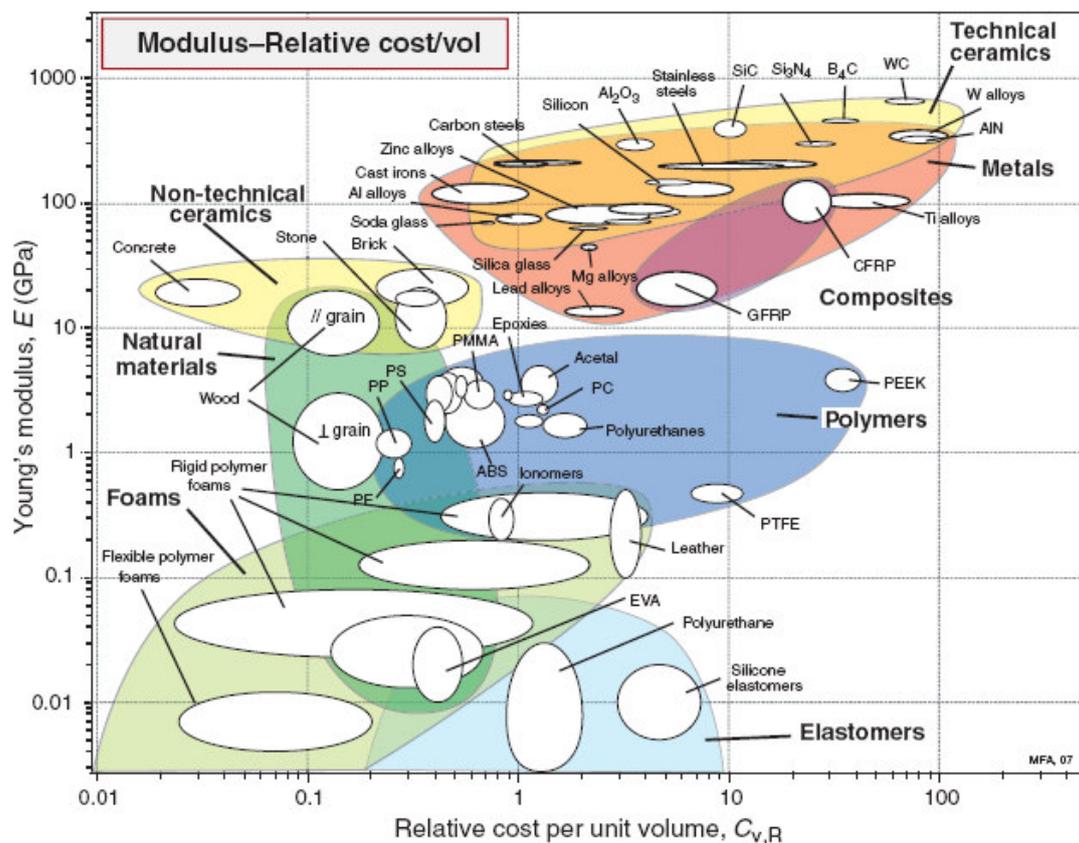


Figura 2.6 – Gráfico para seleção de material proposto por Ashby (ASHBY *et al.*, 2007).

A pesquisa desenvolvida por Mascarenhas (2002) considera apenas a etapa de projeto preliminar no processo de desenvolvimento do produto, passando as etapas de pré-projeto, projeto informacional e projeto conceitual. De acordo com os objetivos traçados no primeiro capítulo desta pesquisa, para garantir a robustez necessária na indústria automotiva faz-se necessário o estudo desde as primeiras etapas de um novo produto, deixando assim uma lacuna a ser preenchida por este trabalho.

2.3 Polímeros na Indústria Automotiva

O volume de polímeros na composição de um automóvel atual é perceptível ao público em geral, principalmente para quem acompanhou o desenvolvimento dos carros no decorrer do tempo. No princípio da produção

automotiva os carros eram artesanais, desprovidos de grande valor agregado e materiais alternativos aos metais e madeira nas garagens produtivas (BANHAM, 2002).

Segundo Lokensgard (2004), foi no início do século XX que o volume de veículos produzidos e a quantidade de polímeros por carro começou a alavancar, com a adoção pelos fabricantes da borracha, celulóides e baquelite, o primeiro plástico totalmente sintético.

Até a década de 50, o aço compunha a maioria das peças na fabricação de um automóvel, chegando a ocupar 80% do peso total de um carro (MAINE, 1997). Analisando a década de 80, segundo esta autora, o aço beirava a média de 70% do peso total presente no automóvel. Com a necessidade de redução de custo e peso, juntamente com a oportunidade de otimização em formas e projeto de peças, outros materiais estão ocupando aos poucos o lugar do aço.

Taub *et al.* (2007) relatam que o primeiro modelo de veículo constituído de polímeros em peças de carroçaria foi o *Corvette*, produzido pela *General Motors Cars*, em 1953, carro este com a carroçaria completa de plástico montada sobre um chassis. Porém nesta época os polímeros aplicados eram termofixos. Por motivos ambientais estes materiais são reprovados na indústria de hoje. Na Figura 2.7 os autores mostram a evolução histórica da composição dos carros em termos de materiais.

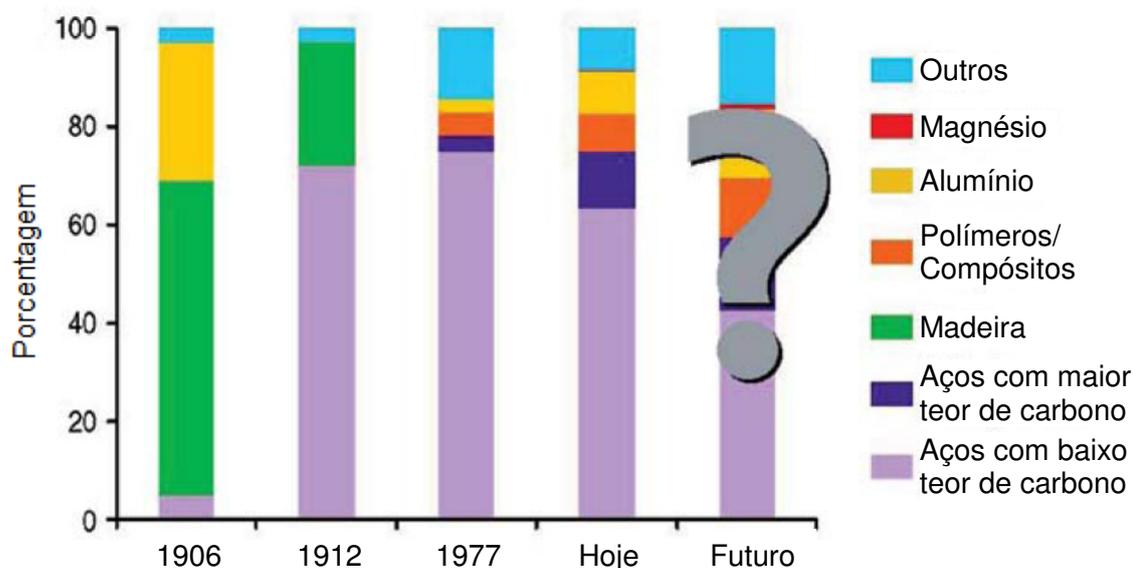


Figura 2.7 – Evolução dos materiais nos automóveis ao longo dos anos (TAUB *et al.*, 2007).

Maxwell (1994) descreve que o crescimento dos plásticos na composição dos carros alavancou após a Segunda Guerra Mundial com a descoberta de novos materiais e com os benefícios oferecidos pelos plásticos, como melhores formas e aspecto, redução de peso, resistência a corrosão, entre outros. Desta forma, durante as décadas de 60 e 70, os materiais plásticos começaram a integrar os sistemas de motorização, elétrica, interiores e exteriores dos veículos. Maxwell (1994), ao contrário de Taub (2007), também informa que o primeiro noticiado com painéis externos fabricados por derivados de petróleo foi o *Ford Soybean*, protótipo datado de 1941 composto de 14 painéis fenólicos sobre uma estrutura tubular.

Vários componentes tradicionalmente fabricados em metal passam a ter polímeros em sua fabricação. Vignos (1991) fala que tanques de combustível aparecem pela primeira vez em polietileno de alta densidade (PEAD) na década de 70, no carro *VW Passat Variant* (Alemanha), e entram no mercado americano na década de 80 tomando força no princípio dos anos 90.

Hoje é possível encontrar módulos inteiros concebidos com plásticos nos automóveis. Stauber e Vollrath (2007) exemplificam com vários estudos de caso em sua obra, como uma tampa de bagageiro 100% plástica, inclusive com o vidro sendo substituído por policarbonato (PC), tetos com visão panorâmica todo projetado em polímero e paralamas de vários modelos, em alguns casos integrando a construção do farol da frente, com redução do número de componentes na frente do veículo.

Alguns materiais se destacaram com a pesquisa e o desenvolvimento em plásticos para o exterior dos veículos durante os últimos 50 anos por apresentarem propriedades e características favoráveis aos grupos automotivos. A seguir um descritivo dos principais com exemplos de aplicação.

2.3.1 Poliamida (PA)

Segundo Harper (2002), as poliamidas são polímeros semicristalinos, classificados como plásticos de engenharia, com alto módulo de flexão, boa resistência ao impacto, baixo coeficiente de fricção e resistência à abrasão.

São popularmente conhecidas por *nylon*® e amplamente aplicadas na indústria automotiva, principalmente em peças que exigem maior resistência, como buchas, tarugos, polias e peças que se encontram na região do motor, como o cárter da Figura 2.8 (GAVENONIS e MCLLVAINÉ, 2009). No exterior dos carros podem existir em maçanetas, estribos, calotas e suportes de carga no teto e grades de radiadores.



Figura 2.8 – Cárter do modelo Mercedes Classe C (GAVENONIS e MCLLVAINÉ, 2009).

Na última década surgiram blendas de polímeros e compósitos com PA na sua composição que viabilizaram a construção de painéis externos prontos para suportar altas temperaturas, possibilitando assim a pintura destas peças com o restante da carroçaria (STAUBER E VOLLRATH, 2007).

A empresa *Rhodia*, tradicional fornecedora de resinas com base de PA apresenta uma composição aditivada com cargas minerais indicadas na aplicação de painéis externos. Este fornecedor de resinas não cita modelos que utilizam seu produto, porém garante que tal blenda é capaz de suportar a

temperatura de 200°C por meia hora sem degradação, o que possibilita a pintura juntamente com a carroçaria do veículo (RHODIA GROUP, 2010).

2.3.2 Polipropileno (PP)

Karian (2003) define polipropileno como um plástico semicristalino de cadeia molecular muito longa, formado a partir da polimerização do monômero propileno, o que confere a este polímero boas propriedades físicas, mecânicas e térmicas. É um material com baixo custo por integrar a classe dos *commodities* e consegue-se aprimorar as suas propriedades em blendas com outros polímeros, como a borracha.

Pelas características descritas acima, é amplamente explorado pela indústria de autopeças. Uma das primeiras aplicações foi em carcaças de baterias há mais de 25 anos. Hoje é facilmente encontrado em painéis de instrumentos, capas de colunas e alavancas de câmbio.

Os parachoques são as peças predominantes produzidas com polipropileno no exterior dos automóveis, porém ainda é encontrado em molduras de farol de neblina, molduras laterais, suportes de placas e eventualmente em grades e calotas.

Com o avanço da ciência de materiais sobre este plástico nos últimos anos, hoje os paralamas dos modelos *BMW X5/X6* formam um módulo frontal, com a integração do farol e da luz de neblina, reduzindo o número de componentes a apenas um e otimizando o peso em 50% (BOREALIS GROUP, 2009).

Tal peça (Figura 2.9) é fabricada com uma blenda de PP, borracha etileno-propileno-dieno-monômero (EPDM) e complementos minerais como o talco, blenda esta conhecida como termoplásticos olefínicos (TPO).

Este material apresenta boa elasticidade pelo fato de ter certo teor de borracha em sua composição e leva vantagens em relação ao custo quando comparado com os demais citados ao longo deste texto, porém deixa a desejar no quesito resistência a temperatura.



Figura 2.9 – Módulo frontal do veículo *BMW X6* (BOREALIS GROUP, 2009).

2.3.3 Policarbonato (PC)

Para Legrand e Bendler (2000), o policarbonato é um plástico de engenharia, amorfo, com cadeias moleculares essencialmente lineares, resistência inerente ao impacto, transparência, boa resistência a temperaturas maiores, boas propriedades elétricas e alto índice de refração. Suas propriedades mecânicas e estruturais favorecem o uso em aplicações duráveis de engenharia.

Edwards (2004) diz que este polímero foi eleito a substituir o vidro na fabricação de faróis e lanternas automotivos por apresentar boa resistência mecânica e a elevadas temperaturas, assim como estabilidade ótica e resistência ultravioleta, com menor peso e moldagem de formas complexas.

Stratton *et al.* (2006) mostram que as novas tendências de estilo e exigências do mercado por tetos solares maiores também forçaram a adoção de módulos na composição de tetos panorâmicos, utilizando para esta finalidade o policarbonato como alternativa aos vidros, já que o mesmo dispõe boa transparência, durabilidade e resistência ao impacto das intempéries, como no modelo *Opel Zafira* (Figura 2.10).

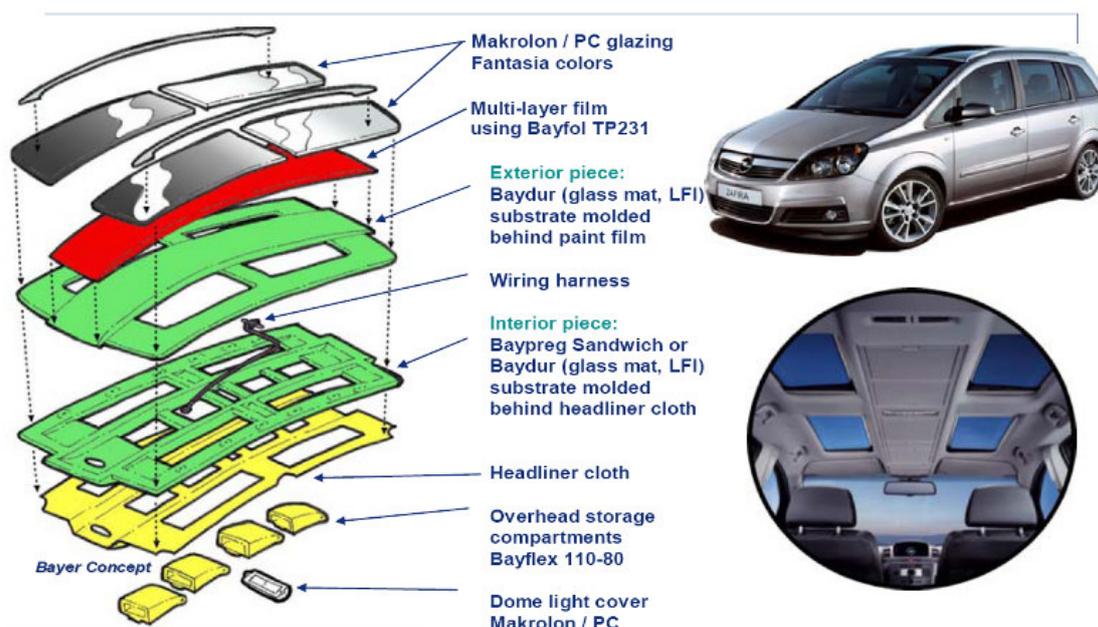


Figura 2.10 – Teto panorâmico do carro *Opel Zafira* (STATTON *et al.*, 2006).

Umamaheswaran e Bax (1999) trazem o caso do modelo *Smart Fortwo*, veículo compacto e muito leve que possui todos os painéis externos variando de 2,5 a 3,0mm de espessura, fabricados com uma blenda composta de PC e polietileno tereftalato (PET), moldados com matéria-prima na coloração final da peça⁴.

2.3.4 Acrilonitrila-Butadieno-Estireno (ABS)

Brydson (1999) relata que o termo ABS é usado para descrever as blendas originárias da combinação dos copolímeros acrilonitrila-butadieno e acrilonitrila-estireno. Possui boa resistência ao impacto e ótima qualidade em acabamento superficial, mas falta transparência e é pobre no quesito

⁴ Esta prática de moldar o polímero na coloração final é indicada no caso do *Smart Fortwo* devido ao fato de que todos os painéis são fabricados com o mesmo lote de polímero e não há em seu exterior outras peças pintadas separadamente. No caso de veículos que possuem peças em aço, pintadas em uma cabine de pintura, ocorrem grandes chances de disparidade entre a tonalidade das cores de peças pintadas e moldadas na cor.

resistência a flamabilidade. Crawford (1998) lista o ABS na relação dos plásticos de engenharia amorfos.

Harper (2002) indica o emprego deste material para a indústria de automóveis em consoles, molduras, painéis de porta, registros de ar, capas de volantes. Stauber e Vollrath (2007) também colocam este material como compositores de capas das colunas, botões de comando e alavancas de câmbio. Para exteriores é possível encontrá-lo em capas de retrovisores, aerofólios, réguas da tampa traseira e maçanetas.

2.3.5 Polifenileno Éter + Poliamida (PPE/PA)

Esta blenda, também conhecida comercialmente como *Noryl GTX®*, foi desenvolvida pela empresa *GE Plastics*, hoje *Sabic Innovative Plastics*, e é composta de polifenileno éter e poliamida, podendo conter variações com poliestireno (PS), cargas minerais e fibra de vidro curta.

Medina (2002) estudou novos desenvolvimentos em plásticos na indústria automotiva, citando o caso da empresa *Renault*, uma das maiores investidoras mundiais em pesquisa e desenvolvimento (P&D), que aplica uma blenda composta principalmente por PPE e PA nos paralamas dos modelos *Clio* e *Scenic*, conhecido comercialmente como *Noryl GTX 974®*.

Umamaheswaran e Bax (1999) citam pontos fortes do material *Noryl GTX®* como condutividade elétrica, o que facilita a pintura das peças, além de ótimo acabamento superficial e resistência a altas temperaturas comparando com plásticos tradicionais como PP e ABS.

Estes autores dizem que os paralamas dos modelos *Clio* e *Scenic*, da *Renault*, são fabricados com esta resina, com espessura de 2,1 milímetros (mm), e pintados juntamente com a carroçaria de tais veículos.

Também citam o paralama e o painel externo da tampa do bagageiro do modelo *Classe A* da *Mercedes-Benz*, ambos fabricados com *Noryl GTX®* possuindo 2,5mm de espessura. A primeira peça é pintada juntamente com a carroçaria enquanto a segunda é pintada separadamente.

2.4 Processo de Desenvolvimento do Produto

2.4.1 Conceitualização

Clark e Fujimoto (1991) definem Processo de Desenvolvimento do Produto (PDP) como o processo pelo qual dados do mercado selecionados são transformados em informações necessárias à produção de um produto com algum objetivo comercial.

De acordo com Pugh (1991), o PDP é uma atividade sistemática necessária desde a identificação das necessidades dos usuários até a venda de produtos capazes de satisfazê-las, englobando produto, processos, pessoas e organização.

Para Ogliari (1999), o PDP é constituído de um conjunto de atividades, procedimentos e regras que devem ser realizadas e aplicadas desde a definição do projeto até a solução detalhada do produto.

Romano (2003) descreve o PDP como a realização de uma série de atividades, desde a detecção da oportunidade de negócio, até o lançamento do produto no mercado. O autor cita que da abstração à materialização do produto é necessário uma série de atividades ao longo do tempo, cujo resultado dita ou não o sucesso da empresa no mercado. Assim, é fundamental que o mesmo seja dividido em fases, cada qual com suas atividades, recursos e saídas.

Para Rozenfeld *et al.* (2006), o PDP é um conjunto de atividades onde se busca atingir especificações de projeto e processos de produção de um produto para que a manufatura possa produzi-lo, considerando as necessidades do mercado, estratégias competitivas da empresa, possibilidades e restrições tecnológicas.

Estes autores propõem um modelo em sua obra (Figura 2.11) onde dividem o PDP em três macro-fases – pré-desenvolvimento, desenvolvimento e pós-desenvolvimento do produto – cada qual com suas devidas fases, atividades e etapas decisórias (*gates*). Estas fases e atividades exigem tempo para serem cumpridas e os devidos recursos para executá-las. Já as etapas decisórias, que se situam entre as fases no modelo, são os pontos onde a

avaliação de toda a fase é realizada e são tomadas as decisões necessárias ao desenvolvimento. O texto a seguir explica detalhadamente os passos deste modelo.

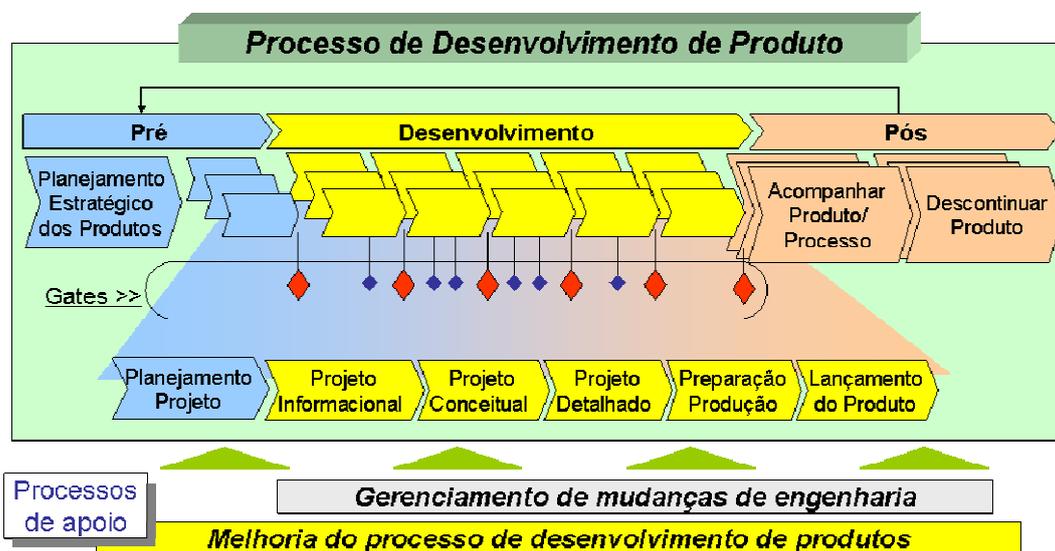


Figura 2.11 – Fases do PDP segundo Rozenfeld *et al.* (2006).

2.4.1.1 Macro-Fase Pré-Desenvolvimento do Produto

Esta é a etapa inicial de um novo projeto, também chamada de etapa de pré-projeto. Aqui são feitas as projeções iniciais de produto e projeto pelas empresas. Seguindo o modelo de Rozenfeld *et al.* (2006) esta macro-fase se divide em duas fases: **i)** o planejamento estratégico dos produtos e **ii)** o planejamento do projeto, explicados a seguir.

i) O planejamento estratégico dos produtos é a fase onde a empresa define seu planejamento estratégico para o produto em questão, isto é, o público atingido, segmento de mercado, entre outros. Para isto são usadas ferramentas de auxílio como voz do consumidor, estudo da concorrência (*benchmarking*) e projeções de mercado. A importância desta etapa para esta dissertação é colher os dados necessários que entrarão nos estudos a serem iniciados na fase seguinte.

ii) Para os autores, o planejamento do projeto é a etapa onde há a idealização de como o projeto será conduzido, a definição dos times de projeto e recursos que serão alocados, a estimativa do tempo consumido em cada etapa, quais ferramentas de projeto serão empregadas e os primeiros estudos e avaliações sobre o novo produto.

A proposta do objeto de pesquisa desta dissertação inicia-se neste ponto pelos fatos de existirem dados provindos da fase anterior e por nenhuma decisão ainda ter sido tomada dentro do projeto nos aspectos de conceitualização e materialização do novo produto.

2.4.1.2 Macro-Fase Desenvolvimento do Produto

Seguindo a linha de raciocínio do modelo proposto por Rozenfeld *et al.* (2006), este é o passo que vai desde o início do projeto até o lançamento do produto no mercado. Assim, nesta macro-fase estão contidas cinco fases distintas entre si, que são: **i)** projeto informacional, **ii)** projeto conceitual, **iii)** projeto detalhado, **iv)** preparação da produção e **v)** lançamento do produto.

i) A etapa de projeto informacional é definida por Back (1998) como a fase onde ocorre o estudo do problema de projeto, a definição do ciclo de vida do produto, o levantamento de necessidades dos clientes, a determinação dos requisitos de projeto e a definição das especificações de projeto de um componente.

Ferreira (2002) diz que a fase de projeto informacional inicia-se com o levantamento das necessidades dos clientes, as quais posteriormente são transformadas em requisitos de projeto. Nesta fase também são estabelecidos valores e parâmetros para estes requisitos e definidas as especificações de projeto do componente.

Porém, na prática, o que se percebe no desenvolvimento de componentes dentro da indústria automotiva é que as necessidades dos clientes e os requisitos para a peça, nesta etapa do projeto, se encontram praticamente fechadas, existindo assim a necessidade de conhecimento maior do que em produtos convencionais.

ii) A fase de projeto conceitual de componentes envolve as etapas de geração de alternativas de concepção, estimativa de custo e seleção da melhor concepção do produto (DARÉ, 2001). Segundo Ferreira (2002), nesta etapa devem ser considerados valores de custo na geração e seleção da alternativa de concepção do produto.

Para Back (1998), no projeto conceitual realiza-se o modelamento funcional do componente, a seleção preliminar de uma classe de materiais e dos correspondentes processos de fabricação, a elaboração da matriz morfológica, a definição de estruturas de princípio de solução alternativa, a seleção da melhor concepção e revisão sistemática do projeto conceitual do componente.

Novamente, segundo tais autores, percebe-se um pouco de diferença quando comparado com a indústria de automóveis, uma vez que na etapa de pré-projeto a engenharia avançada das empresas, departamento responsável por iniciar os conceitos dos projetos, já entrega aos times de projeto uma seleção preliminar de materiais e processos de fabricação, dando assim mais um motivo para aumentar o nível de conhecimento ainda na etapa de pré-projeto.

iii) Rozenfeld *et al.* (2006) resumem a fase do projeto detalhado como o prosseguimento do projeto conceitual, desenvolvendo e conceitualizando todas as especificações do produto, para então serem encaminhados à manufatura e outras fases dentro do modelo de desenvolvimento proposto. Esta é a etapa das últimas especificações do produto, como desenhos finalizados, tolerâncias, instruções de processos, especificações das embalagens, projeto das máquinas, moldes, matrizes, ferramentas e dos protótipos.

Back (1998), Daré (2001) e Mascarenhas (2002) citam outra fase entre as fases de projeto conceitual e projeto detalhado chamada de projeto preliminar. Na idéia destes autores esta seria a fase onde surgiriam os primeiros desenhos em CAD, cálculos dimensionais, simulações empregando CAE. O resultado é a obtenção do desenho do produto técnica e economicamente aprovados, com arranjos e formas bem definidas, de modo a satisfazer aos requisitos de projeto.

Pode-se dizer que a diferença de pensamento entre os autores é que no modelo de Rozenfeld *et al.* (2006) o conteúdo da etapa do projeto preliminar

trazida pelos demais autores é dividida entre as fases de projeto conceitual e projeto detalhado.

Outro ponto importante a ser citado é que na indústria automotiva enquanto não existe projeto do novo componente, freqüentemente utiliza-se peças semelhantes de outros produtos (*surrogate parts*) com a finalidade de adiantar etapas e prever algum possível motivo de erro no futuro. Esta prática permite trazer alguns resultados preliminares mesmo sem o CAD do componente. Caso este CAD seja disponibilizado com antecedência, pode-se substituir a peça no estudo.

iv) Rozenfeld *et al.* (2006) falam que a preparação da produção é fase onde se garante que a empresa consiga manufaturar os produtos com o volume definido nas etapas de projeto, com as mesmas qualidades do protótipo e que aos requisitos dos seus clientes durante o ciclo de vida do produto.

Os autores também colocam que qualquer alteração necessária na previsão inicial de manufatura, tanto em termos de processos quanto de infraestrutura, deve ocorrer neste ponto, pois é o momento de homologação de produto e processos.

Este projeto defende que as peças produzidas em polímeros sejam compradas de fornecedores, delimitando a complexidade das peças apenas na montagem das peças na carroçaria e, se for o caso, na pintura.

v) Terminando a macro-fase de desenvolvimento do produto, Rozenfeld *et al.* (2006) definem a fase de lançamento do produto como o momento em que a empresa apresenta o novo produto ao mercado. Neste passo é importante uma boa distribuição e logística, instrução das pessoas que trabalharão com o produto, campanhas de *marketing* e documentação comercial.

2.4.1.3 Macro-Fase Pós-Desenvolvimento do Produto

Finalizando o modelo de desenvolvimento do produto proposto por Rozenfeld *et al.* (2006), para completar o ciclo de vida de um produto, é fundamental o acompanhamento do produto até o final de sua vida útil. Assim

desenham-se duas fases nesta etapa: **i)** o acompanhamento do produto e dos processos e **ii)** a descontinuação do produto, definidas pelos autores nos próximos parágrafos.

i) Rozenfeld *et al.* (2006) conceituam a fase de acompanhamento do produto considerando a vida do produto no pós-venda. Isto inclui monitoramento do produto no mercado, assistência técnica de garantia, serviços e reparos, melhoria contínua do produto, possíveis ações corretivas e a opinião dos clientes sobre o produto comercializado.

Aqui é possível avaliar o comportamento do produto no mercado. Tendo em vista a concorrência acirrada do mercado atual, esta é a etapa onde as empresas conseguem comprovar o sucesso do produto e as possíveis melhorias no próximo modelo, servindo assim de dados de entrada para a fase de pré-projeto do futuro novo produto.

ii) A descontinuação do produto, de acordo com Rozenfeld *et al.* (2006), é a última fase no modelo de desenvolvimento integrado de produtos proposto por estes autores. Esta etapa diz respeito ao destino dos produtos após toda a sua vida útil, pois os mesmos precisam ter o destino correto respeitando as regras de descontinuação específicas para o determinado produto.

As regras de descontinuação na indústria automotiva são bastante rígidas para conseguir as certificações, como a ISO 14001. Hoje, de modo geral, pode-se considerar que um automóvel atual tem o seu conteúdo de 85 a 95% reciclável, sendo que a porção não reciclável precisa ter o descarte correto. No entanto é necessário que o consumidor saiba informações sobre isto a fim de evitar o automóvel depositado decompondo-se lentamente na natureza.

2.4.2 A Engenharia Simultânea

Schützer e Souza (1999) definem engenharia simultânea como uma estratégia industrial que permite as indústrias reduzirem seu tempo de desenvolvimento de produto, unindo esforços de diversos profissionais e

empresas com diferentes especialidades, trabalhando em grupo de forma cooperativa.

Para Hartley (1992) a engenharia simultânea é a metodologia de desenvolvimento de produto onde vários requisitos são considerados parte do processo de desenvolvimento de produtos. Tais requisitos não são apenas para conseguir as funcionalidades básicas do produto, também são consideradas as necessidades do cliente.

Malloy (1994) considera que a grande vantagem da engenharia simultânea é a habilidade de se conseguir que grupos de projeto trabalhem paralelamente. Mascarenhas (2002) diz que a engenharia simultânea é o resultado da integração entre diversos departamentos, como marketing, vendas, projeto do produto, planejamento do processo, produção, montagem, controle de qualidade, etc.

De acordo com Romano (2003), a engenharia simultânea é a maneira de desenvolver o trabalho entre as diversas disciplinas envolvidas, integrando a elaboração do projeto do produto e a manufatura, diminuindo o custo e o tempo de desenvolvimento do produto, e atendendo melhor as expectativas dos clientes. Para tanto, o autor destaca a importância dos seguintes processos essenciais:

- Planejamento e definição do escopo do projeto;
- Definição, sequenciamento e estimativa de duração das atividades;
- Planejamento dos recursos, custos e orçamento;
- Formação de equipes multidisciplinares;
- Forte comunicação e troca de informações entre os envolvidos no projeto.

Kruglianskas (1993) realizou uma pesquisa entre quatro empresas de autopeças, todas fornecedoras de montadoras. Naquele momento todas estavam implantando a engenharia simultânea em suas organizações. O autor compara o processo tradicional de engenharia com a engenharia simultânea e chega à Figura 2.12.

Kruglianskas (1993) indica nesta figura que o pico de conhecimento ocorre na fase de concepção e estruturação quando a engenharia simultânea é adotada, enquanto nos projetos tradicionais de engenharia o conhecimento atinge este pico somente na fase de execução, o que causa custos decorrentes de revisões.

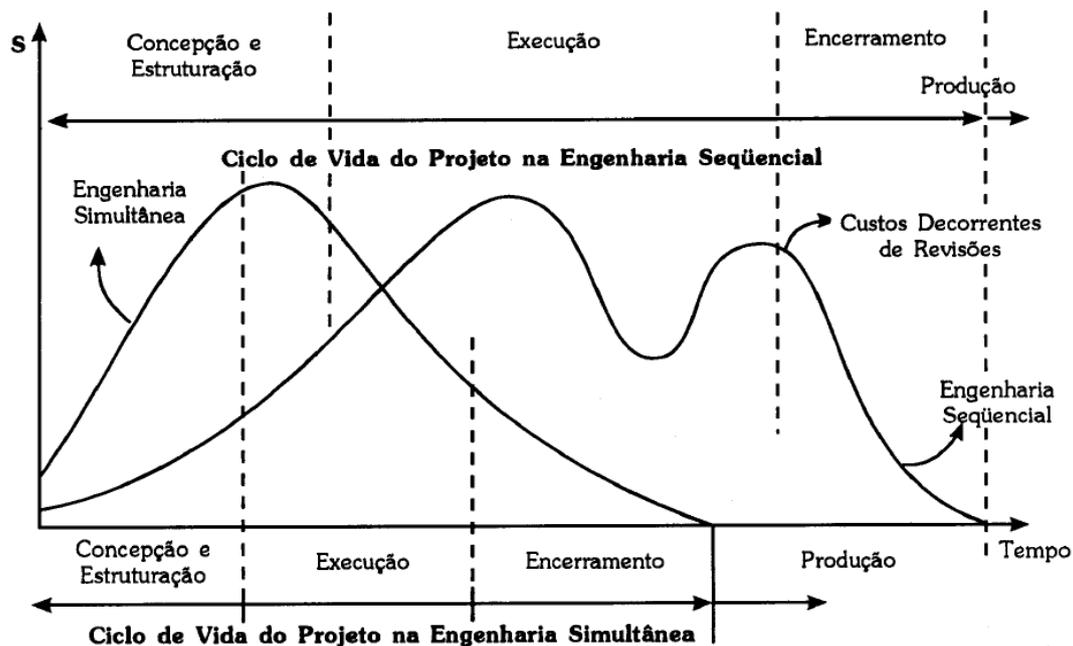


Figura 2.12 – Comparação entre o tempo de desenvolvimento de produto usando o projeto tradicional e a engenharia simultânea (KRUGLIANSKAS, 1993).

Kruglianskas (1995) diz que no projeto seqüencial (Figura 2.13) cada setor da empresa executa suas tarefas e transfere a documentação acabada ao setor seguinte, ficando na defensiva. Cada setor quando recebe a documentação do setor precedente é passível de encontrar erros, de acordo com a perspectiva de sua especialidade, retornando a documentação ao setor originário para alterações. Este trâmite gera atrasos, conflitos, aumenta os custos e pode piorar a qualidade do resultado final.

Kruglianskas (1995) mostra na Figura 2.14 a diferença de abordagem quando se opta pela engenharia simultânea e o paralelismo entre os times envolvidos. Também fala que a engenharia simultânea é uma estratégia estabelecida pelas empresas como consequência da busca pela

competitividade. Apesar de não ser fundamental, o investimento em tecnologia possibilita cada vez mais a integração global dos times e membros de projeto, permitindo que pontos geograficamente distantes se comuniquem fortemente.

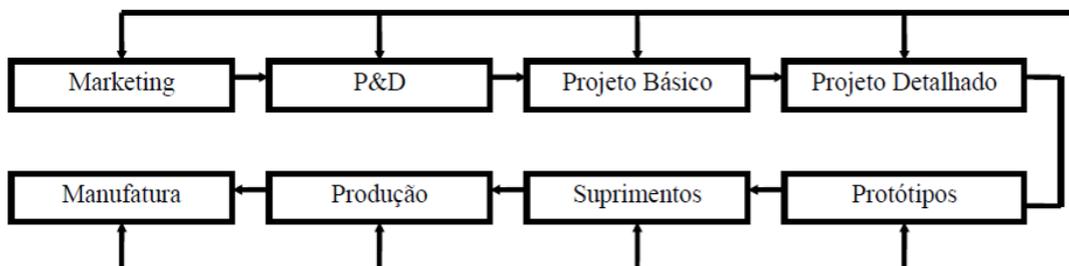


Figura 2.13 – Fluxo típico da engenharia seqüencial (KRUGLIANSKAS, 1995).

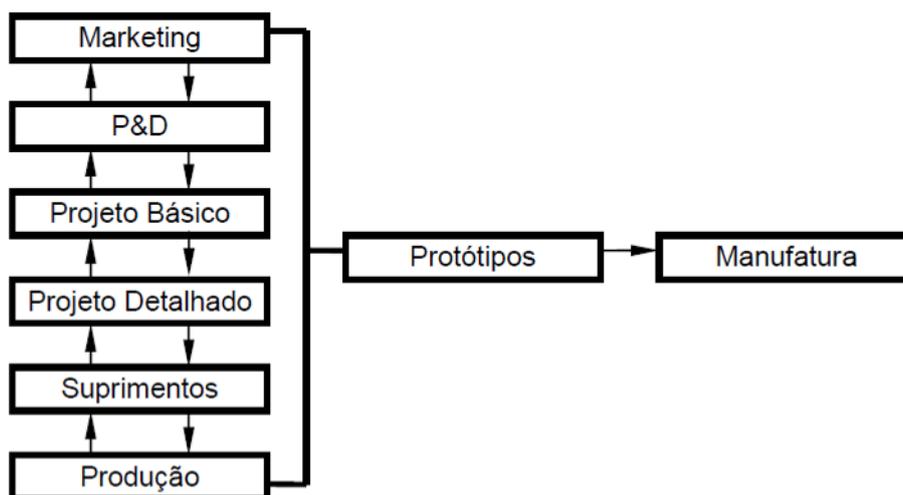


Figura 2.14 – Fluxo típico da engenharia simultânea (KRUGLIANSKAS, 1995).

Segundo Loureiro e Leaney (2003), seguindo a linha da engenharia simultânea, durante o ciclo de vida do produto há muitas áreas envolvidas interessadas (*stakeholders*), cada qual com seus requisitos. Alguns requisitos podem ser comuns entre alguns envolvidos e todos os requisitos são dados de entrada à entidade desenvolvedora. Também deve-se considerar os atributos que tanto produto, como processos e toda a organização envolvida possuem. Atingir ou não estes requisitos e atributos pode determinar o sucesso ou o insucesso de um produto.

Kerzner (2002) fala que no gerenciamento de projetos moderno os diversos departamentos das empresas (engenharia, produção, estratégia, etc.) precisam estar integrados antes da realização de qualquer atividade em um novo projeto; e a engenharia simultânea apresenta-se como principal candidata a impulsionar este fato. Também diz que em projetos de alta qualidade, integrados com a engenharia simultânea em sua gestão, o planejamento inicial é fundamental para evitar riscos com desprendimento de custos em retrabalhos futuros e atrasos em lançamentos do produto, ratificando assim a necessidade detectada inicialmente por esta pesquisa.

2.4.3 Exemplos de Ferramentas Contidas no Processo de Desenvolvimento do Produto e Engenharia Simultânea

Esta seção se destina a conceituar e exemplificar algumas ferramentas contidas no PDP e na engenharia simultânea. As ferramentas não são apontadas na sua totalidade na dissertação. Deu-se ênfase àquelas mais contundentes ao desenvolvimento deste trabalho.

2.4.3.1 *Benchmarking*

Benchmarking é simplesmente o método sistemático de procurar os melhores processos, as idéias inovadoras e os procedimentos de operação mais eficazes que conduzam a um desempenho superior (BOGAN e ENGLISH, 1994).

Camp (1995) define *benchmarking* como a busca pelas melhores práticas que conduzem uma empresa à maximização do desempenho empresarial. O autor cita que esta técnica surgiu na empresa *Xerox* em 1979 como o processo contínuo de medição de produtos, serviços e práticas em relação aos mais fortes concorrentes, ou às empresas reconhecidas como líderes em suas indústrias.

Para Camp (1995) há quatro tipos diferentes de *benchmarking*: interno (operações internas), competitivo (com concorrentes diretos externos), funcional (com as melhores operações funcionais externas ou com os líderes da indústria) e genérico (processos comuns, sem limitações de produto ou indústria). Esta pesquisa adotará o *benchmarking* competitivo visando comparar o mercado e estabelecer as possibilidades atuais em termos de materiais.

Rozenfeld *et al.* (2006) localiza esta ferramenta na etapa de planejamento estratégico dos produtos, dentro da macro-fase pré-desenvolvimento do produto, e este trabalho ratifica o conceito de tais autores pela importância da antecipação de informações dentro da indústria automotiva.

2.4.3.2 Quality Function Deployment (QFD)

Akao (2004) define a ferramenta *Quality Function Deployment* (desdobramento da função qualidade) como uma importante ferramenta de desenvolvimento de produto que converte as necessidades demonstradas pelos consumidores em características de qualidade no produto final, por meio do desdobramento de relações entre as demandas e características técnicas.

Nascida no Japão em 1966, esta ferramenta permite, na maioria dos casos, diminuir pela metade os problemas encontrados nas primeiras etapas dos projetos e reduzir o tempo de projeto, por vezes, até em um terço (AKAO, 2004).

Segundo Yang (2005), QFD é uma ferramenta de planejamento que relaciona uma lista de desejos dos consumidores para projetar requisitos técnicos funcionais no produto. Tem capacidade de entregar aos consumidores seus desejos por meio das relações entre a voz do cliente e os requisitos de projeto.

A Figura 2.15, adaptada da obra de Yang (2005), esboça a idéia da matriz de relações entre a voz do cliente (os “o quês”, dizem o que o cliente espera) e os requisitos de projeto (os “comos”, requisitos necessários à atender

as necessidades expressas pelos consumidores), contendo ainda campos com os graus de importância e importância relativa da valoração, assim como a correlação entre os requisitos críticos (telhado do QFD) e a análise da concorrência.

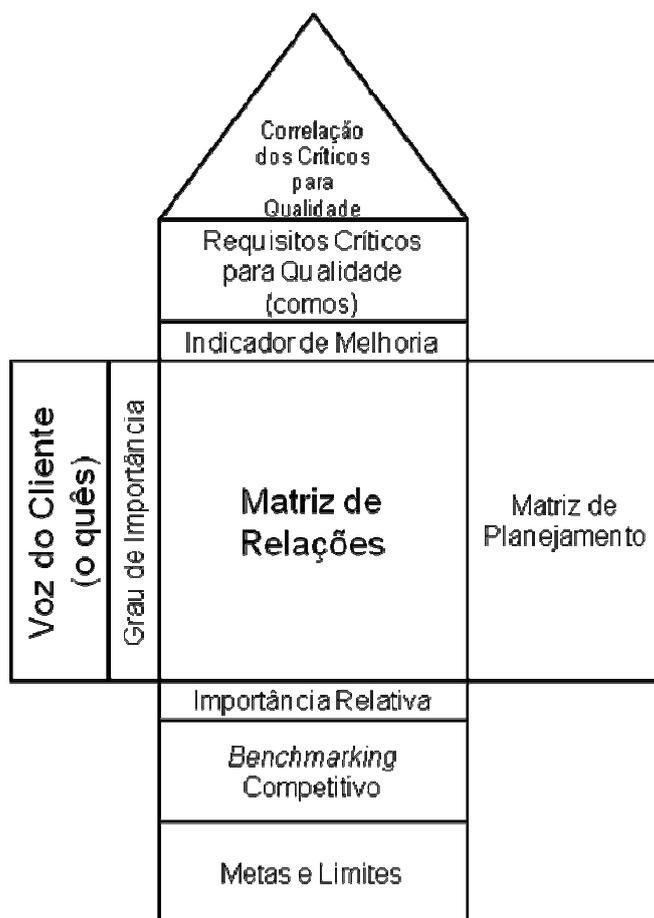


Figura 2.15 – Diagrama com uma matriz do QFD adaptado de Yang (2005).

Yang (2005) numera o QFD em quatro fases, cada qual com sua respectiva matriz de relacionamentos. As fases citadas pelo autor são as seguintes:

- Fase 1: Planejamento do que é crítico para satisfação do cliente;
- Fase 2: Requisitos funcionais;
- Fase 3: Planejamento dos parâmetros de projeto;
- Fase 4: Planejamento das variáveis de processo.

Na Figura 2.16 Yang (2005) expõe as quatro fases do QFD, tendo os “comos” da primeira matriz transposto para os “o quês” da segunda, e assim sucessivamente.

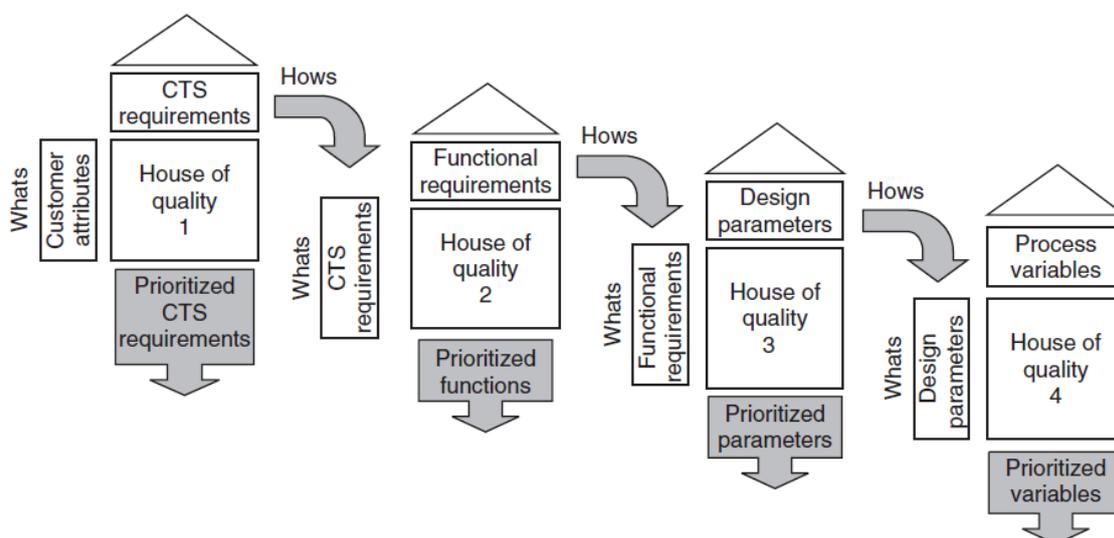


Figura 2.16 – As quatro fases do QFD (YANG, 2005).

2.4.3.3 Computer Aided Design (CAD)

Para Duggal (2000), CAD (desenho assistido por computador) é uma ferramenta eletrônica que permite o usuário criar desenhos rapidamente e com grande precisão fazendo uso de um computador.

O autor diz que existem desenhos eletrônicos planejados, dispostos por vistas em duas dimensões (2D) e também representações eletrônicas que transmitem a sensação de profundidade e perspectiva nas três dimensões (3D), com sólidos e superfícies.

Duggal (2000) fala ainda que os desenhos 2D são importantes porque apresentam vistas dispostas de um produto, contendo informações como dimensões, esquemas de solda, tolerâncias, etc. Segundo o autor, os desenhos 3D são o combustível para as simulações de fabricação e funcionamento do produto (CAM e CAE), assim como usinagem de moldes e matrizes, verificação de interferências (*package*) e confecção de protótipos.

Como exemplo dos programas fundamentados os autores citam programas de análise de elementos finitos para análises de tensão, deflexão, vibrações e transferência de calor; programas de dinâmica dos fluidos computacional para análise de fluxo de fluidos; e programas para simulação da força dinâmica e do movimento em mecanismos.

Para os autores, os programas não-específicos de engenharia são os processadores de palavras, planilhas de cálculo e solucionadores matemáticos.

Tres (2006) declara que três passos são necessários para realizar uma análise CAE. O primeiro passo é o pré-processamento dos dados onde a partir do CAD é gerada a malha de elementos finitos com um dado grau de refinamento. Em seguida, as condições de contorno e o carregamento são aplicados. A Figura 2.18 mostra uma peça discretizada em elementos (malha).

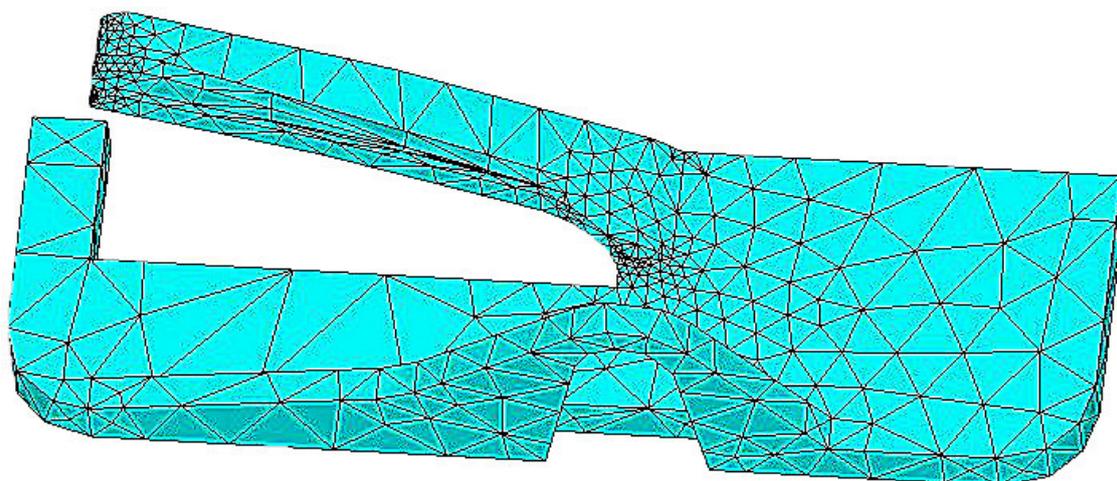


Figura 2.18 – Exemplo de peça discretizada em elementos finitos (MASCARENHAS, 2002).

O segundo passo refere-se à resolução das equações geradas, podendo ser subdividido em derivação montagem das equações em um sistema de equações e resolução das equações utilizando técnicas numéricas.

O terceiro e último passo consiste da avaliação dos resultados. Este passo requer bastante experiência e conhecimento por parte do projetista. A Figura 2.19 traz a situação após a análise, onde o resultado já foi incluído e cabe ao projetista interpretá-lo.

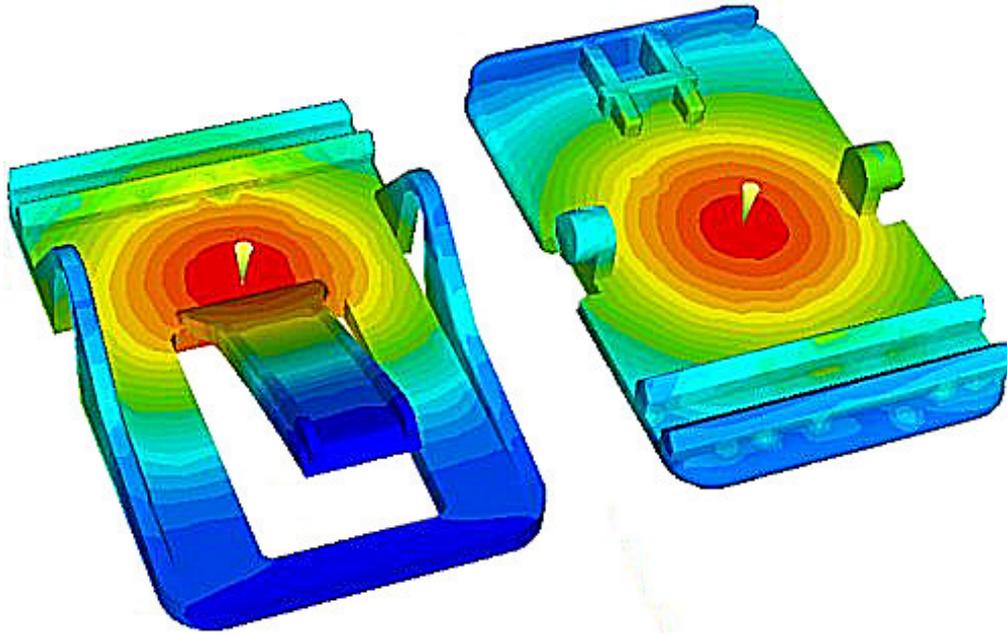


Figura 2.19 – Exemplo de resultado de simulação (MASCARENHAS, 2002).

Os resultados das análises CAE geralmente são exibidos como a figura acima. Nestes casos a área colorida de azul representa os menores valores, a região vermelha representa os maiores valores, e o gradiente de cores representa o aumento gradual dos valores para o critério simulado.

Este auxílio por meio das cores é útil ao analista, pois possibilita identificar em qual porção da peça estão as maiores tensões, os modos de vibração, trocas de temperatura, etc. (dependendo de cada requisito analisado).

3 ANÁLISE DOS TERMOPLÁSTICOS E SIMULAÇÕES DOS CRITÉRIOS INICIAIS

Todo o componente dentro da indústria automotiva precisa atender a certos requisitos específicos, enquanto as peças do automóvel são vistas sob o aspecto de componente. Tais requisitos podem ser exemplificados como durabilidade da peça, montagem, fadiga, legislações, entre outros. Porém todas as peças que formam um veículo precisam ser montadas entre si, formando assim os subsistemas e os sistemas automotivos.

Olhando para o automóvel como um todo, além de cumprir estes requisitos, há também os atributos veiculares. Os atributos diferenciam-se dos requisitos pelo fato de representarem desempenho. Alguns atributos veiculares são: dirigibilidade, aerodinâmica, aparência, ergonomia e consumo de combustível.

Na Tabela 3.1 é possível comparar os requisitos com os atributos para entender a diferença entre ambos.

Tabela 3.1 – Comparação entre requisitos e atributos veiculares.

Comparação Requisitos x Atributos Veiculares	
<i>Requisitos</i>	<i>Atributos</i>
Fadiga	Consumo de Combustível
Tolerâncias Dimensionais	Aerodinâmica
Montagem	Aparência
Materiais	Dirigibilidade

Esta pesquisa, como citado no Capítulo 1, identificou a possibilidade de melhorar os atributos consumo de energia/combustível e aparência. Para isto é necessário que os painéis exteriores atendam os seus respectivos requisitos, definidos individualmente pelas próprias montadoras, que se baseiam em

normas, entidades reguladoras, experiências anteriores de projetos e concorrência.

Neste ponto é importante ressaltar que cada montadora possui seus próprios requisitos e atributos, podendo optar pela priorização e imposição de valores para os mesmos. Este é um dos motivos para automóveis, ainda dentro de uma mesma categoria, apresentarem comportamentos semelhantes ou diferentes.

Isto significa que, para um mesmo componente, duas montadoras distintas podem atribuir valores semelhantes ou diferentes para um certo requisito, assim como para os atributos sob o aspecto veicular.

Todavia, boas práticas e materiais são amplamente estudados e comparados pela concorrência de mercado, fato este comprovado com exemplos como dos pneus, onde é fato que a borracha traz o melhor desempenho até o momento e todos seguem esta direção.

Assim, o ponto de partida inicial nesta pesquisa é visualizar o cenário do mercado atual em termos de materiais e veículos que possuem termoplásticos em painéis exteriores com a finalidade de comprovar se os mesmos atendem ou não os requisitos da empresa apoiadora do projeto em questão.

3.1 Pré-Seleção dos Polímeros Candidatos ao Estudo

A composição de uma peça em termos do material que a compõe é de suma importância para o seu comportamento, desempenho, durabilidade e descarte durante o seu ciclo de vida. Esta afirmação é reforçada pela linha de raciocínio de Malloy (1994) e Ashby (1992).

Como exposto na revisão da bibliografia, há alguns casos de emprego dos materiais termoplásticos em painéis externos dos veículos ao longo do tempo em carros de diversas marcas. Porém, ao contrário do aço na estrutura e da borracha nos pneus, esta aplicação não foi adotada pelo mercado como uma tendência futura.

Aqui estes casos serão estudados e os materiais catalogados, comparando quais materiais e quais montadoras já construíram seus modelos

com termoplásticos em painéis externos. A ferramenta do PDP utilizada para tal será o *benchmarking*, conceituado no Capítulo 2.

3.1.1 *Benchmarking* de Termoplásticos Aplicados em Painéis Externos

De acordo com a conceitualização de Rozenfeld *et al.* (2006), e com a corroboração desta pesquisa para todos os projetos em que as montadoras apresentem possibilidade de aplicar termoplásticos em painéis exteriores, a tarefa de *benchmarking* deve ser realizada na etapa de planejamento estratégico dos produtos, macro-fase de pré-desenvolvimento do produto (Figura 3.1).



Figura 3.1 – Etapa do *benchmarking* no PDP.

Durante a revisão da bibliografia este trabalho encontrou alguns modelos de automóveis que apresentam termoplásticos em painéis exteriores, com seus respectivos materiais e fornecedores de resinas. Alguns autores colocam o nome comercial das resinas termoplásticas, como o *Noryl GTX®*, outros porém colocam apenas a resina base, por exemplo, PC/PET.

Os sítios de fabricantes de resinas termoplásticas foram outras fontes de dados importantes, que possibilitaram fazer a ligação entre as resinas indicadas e materiais comerciais disponíveis no mercado, sendo os mesmos: *Sabic Innovative Plastics* (<http://www.sabic-ip.com>), *Borealis Group* (<http://www.borealisgroup.com>) e *Rhodia Group* (<http://www.rhodia.com>).

No caso específico do *Noryl GTX®*, como a empresa *Sabic* dispõe de variados *grades*, tanto puros quanto aditivados com carga mineral ou fibra de vidro curta, e não foram catalogados modelos que apresentassem estes materiais, foi estabelecido que também *grades* com esta especificação fossem estudados pelos benefícios de desempenho proporcionados pela aditivação.

Todos os dados encontrados, juntamente com os materiais pré-selecionados estão compilados na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Compilação dos dados encontrados no *benchmarking*.

Compilação dos Dados Encontrados no <i>Benchmarking</i>		
<i>Modelo do Automóvel</i>	<i>Resina Especificada</i>	<i>Nome Comercial</i>
<i>Renault Clio</i>	PPE/PS/PA	<i>Noryl GTX 974®</i>
<i>Renault Scenic</i>	PPE/PS/PA	<i>Noryl GTX 974®</i>
<i>Mercedes Classe A</i>	PPE/PS/PA	-- ⁵
<i>Smart</i>	PC/PET	<i>Xenoy X5410®</i>
<i>BMW X5 / X6</i>	TPO	<i>Daplen EF341AE®</i>
<i>Rhodia Group</i> ⁶	PA	<i>Technyl A 238P5 M25®</i>

3.1.2 Características de Composição e Disponibilidade dos Materiais

Nos dias de hoje, com a necessidade de maior rapidez em consultas e trocas de informações pela característica do capitalismo, várias bases de

⁵ Não foi possível atribuir o *grade* específico de *Noryl GTX®* a este modelo.

⁶ O fabricante da resina e a bibliografia não apresentam quais modelos de veículos utilizam tal resina.

dados para consultas de materiais foram criadas, contendo as cartas com informações técnicas de cada material.

Sant'Anna e Wiebeck (2006) listam algumas destas fontes, como o *Ides Prospector* (<http://www.ides.com>), *Campus* (<http://www.campusplastics.com>), *Granta CES Optimal Polymer Selection* (<http://www.grantadesign.com>) e *Matweb* (<http://www.matweb.com>).

Após uma consulta prévia, verificou-se que a fonte mais adequada para associar a composição dos materiais disponíveis no mercado para tal aplicação com a obtenção de informações necessárias à esta pesquisa foi o *Ides Prospector*. A Tabela 3.3 apresenta as resinas pré-selecionadas, juntamente com o fabricante e a sua composição. A partir deste ponto do trabalho todos os materiais serão denominados por seus nomes comerciais. Todas as fichas com os dados técnicos das resinas selecionadas se encontram no Anexo A.

Tabela 3.3 – Resinas termoplásticas pré-selecionadas para o estudo de viabilidade.

Resinas Pré-Selecionadas Para Avaliação da Viabilidade		
Nome Comercial	Fabricante	Composição
<i>Noryl GTX 974®</i>	<i>Sabic Innovative Plastics</i>	PPE+PS+PA
<i>Noryl GTX 975®</i>	<i>Sabic Innovative Plastics</i>	PPE+PS+PA+aditivo mineral
<i>Noryl GTX 8730®</i>	<i>Sabic Innovative Plastics</i>	PPE+PS+PA+aditivo fibra de vidro
<i>Xenoy X5410®</i>	<i>Sabic Innovative Plastics</i>	PC+PET+aditivo mineral
<i>Daplen EF341AE®</i>	<i>Borealis Group</i>	PP+EPDM+aditivo mineral
<i>Technyl A 238P5 M25®</i>	<i>Rhodia Engineering Plastics</i>	PA+aditivo mineral

Em uma primeira análise dos materiais listados acima percebe-se que apenas o *Noryl GTX 974®* não possui complementação mineral na composição da blenda. Realizando uma comparação entre alguns dados dos três *grades* selecionados de *Noryl GTX®* (Tabela 3.4), como módulo de elasticidade (E) em megapascal (MPa), módulo de resistência à flexão (W) em MPa e massa

específica (ρ) em gramas por centímetro cúbico (g/cm^3), é possível constatar em números o efeito da aditivção mineral em relação ao material puro e da aditivção com fibra de vidro em relação aos dois últimos. A carga mineral torna o *Noryl GTX 975®* mais rígido que o *Noryl GTX 974®*, mas também mais denso. O *Noryl GTX 8730®* se mostra bastante acima no valor dos módulos de elasticidade e flexão devido à fibra, todavia isto impacta na maior massa específica entre os três *grades*.

Tabela 3.4 – Comparação das propriedades E, W e ρ entre os três *grades* de *Noryl GTX®* selecionados.

Comparação de Propriedade dos <i>Grades</i> <i>Noryl GTX®</i>			
<i>Material</i>	<i>E (MPa)</i>	<i>W (Mpa)</i>	ρ (g/cm^3)
<i>Noryl GTX 974®</i>	2050	2050	1,08
<i>Noryl GTX 975®</i>	4450	4000	1,25
<i>Noryl GTX 8730®</i>	12000	9300	1,37

3.2 Avaliação da Peça a ser Estudada

A indústria automotiva conceitua painéis externos como toda a peça exterior com grande área plana ou quase plana. Classifica-se com isto então as peças do lado externo do capuz do motor, paralamas, lado externo das portas, lado externo do teto e lado externo da tampa do bagageiro. Peças estas passíveis de serem fabricadas com chapas metálicas, chapas plásticas, termofixos moldados e plásticos injetados.

É importante citar os diferentes tipos de painéis exteriores, pois cada peça citada acima possui critérios e restrições, possíveis ou não de serem atendidas com materiais termoplásticos. A área de estratégia das empresas deve ter bem claro no momento de planejamento do produto qual(is) peça(s) serão estudadas e a seção a seguir exporá qual peça esta pesquisa estuda e o motivo de eleger esta peça.

3.2.1 Seleção do Componente

O formato exterior dos veículos é definido pelo departamento de estilo das montadoras, começando na macro-fase de pré-desenvolvimento do produto, passando por todas as etapas de desenvolvimento e terminando apenas no final da macro-fase de desenvolvimento do produto.

Denomina-se “tema” a(s) proposta(s) desenvolvida(s) ao longo destas duas macro-fases, que inicia apenas com as proporções do veículo e finda com o carro formado, com todas as linhas de divisão entre as peças.

Durante todo este tempo, os diversos departamentos das empresas desenvolvem o automóvel entregando viabilidade às propostas apresentadas pelo departamento de estilo. O “tema” do carro vai maturando aos poucos com a chegada de informações e ao final do desenvolvimento a montadora tem o carro definido e pronto para começar as ferramentas de fabricação.

Porém, enquanto o “tema” não entrega as linhas de divisão entre as partes do exterior e o formato definido das peças, os departamentos não podem parar os estudos de viabilidade, mesmo sem ter dados totalmente concretos em mãos. Para isto adota-se a postura de prosseguir estudos com peças de modelos correntes, cujos estes a montadora possui informações e dados de campo suficientes para entregar estudos robustos de viabilidade às novas peças.

Esta dissertação sugere que o(s) painel(is) externo(s) à serem estudada a viabilidade de termoplásticos em sua fabricação seja(m) determinado(s) na mesma etapa em que acontece o *benchmarking*, citado na seção anterior, isto é, no planejamento estratégico dos produtos (Figura 3.1), assim como o modelo corrente que doará suas formas aos estudos iniciais. No momento em que o novo modelo permita estabelecer estudos de viabilidade, troca-se a peça do modelo corrente pela peça proposta.

No caso desta pesquisa, como a mesma tem o intuito de guiar o desenvolvimento de produto das montadoras e não acontece juntamente com um projeto, foi eleito um modelo de automóvel corrente, denominado deste ponto em diante de Modelo “A” por questões de confidencialidade ligadas aos dados divulgados do mesmo.

A peça sugerida, por sua vez, são os paralamas, por motivos de mercado, de ter atualizado estas peças no Modelo “A” há pouco tempo e possuir bastantes dados disponíveis da peça fabricada em aço, assim como pelo fato da concorrência apresentar estas peças em termoplásticos e as empresas fornecedoras de resinas disporem de informações importantes nesta aplicação.

3.2.2 Critérios, Requisitos e Restrições da Peça

Na indústria de maneira geral, cada componente de um produto precisa atender requisitos e contribuir de certa maneira com algum atributo. No campo automotivo isto acontece da mesma forma. Porém, no início de um projeto, geralmente se analisa o carro como um todo, desdobrando-o com o passar do tempo ao nível dos componentes.

Porém neste caso, por se tratar de um componente tradicionalmente fabricado em aço, não se pode correr o risco de atribuir material termoplástico em etapas avançadas do projeto. Por exemplo, quando os protótipos e ferramentas já estão em desenvolvimento, todos os custos do projeto já foram comprometidos.

Assim, é importante avaliar a substituição na fase inicial do projeto e manter o time de gerenciamento de projetos informado sobre o comportamento da peça com o novo material, tanto em requisitos técnicos quanto com os custos envolvidos.

Os paralamas não são peças estruturais do veículo. As duas maiores funções desta peça são atribuir boa estética ao veículo e cobrir os pneus garantindo proteção aos pedestres. Estas peças geralmente são submetidas a pequenos danos em estacionamentos e vias públicas. Suportam alguma temperatura mais elevada que a temperatura ambiente e vibrações transmitidas pelo motor por serem posicionadas perto do sistema de propulsão veicular.

Então é necessário considerar aspectos que garantam o bom funcionamento inicial do material plástico quando aplicado na peça. A

confirmação final de viabilidade somente será dada na etapa de projeto detalhado do PDP, macro-fase de desenvolvimento do produto, onde o produto é definitivamente validado. Contudo, caso a peça tenha sido estudada antes, garantindo alguns dos requisitos, torna-se maior a chance da viabilidade ser positiva.

Recomenda-se então que alguns critérios, requisitos e restrições do painel em questão sejam levantados na etapa de projeto informacional da macro-fase de desenvolvimento do produto (Figura 3.2). Paralelamente conduzem-se os estudos com o aço para coleta de dados em caso de negatividade dos termoplásticos nas etapas futuras de validação.

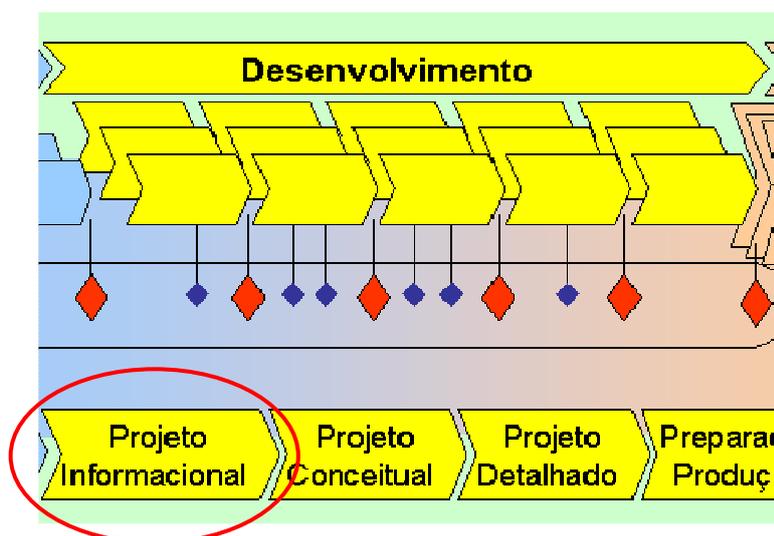


Figura 3.2 – Etapa do levantamento de requisitos, critérios e restrições no PDP.

3.2.3 Estabelecimento dos Testes a serem Simulados

No estudo do paralamas, como citado anteriormente, precisa-se considerar, entre outros requisitos, a possibilidade da peça vibrar quando o carro está parado e funcionando (regime de marcha lenta), o que pode causar impressão de fragilidade ao cliente que adquiriu o modelo.

Em carros de passeio com motores pequenos, com cilindrada até 2.000 centímetros cúbicos (cm³) ou 2 litros (L), com quatro cilindros, geralmente a

faixa de frequência de marcha lenta que o motor trabalha vai até 50 hertz (Hz). Portanto é requerido que haja a separação modal entre esta peça e a frequência excitadora de modo que esta peça não apresente modos de vibração menores que 50Hz quando montada no veículo em condições de trabalho.

Outro requisito comentado são os pequenos danos no paralamas enquanto o veículo se encontra estacionado. Sabe-se que quanto maior a flexibilidade da peça, menor a chance de sofrer danos plásticos, isto é, marcas definitivas, como pequenos amassos.

Todavia há um limite de flexibilidade para que a peça não adquira comportamento de membrana com espessura muito reduzida, garantindo assim um balanço entre os critérios, já que os critérios de fluência e de vibração precisam ser respeitados e peças menos espessas estão mais suscetíveis à falhas nestes pontos.

A empresa apoiadora deste projeto possui um teste específico de flexibilidade para painéis externos, onde uma força de “X” newtons (N) é aplicada em uma área de “Y” centímetros quadrados (cm²) na região mais flexível das peças e se colhe a deformação “Δ” milímetros (mm) ocasionada⁷.

A deformação medida no teste nesta área, após aplicação da carga, não pode ultrapassar o valor limite que a empresa impõe. Como tal valor é confidencial, será empregado o valor de 1Δ para o limite de deformação. Assim, toda a deformação maior que 1Δ será reprovada e menor que este limite será aprovada.

No quesito previsão de massa da peça, por dados obtidos no *benchmarking*, sabe-se que certos casos de substituição de materiais nestas peças obteve-se a massa reduzida até em metade da massa inicial em aço. Para este trabalho foi instituído a redução de 1 quilograma (Kg) ou o limite de 40% a menos da massa provisionada para o aço por peça.

Pode-se com isto montar a uma tabela (Tabela 3.5) com os valores de restrição para os critérios iniciais da primeira rodada de simulações. Em caso de estudo de viabilidade para outros painéis externos, é preciso adequar os testes iniciais com os critérios dos painéis em oportuno.

⁷ Os valores da força “X” e área “Y” são omitidos por serem considerados sigilosos evitando assim qualquer ferimento de confidencialidade da informação da empresa em questão.

Tabela 3.5 – Valores de restrição dos critérios iniciais.

Valores de Restrição dos Critérios Iniciais	
<i>Critério</i>	<i>Valor</i>
Frequência do 1º Modo de Vibração (Hz)	Maior que 50Hz
Deslocamento da Área com a Carga Aplicada (mm)	Menor que 1Δ
Previsão de Massa da Peça (Kg)	Redução de 1Kg ou 40% comparando com a massa da peça em aço

3.3 Configurações dos Testes Virtuais

Com o painel paralama do Modelo “A” selecionado, inicia-se a configuração e os testes virtuais com tais peças. A primeira etapa do processo consiste em obter o desenho virtual tridimensional da peça com o auxílio das ferramentas de desenho assistido por computador (CAD). Estas ferramentas possibilitam projetar, visualizar, especificar e estudar os componentes do automóvel. A Figura 3.3 ilustra o CAD do paralama do Modelo “A”.

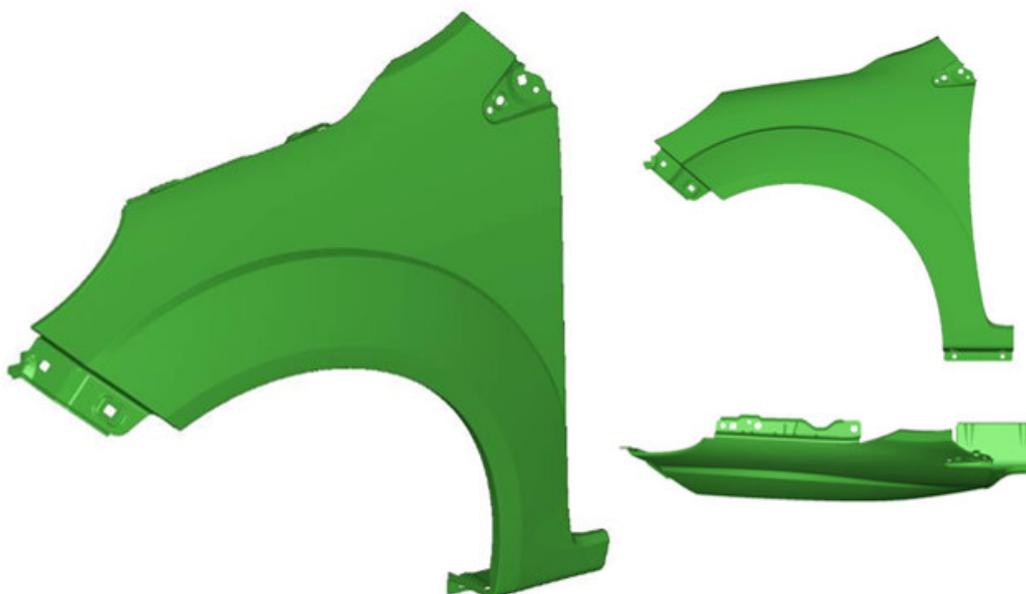


Figura 3.3 – Desenho 3D dos paralamas do Modelo “A”.

Com posse da peça virtual, o próximo passo consiste em preparar a peça para as análises virtuais dos testes descritos na Seção 3.2 executando a geração da malha de elementos finitos. Segundo Mascarenhas (2002), a criação da malha é o processo em que o domínio considerado é discretizado em pequenas regiões chamadas de elementos, cujas conexões com os elementos adjacentes são realizadas por meio de nós.

Este processo denomina-se de pré-processamento e o *software* utilizado para gerar a malha de elementos finitos no caso dos paralamas do Modelo "A" foi o *Hypermesh*®, do pacote *Hyperworks*®. A Figura 3.4 mostra o paralama discretizado em elementos (malha de elementos finitos).

Nesta figura os elementos estão representados com tamanho grande (média de 30mm de aresta) a fim de facilitar a visualização da figura nesta dissertação. Esta não é a condição ideal para a análise, visto que nesta situação a peça pode compor um valor de rigidez superior à sua rigidez real. Nas análises a peça foi confeccionada com elementos em tamanho reduzido (aproximadamente 5mm de aresta) buscando aumentar a acuracidade dos resultados.

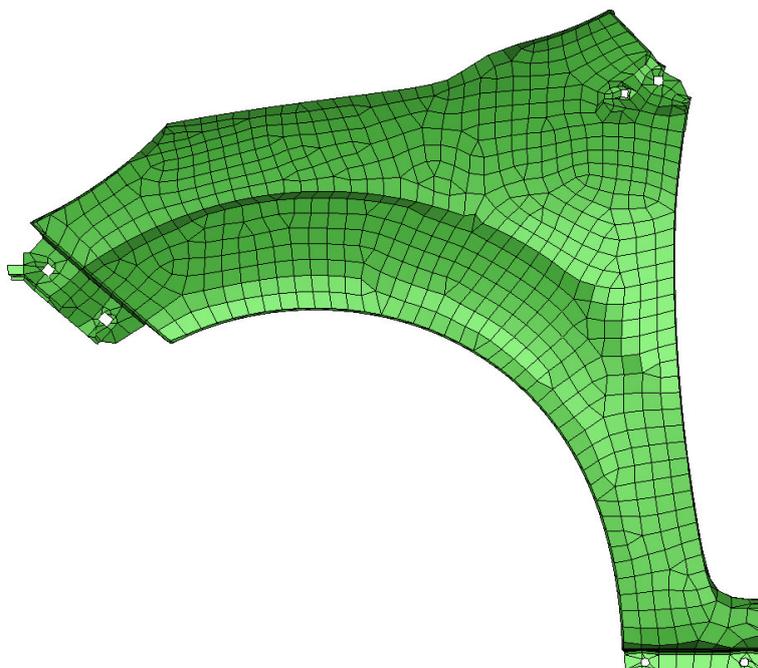


Figura 3.4 – Malha de elementos finitos dos paralamas do Modelo "A".

A próxima etapa do processo consiste em representar no ambiente virtual os engastes que simulam os parafusos fixando a peça física no carro. Nos veículos em que esta peça é fabricada com aço, a mesma é montada no setor da manufatura onde se concebe a soldagem da carroçaria do veículo (*body shop*), imediatamente antes da cabine de pintura. No caso do Modelo "A", o paralamas recebe 8 parafusos de fixação em cada lado do veículo (direita e esquerda), totalizando 16 pontos de fixação.

Para fidelizar a simulação com a condição de trabalho da peça física, em cada engaste foram restringidos os 3 graus de liberdade de translação e rotação – um grau de liberdade de translação e rotação para cada eixo cartesiano x , y e z – já que a peça uma vez aparafusada, nenhum ponto de fixação da mesma apresenta movimentação relativa de translação ou rotação. A Figura 3.5 mostra um ponto de fixação com o engaste e os graus de liberdade restritos.

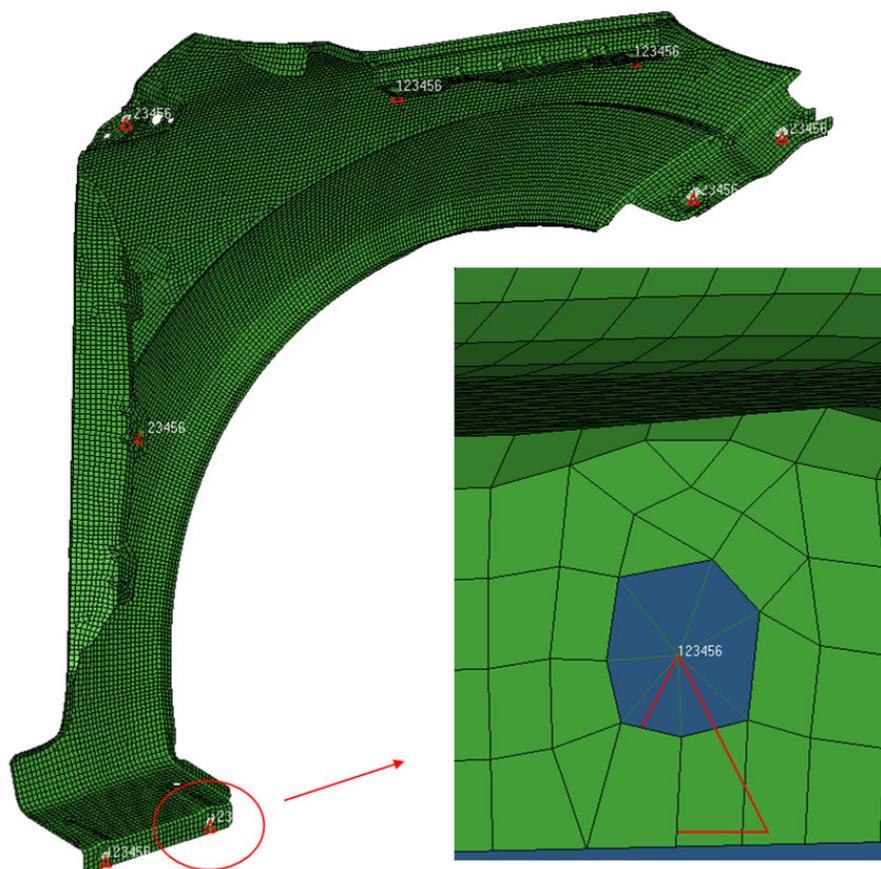


Figura 3.5 – Ponto de fixação engastado com os graus de liberdade restritos.

Com a malha de elementos finitos da peça criada e os engastes representados avança-se para as configurações das análises para avaliação dos critérios iniciais (frequência, flexão e massa). O programa de cálculo selecionado para estas análises de elementos finitos foi o *software Nastran®*, de análises lineares.

3.3.1 Simulação do Critério Frequência

Para a avaliação de frequência foi estabelecida uma análise modal com objetivo de encontrar as 10 primeiras frequências naturais da peça e suas respectivas formas modais (considerando a condição de contorno da mesma fixada no veículo). Estes valores dos modos, quando iguais a frequências excitadoras externas, causam ressonância no paralamas.

Neste cálculo é necessário alimentar o programa com os dados de espessura e material do componente em questão. Primeiramente será analisado o aço como base de comparação e posteriormente os seis materiais pré-selecionados da Tabela 3.3.

Foi explicitado na introdução desta dissertação que serão considerados apenas os dados lineares dos materiais, assim, o *software* requer para cada material: o módulo de elasticidade ou módulo de *Young* (E), a massa específica do material (ρ) e o coeficiente de *Poisson* (ν) ou o módulo de Cisalhamento (G).

A Figura 3.6 expõe a área do paralamas onde o primeiro modo de vibração atua. A forma modal é apresentada pela diferença do gradiente de cores, partindo do azul (região com menor influência) e culminando no vermelho (área mais afetada).

A simulação apontou o primeiro modo de vibração na região do meio da peça. Associando este fator à distribuição dos pontos de fixação do paralamas é possível afirmar que esta é a porção mais flexível da peça, portanto a carga determinada para o teste de flexão deve ser imposta na mesma. É importante salientar que o primeiro modo de vibração sempre apresentará a mesma representação modal. O que será alterado é o valor da frequência do primeiro modo, de acordo com a espessura e o material aplicado na peça.

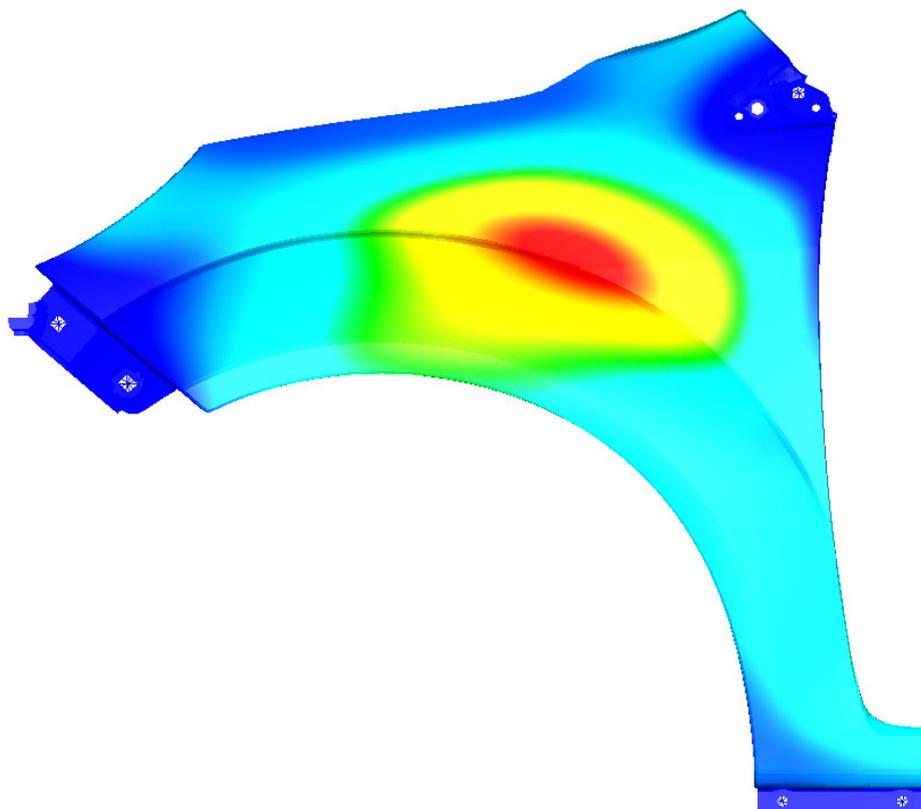


Figura 3.6 – Representação modal do primeiro modo de vibração do paralama.

3.3.2 Simulação do Critério Deformação

Na análise do critério de deformação é necessário conhecer a região mais flexível da peça onde há a aplicação da força “X” newtons. O procedimento para encontrá-la foi apresentado na Seção 3.3.1. A força deve ser distribuída em uma área com “Y” centímetros quadrados exatamente nesta porção da peça. O software simula o deslocamento provocado por esta carga distribuída e entrega como resposta o ponto de maior flexão e o seu respectivo valor “ Δ ”.

Igualmente à simulação dos modos de vibração, neste cálculo o *software* necessita ser alimentado com os dados de espessura, E , ρ e ν ou G do material simulado. Neste critério cada material apresentará valores de deformação distintos para cada uma das suas diversas espessuras.

A Figura 3.7 ilustra o paralama submetido à carga aplicada. A representação das cores na ilustração tem a mesma função da análise de vibração, isto é, na porção de cor azul o valor de deformação medido é muito

baixo comparando com os valores encontrados na área vermelha, servindo o gradiente entre estas duas cores como aumento gradual da deformação. A imagem apresenta deformação exagerada com relação à condição real para facilitar a visualização do fenômeno.

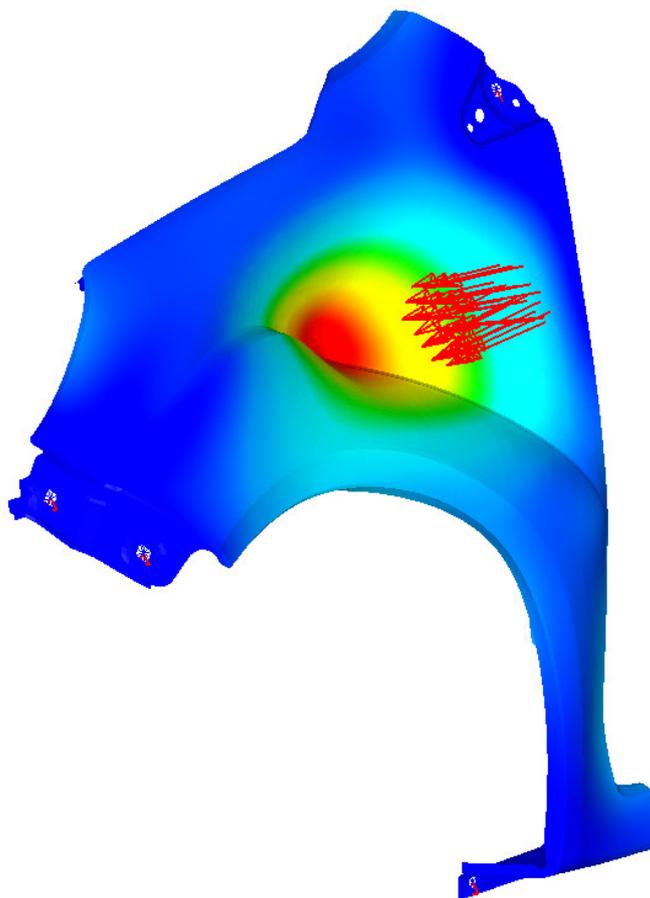


Figura 3.7 – Deformação do paralama com a aplicação da carga distribuída.

3.3.3 Simulação do Critério Massa

O cálculo da previsão da massa (m) da peça em questão é relativamente simples para o programa quando comparado com os dois anteriores (seções 3.3.1 e 3.3.2), tanto em tempo de processamento quanto em tamanho do arquivo de resposta. Este procedimento exige apenas o volume (V) da peça e a massa específica do material (ρ).

O volume (V) é conseguido com a multiplicação da área (A) da peça pela espessura (e) estudada e, por sua vez, a massa é obtida multiplicando este volume (V) encontrado pela massa específica (ρ) do material. As equações abaixo explicam o cálculo do volume (V) e da massa (m) da peça.

$$V = A * e$$

$$m = V * \rho$$

Onde:

V = volume da peça

A = área da peça

e = espessura da peça

m = massa

ρ = massa específica do material

3.4 Simulações Aplicando os Materiais na Peça

Com os testes, restrições e condições de contorno definidos avança-se ao passo dos testes com os materiais selecionados. O primeiro material simulado é o aço, que serve como referência aos demais. Em seguida os polímeros pré-selecionados, listados na Tabela 3.3.

3.4.1 Simulação da Peça com o Aço

A peça atual de produção é fabricada com chapas de aço, apresentando espessura (e) de 0,7mm. Os valores do módulo de elasticidade, coeficiente de *Poisson* e massa específica considerados na análise foram, respectivamente, $E=210\text{GPa}$, $\nu=0,3$ e $\rho=7,85\text{g/cm}^3$ (CALLISTER, 2007). A Tabela 3.6 mostra os

resultados encontrados com o aço juntamente com os valores de restrição para os critérios iniciais.

Tabela 3.6 – Resultados encontrados nas simulações da peça em aço.

Resultados Encontrados nas Simulações da Peça em Aço			
	<i>Frequência do 1º Modo de Vibração (Hz)</i>	<i>Deslocamento com a Carga Aplicada (mm)</i>	<i>Previsão de Massa da Peça (Kg)</i>
Peça Simulada em Aço (0,7mm)	107,06	0,184 Δ	2,162
Valores de Aceitação	> 50Hz	< 1 Δ	< 1Kg ou 40% comparando com o aço

Percebe-se pela tabela que o aço atende os critérios, mas apresenta massa elevada. Pela restrição imposta as peças simuladas com os termoplásticos não poderão apresentar massa maior que 1,297Kg, ou seja, 40% de redução da massa da peça em aço.

3.4.2 Simulação da Peça com os Termoplásticos Pré-Selecionados

A escolha das espessuras iniciais é um passo importante no estudo realizado. A experiência em projetos de peças plásticas juntamente com o *benchmarking* das espessuras encontradas no mercado guia o projeto a fim de evitar futuros problemas de qualidade na fabricação das peças. As informações catalogadas possibilitam estabelecer quatro espessuras iniciais de análise (e) aos termoplásticos: 2,1mm; 2,3mm; 2,5mm e 2,7mm.

A pré-seleção dos materiais termoplásticos foi narrada com detalhes na Seção 3.1 deste trabalho, onde estão contidos o *grade* comercial e a composição dos termoplásticos. Os dados técnicos bem como as propriedades

físicas, térmicas, mecânicas e de processamento dos termoplásticos estudados estão contidas nas folhas de dados dos materiais no Anexo A da dissertação.

3.4.2.1 *Xenoy X5410*®

O *Xenoy X5410*® é uma blenda composta por PC, PET e reforçada com complemento mineral⁸, fornecida pela empresa *Sabic Innovative Plastics*. Os dados do material necessários às simulações se encontram na carta de dados do material, Anexo A.

A Tabela 3.7 expõe os resultados das quatro espessuras juntamente com os valores de aceitação. O gráfico da Figura 3.8 permite ver a diferença de comportamento entre as quatro espessuras por meio das cores das linhas. Esta figura pode ser melhor visualizada no Apêndice A.

Tabela 3.7 – Resultados das simulações da peça em *Xenoy X5410*®.

Resultados das Simulações da Peça em <i>Xenoy X5410</i>®			
	<i>Frequência do 1º Modo de Vibração (Hz)</i>	<i>Deslocamento com a Carga Aplicada (mm)</i>	<i>Previsão de Massa da Peça (Kg)</i>
<i>Xenoy X5410</i> ® 2,1mm	58,10	1,354Δ	1,049
<i>Xenoy X5410</i> ® 2,3mm	60,88	1,126Δ	1,149
<i>Xenoy X5410</i> ® 2,5mm	63,55	0,952Δ	1,249
<i>Xenoy X5410</i> ® 2,7mm	66,13	0,814Δ	1,349
Valores de Aceitação	> 50Hz	< 1Δ	< 1,297Kg

⁸ O fabricante não disponibiliza a substância mineral e a porcentagem presente na blenda. Sabe-se por experiência que cargas minerais normalmente são representadas por talco ou carbonato de cálcio.

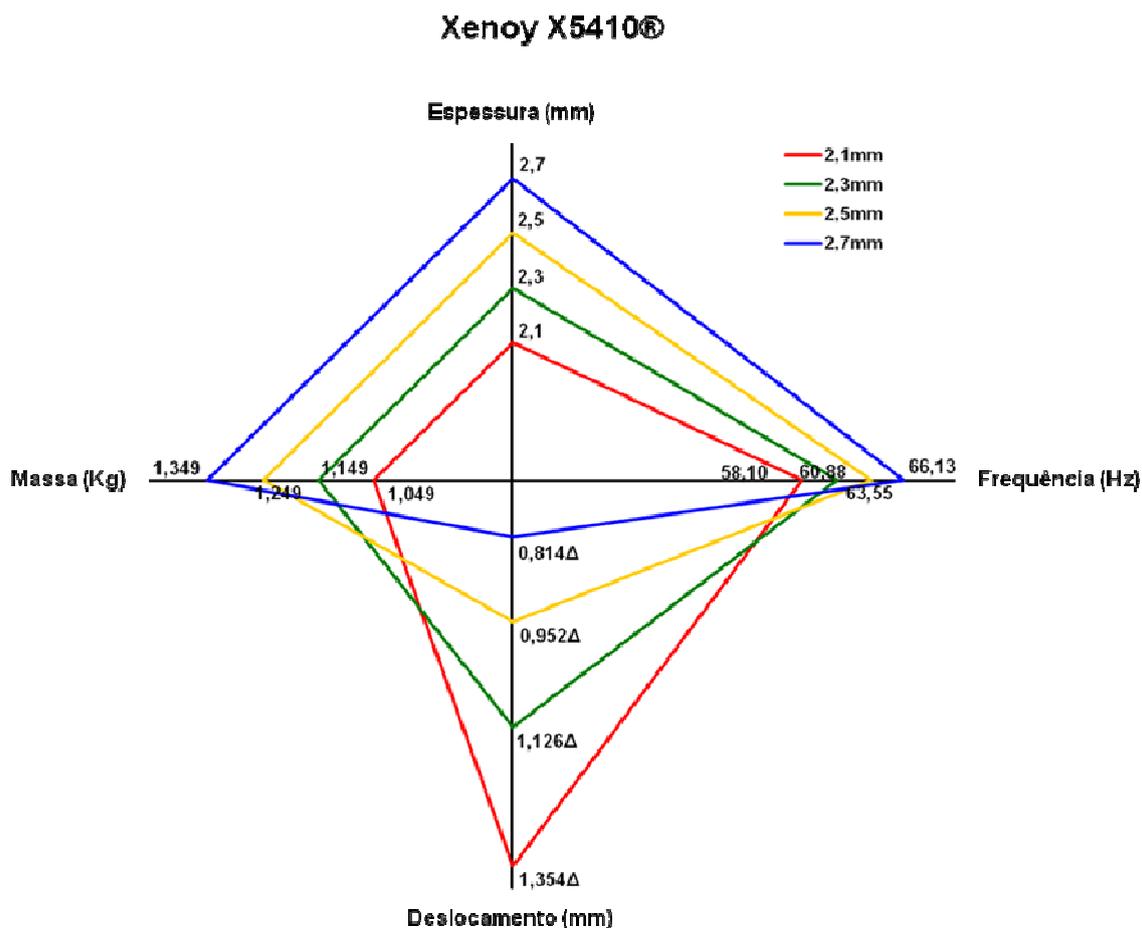


Figura 3.8 – Resultados gráficos para o material *Xenoy X5410®* nas espessuras 2,1mm; 2,3mm; 2,5mm e 2,7mm.

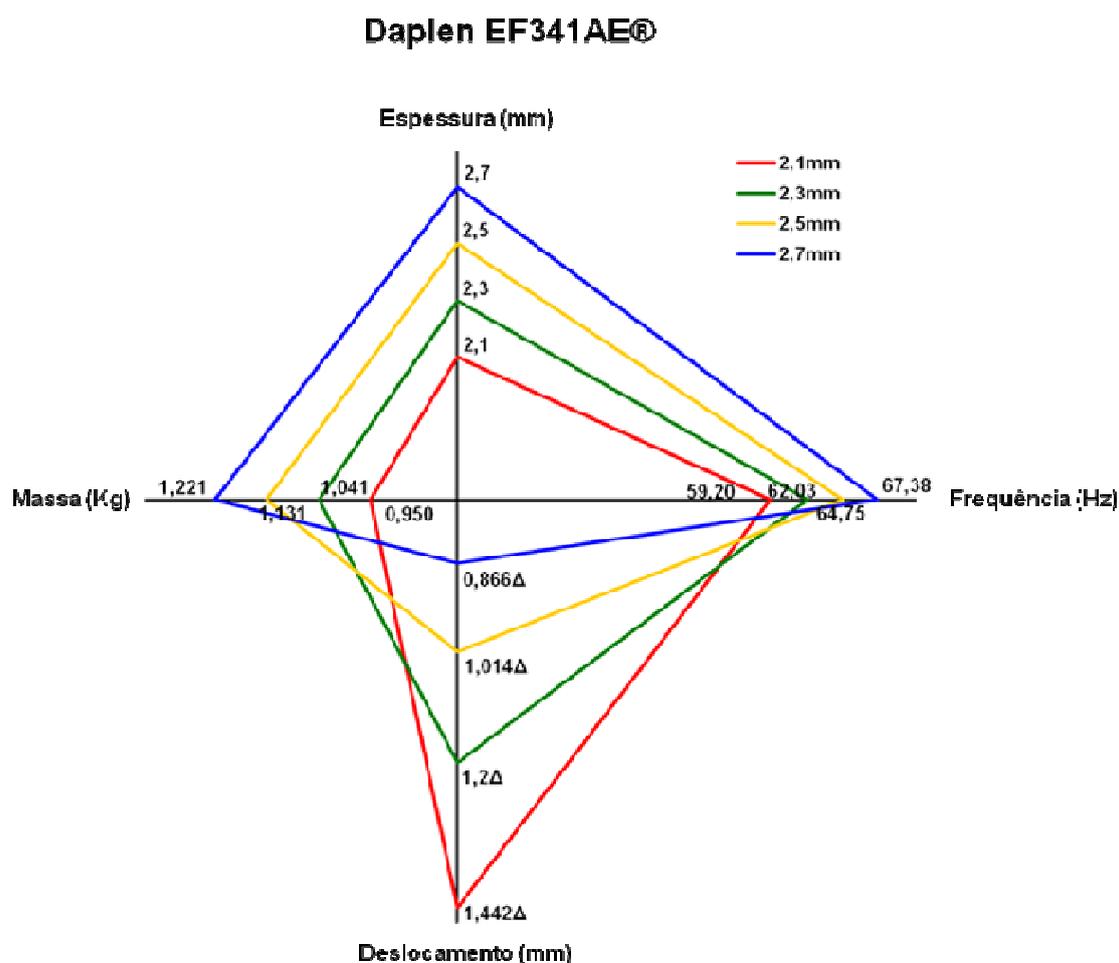
3.4.2.2 *Daplen EF341AE®*

Foi abordado na revisão da bibliografia que o PP pertence aos *commodities* na classificação dos plásticos. Este material puro não possui as características exigidas pela indústria de automóveis. Por isto quando se opta em trabalhar com PP é preciso considerá-lo em blendas com outros materiais, não excluindo, porém, a competitividade de custo apresentado pelo mesmo.

Esta blenda, fornecida pela empresa *Borealis Group*, é composta por PP, EPDM e 30% de reforço mineral (informação presente na carta do material, Anexo A). A Tabela 3.8 relata os resultados encontrados nas simulações comparando com os valores de aceitação e a Figura 3.9, também presente no Apêndice A, expõe graficamente as diferenças entre as quatro espessuras.

Tabela 3.8 – Resultados das simulações da peça em *Daplen EF341AE®*.

Resultados das Simulações da Peça em <i>Daplen EF341AE®</i>			
	<i>Frequência do 1º Modo de Vibração (Hz)</i>	<i>Deslocamento com a Carga Aplicada (mm)</i>	<i>Previsão de Massa da Peça (Kg)</i>
<i>Daplen EF341AE®</i> 2,1mm	59,20	1,442Δ	0,950
<i>Daplen EF341AE®</i> 2,3mm	62,03	1,200Δ	1,041
<i>Daplen EF341AE®</i> 2,5mm	64,75	1,014Δ	1,131
<i>Daplen EF341AE®</i> 2,7mm	67,38	0,866Δ	1,221
Valores de Aceitação	> 50Hz	< 1Δ	< 1,297Kg

Figura 3.9 – Resultados gráficos para o material *Daplen EF341AE®* nas espessuras 2,1mm; 2,3mm; 2,5mm e 2,7mm.

3.4.2.3 Noryl GTX 974®

O *Noryl GTX 974®* é uma blenda composta por PPE, PS e PA, sem reforços minerais ou fibras, fornecida pela empresa *Sabic Innovative Plastics*. Os dados do material necessários às simulações se encontram na carta de dados do material, Anexo A.

É sabido que plásticos sem cargas minerais ou fibras na composição apresentam valores menores de propriedades. Este trabalho mostrou a comparação entre os três *grades* de *Noryl GTX®* na Tabela 3.4. Este fato se comprova visto que nenhuma das quatro espessuras iniciais apresentou valores positivos nas simulações, diferentemente dos outros cinco termoplásticos estudados

A Tabela 3.9 expõe os resultados das quatro espessuras juntamente com os valores de aceitação. O gráfico da Figura 3.10 permite ver a diferença de comportamento entre as quatro espessuras por meio das cores das linhas. A figura ampliada está explícita no Apêndice A.

Tabela 3.9 – Resultados das simulações da peça em *Noryl GTX 974®*.

Resultados das Simulações da Peça em <i>Noryl GTX 974®</i>			
	<i>Frequência do 1º Modo de Vibração (Hz)</i>	<i>Deslocamento com a Carga Aplicada (mm)</i>	<i>Previsão de Massa da Peça (Kg)</i>
<i>Noryl GTX 974®</i> 2,1mm	49,67	2,180Δ	0,892
<i>Noryl GTX 974®</i> 2,3mm	52,05	1,816Δ	0,977
<i>Noryl GTX 974®</i> 2,5mm	54,34	1,534Δ	1,062
<i>Noryl GTX 974®</i> 2,7mm	56,54	1,310Δ	1,147
Valores de Aceitação	> 50Hz	< 1Δ	< 1,297Kg

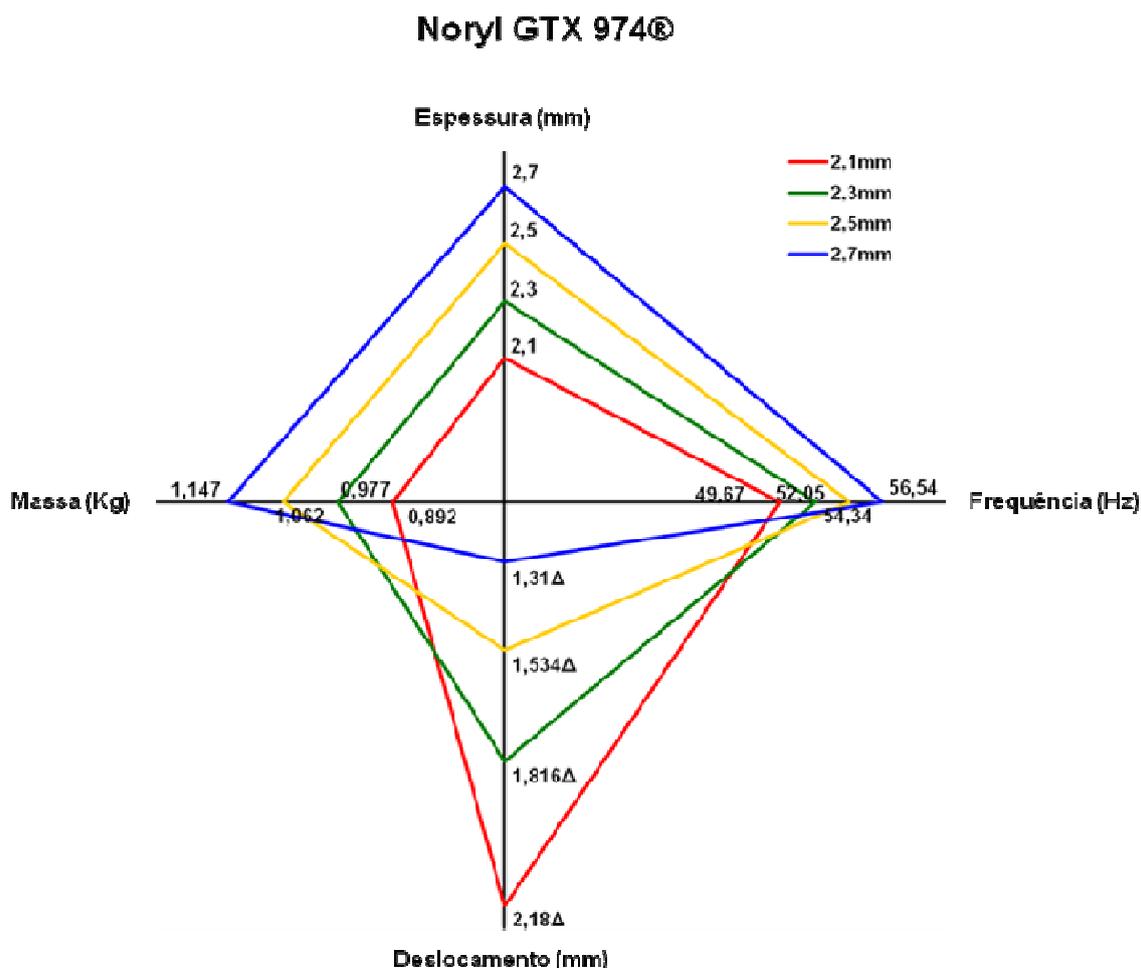


Figura 3.10 – Resultados gráficos para o material *Noryl GTX 974®* nas espessuras 2,1mm; 2,3mm; 2,5mm e 2,7mm.

3.4.2.4 *Noryl GTX 975®*

O *Noryl GTX 975®* é uma blenda composta por PPE, PS e PA, da mesma forma que a blenda *Noryl GTX 974®*, mais 18% de aditivação mineral para reforço⁹. É fornecido pela empresa *Sabic Innovative Plastics*.

A Tabela 3.10 expõe os resultados das quatro espessuras juntamente com os valores de aceitação. O gráfico da Figura 3.11 permite ver a diferença de comportamento entre as quatro espessuras por meio das cores das linhas. Esta figura em tamanho ampliado pode ser consultada no Apêndice A desta dissertação.

⁹ Informação disponível na carta do material, Anexo A.

Tabela 3.10 – Resultados das simulações da peça em *Noryl GTX 975®*.

Resultados das Simulações da Peça em <i>Noryl GTX 975®</i>			
	<i>Frequência do 1º Modo de Vibração (Hz)</i>	<i>Deslocamento com a Carga Aplicada (mm)</i>	<i>Previsão de Massa da Peça (Kg)</i>
<i>Noryl GTX 975®</i> 2,1mm	68,03	1,004Δ	1,033
<i>Noryl GTX 975®</i> 2,3mm	71,29	0,836Δ	1,131
<i>Noryl GTX 975®</i> 2,5mm	74,42	0,706Δ	1,229
<i>Noryl GTX 975®</i> 2,7mm	77,44	0,604Δ	1,328
Valores de Aceitação	> 50Hz	< 1Δ	< 1,297Kg

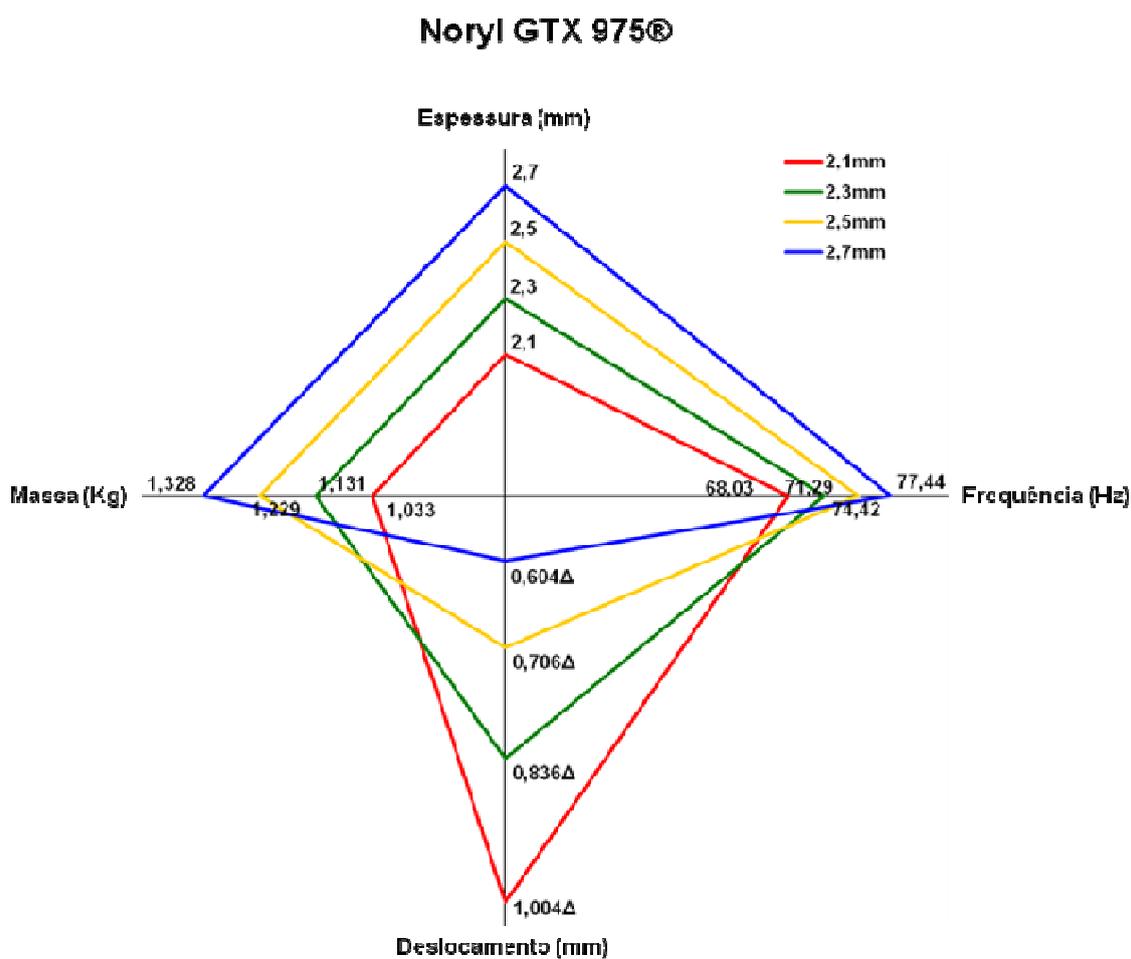


Figura 3.11 – Resultados gráficos para o material *Noryl GTX 975®* nas espessuras 2,1mm; 2,3mm; 2,5mm e 2,7mm.

3.4.2.5 Noryl GTX 8730®

O *Noryl GTX 8730®* é uma blenda composta por PPE, PS e PA, da mesma forma que as outras duas blends de *Noryl GTX®*, mais fibras de vidro curtas reforçando este material. É fornecido pela empresa *Sabic Innovative Plastics*. Os dados do material necessários às simulações se encontram na carta de dados do material, Anexo A.

Este termoplástico não foi encontrado em automóveis aplicado em painéis externos. A folha de dados do material também não indica informações sobre esta utilização. Optou-se por estudar esta blenda pelo fato da fibra de vidro enriquecer as propriedades do material, fato este comprovado pelos números abaixo.

Como não existem painéis fabricados com tal blenda, não se tem referência sobre quesitos importantes como qualidade de acabamento superficial. Possivelmente seja necessário uma co-injeção com outro material, visto que este tipo de avaliação é feita somente com um protótipo em mãos.

A Tabela 3.11 expõe os resultados das quatro espessuras juntamente com os valores de aceitação. O gráfico da Figura 3.12 (Apêndice A) permite ver a diferença de comportamento entre as quatro espessuras.

Tabela 3.11 – Resultados das simulações da peça em *Noryl GTX 8730®*.

Resultados das Simulações da Peça em <i>Noryl GTX 8730®</i>			
	<i>Frequência do 1º Modo de Vibração (Hz)</i>	<i>Deslocamento com a Carga Aplicada (mm)</i>	<i>Previsão de Massa da Peça (Kg)</i>
<i>Noryl GTX 8730®</i> 2,1mm	106,71	0,372Δ	1,132
<i>Noryl GTX 8730®</i> 2,3mm	111,82	0,310Δ	1,240
<i>Noryl GTX 8730®</i> 2,5mm	116,73	0,262Δ	1,347
<i>Noryl GTX 8730®</i> 2,7mm	121,46	0,224Δ	1,455
Valores de Aceitação	> 50Hz	< 1Δ	< 1,297Kg

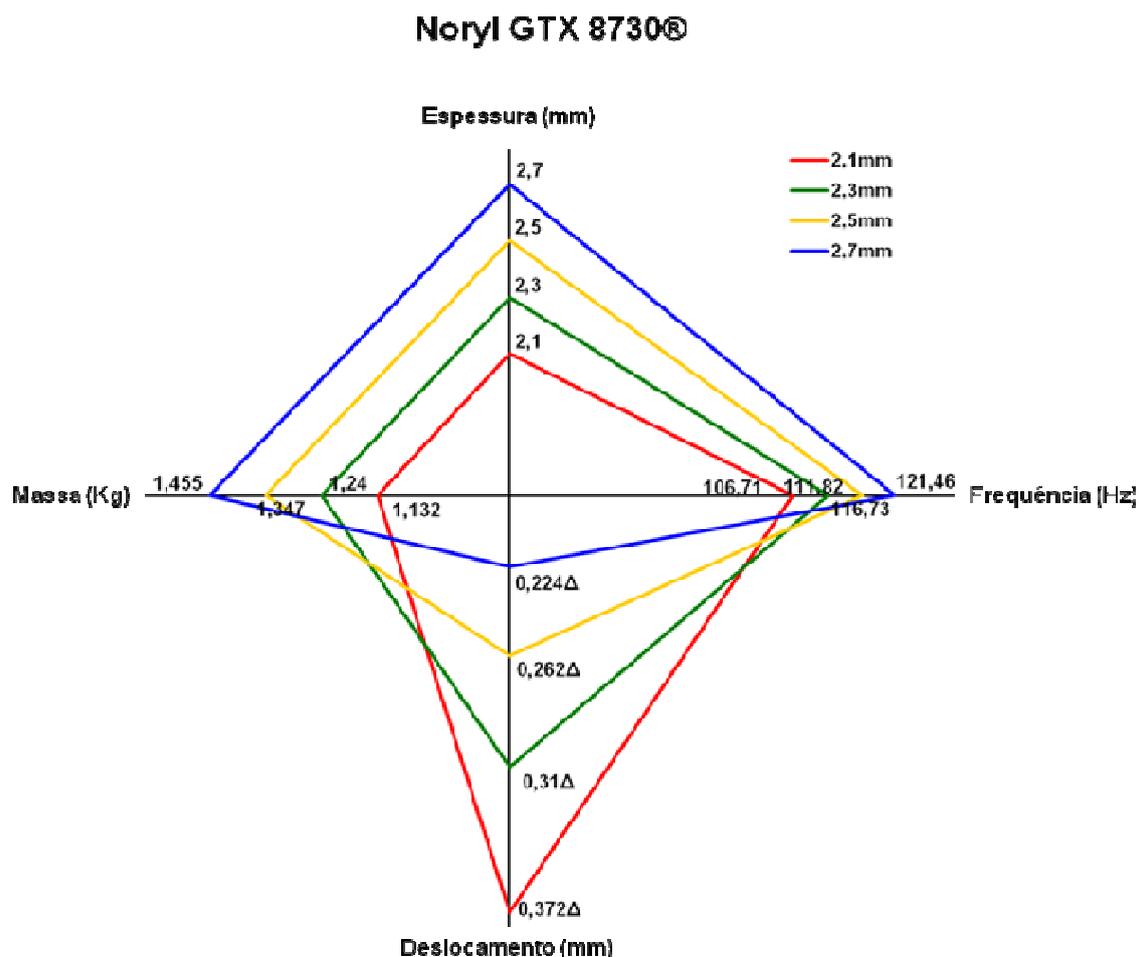


Figura 3.12 – Resultados gráficos para o material *Noryl GTX 8730®* nas espessuras 2,1mm; 2,3mm; 2,5mm e 2,7mm.

3.4.2.6 *Technyl A 238P5 M25®*

O último termoplástico simulado é o *Technyl A 238P5 M25®*. Esta é uma blenda composta por PA e carregamento mineral como reforço¹⁰. É fornecido pela empresa *Rhodia Engineering Plastics*. Os dados do material necessários às simulações se encontram na carta de dados do material, Anexo A.

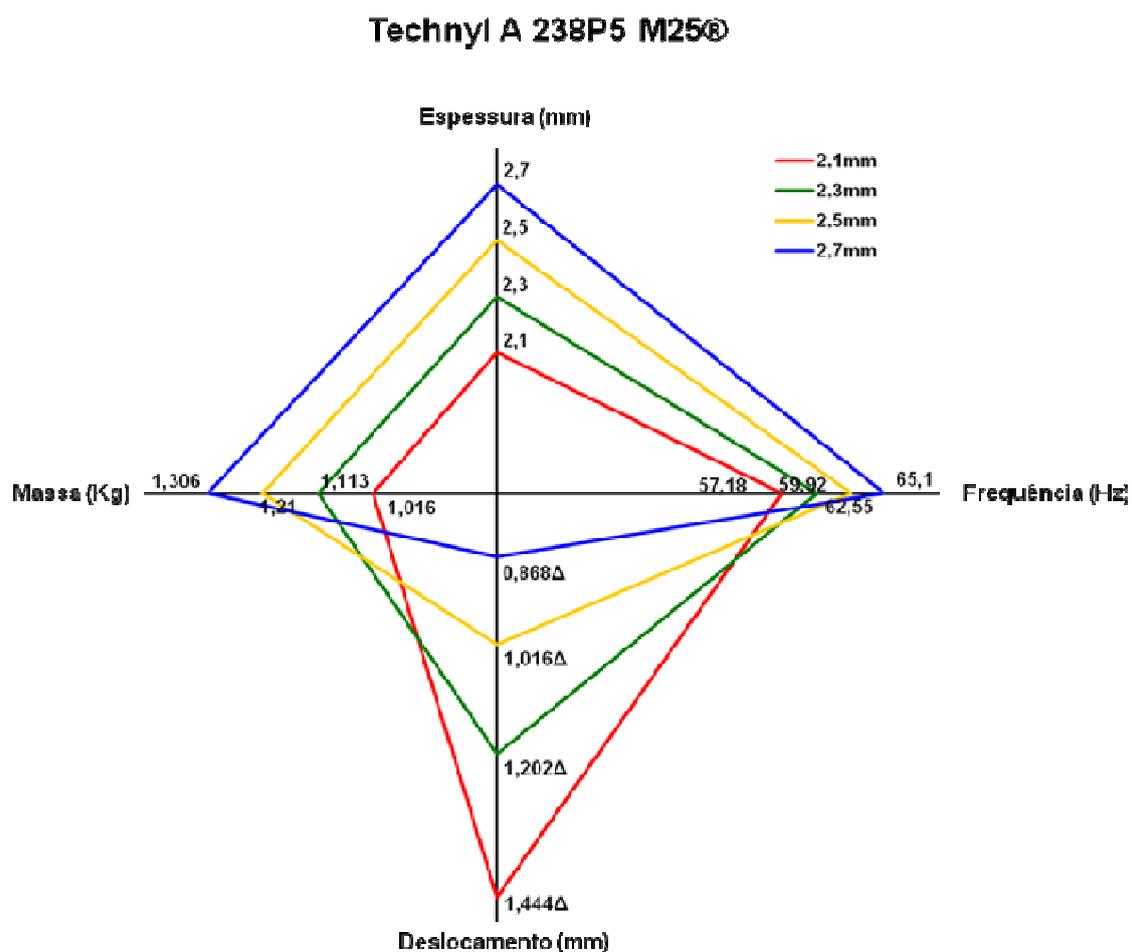
A Tabela 3.12 expõe os resultados das quatro espessuras juntamente com os valores de aceitação. O gráfico da Figura 3.13 permite ver a diferença de comportamento entre as quatro espessuras por meio das cores das linhas¹¹.

¹⁰ A carta do material, Anexo A, apresenta carga mineral de 25%.

¹¹ A figura se encontra também no Apêndice A da dissertação.

Tabela 3.12 – Resultados das simulações da peça em *Technyl A 238P5 M25®*.

Resultados das Simulações da Peça em <i>Technyl A 238P5 M25®</i>			
	<i>Frequência do 1º Modo de Vibração (Hz)</i>	<i>Deslocamento com a Carga Aplicada (mm)</i>	<i>Previsão de Massa da Peça (Kg)</i>
<i>Technyl A 238P5 M25® 2,1mm</i>	57,18	1,444Δ	1,016
<i>Technyl A 238P5 M25® 2,3mm</i>	59,92	1,202Δ	1,113
<i>Technyl A 238P5 M25® 2,5mm</i>	62,55	1,016Δ	1,210
<i>Technyl A 238P5 M25® 2,7mm</i>	65,10	0,868Δ	1,306
Valores de Aceitação	> 50Hz	< 1Δ	< 1,297Kg

Figura 3.13 – Resultados gráficos para o material *Technyl A 238P5 M25®* nas espessuras 2,1mm; 2,3mm; 2,5mm e 2,7mm.

4 DISCUSSÕES DOS RESULTADOS E CRITÉRIOS ADICIONAIS

Este capítulo se destina às discussões sobre os valores obtidos nas simulações dos critérios iniciais com os termoplásticos e as comparações tanto com os valores colhidos para o aço quanto com os valores de aceitação impostos pela empresa.

Também trata dos critérios complementares aos requisitos iniciais (como fabricação, custos, printabilidade) que servirão de auxílio à ponderação na indicação do material mais adequado ao paralamá.

4.1 Desempenho Encontrado nas Simulações

Os resultados das simulações dos requisitos iniciais foram expostos no capítulo anterior, compilados por material. Aqui serão apresentados os resultados por requisito e em cada espessura analisada, por meio de gráficos de barras, possibilitando comparar os três critérios iniciais para cada material e em cada uma das quatro espessuras iniciais adotadas, como segue nas seções seguintes.

4.1.1 Frequência do Primeiro Modo de Vibração

O valor de aceitação para a frequência do primeiro modo de vibração foi estabelecido no capítulo 3. Todas as espessuras dos termoplásticos que não atingirem 50Hz serão descartadas.

As Figuras 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4 mostram, respectivamente, os gráficos com os valores de frequência do primeiro modo de vibração para as quatro espessuras estudadas (2,1mm; 2,3mm; 2,5mm e 2,7mm). Tais gráficos também estão disponíveis no Apêndice B para melhor visualização.

2,1mm de Espessura vs. Frequência do 1º Modo de Vibração

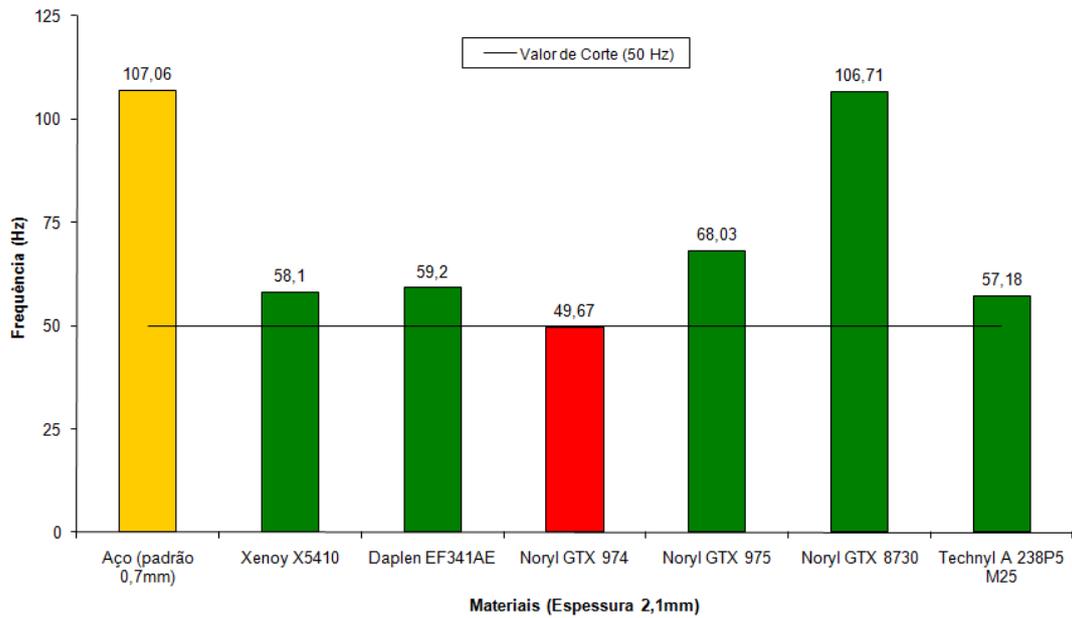


Figura 4.1 – Gráfico frequência do 1º modo de vibração para 2,1mm de espessura.

2,3mm de Espessura vs. Frequência do 1º Modo de Vibração

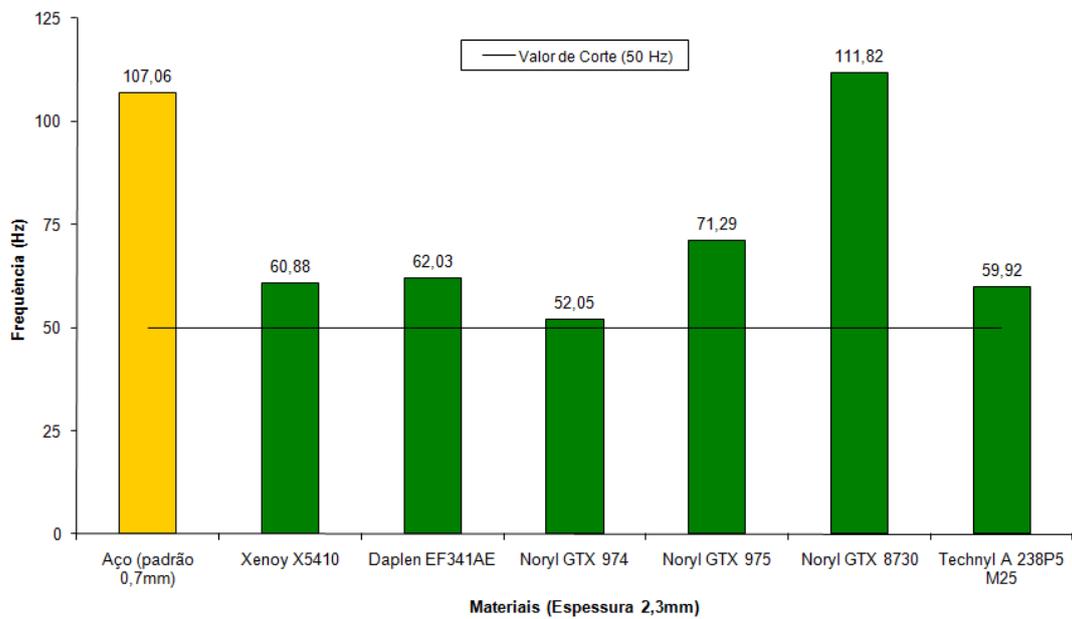


Figura 4.2 – Gráfico frequência do 1º modo de vibração para 2,3mm de espessura.

2,5mm de Espessura vs. Frequência do 1º Modo de Vibração

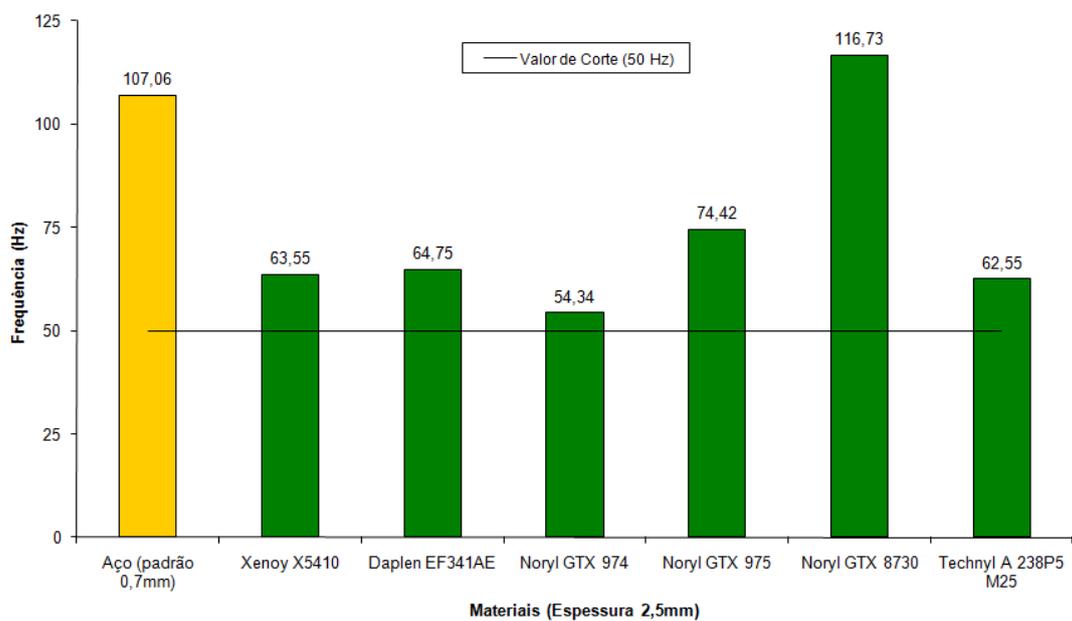


Figura 4.3 – Gráfico frequência do 1º modo de vibração para 2,5mm de espessura.

2,7mm de Espessura vs. Frequência do 1º Modo de Vibração

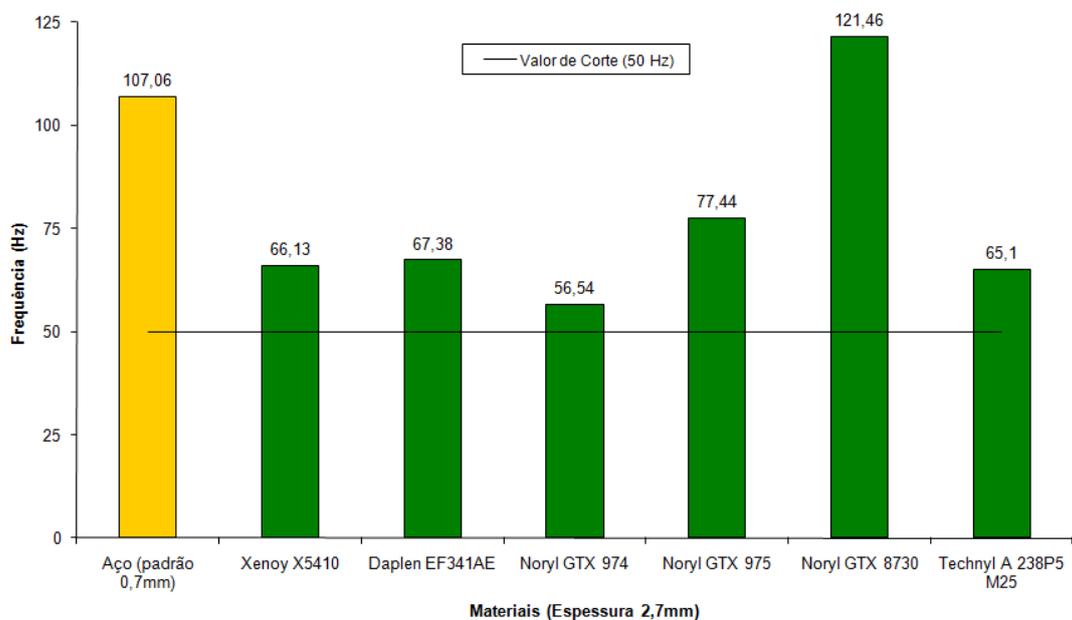


Figura 4.4 – Gráfico frequência do 1º modo de vibração para 2,7mm de espessura.

Percebe-se que para este critério apenas o material *Noryl GTX 974*®, com espessura de 2,1mm, não é aprovado (49,67Hz). Nota-se também que somente o *Noryl GTX 8730*® alcança valores semelhantes ao aço. Este dado permite detectar a diferença de proporção do valor de rigidez destes materiais.

4.1.2 Deslocamento (Flexão) com a Carga Aplicada

O valor de aceitação para o deslocamento após aplicação da carga distribuída foi estabelecido no Capítulo 3. Todas as espessuras dos termoplásticos que não atingirem 1Δ mm serão descartadas.

As Figuras 4.5, 4.6, 4.7 e 4.8 mostram, respectivamente, os gráficos com os valores da flexão para as quatro espessuras estudadas (2,1mm; 2,3mm; 2,5mm e 2,7mm). Tais gráficos também estão disponíveis no Apêndice C para melhor visualização.

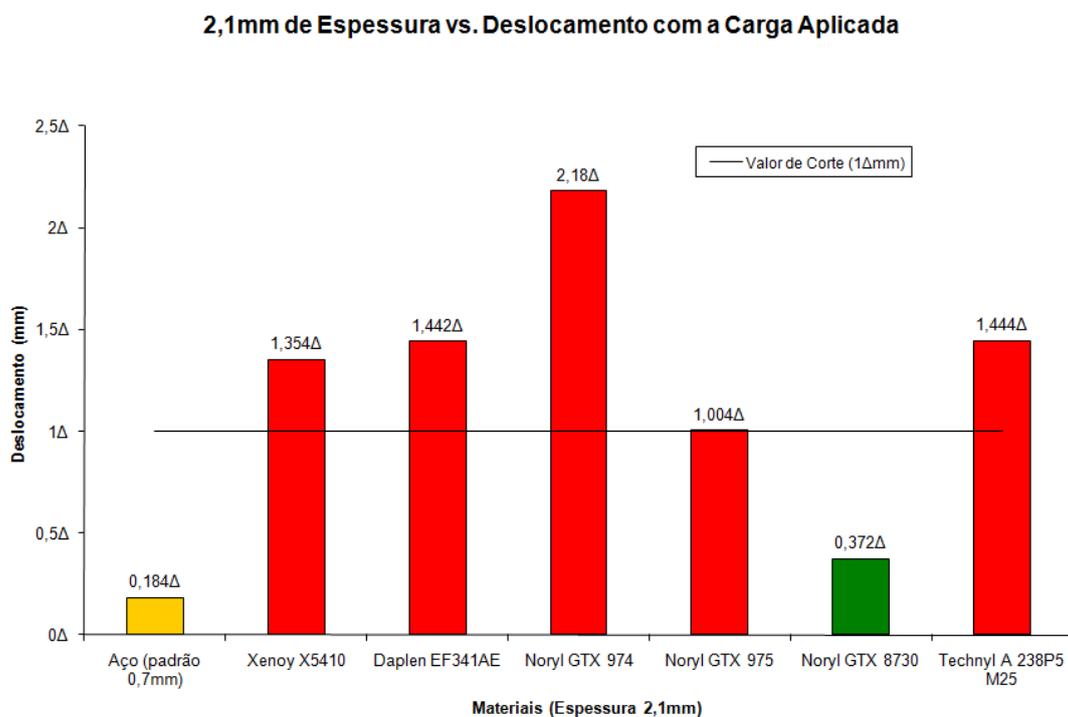


Figura 4.5 – Gráfico flexão (deslocamento) após aplicação da carga para 2,1mm de espessura.

2,3mm de Espessura vs. Deslocamento com a Carga Aplicada

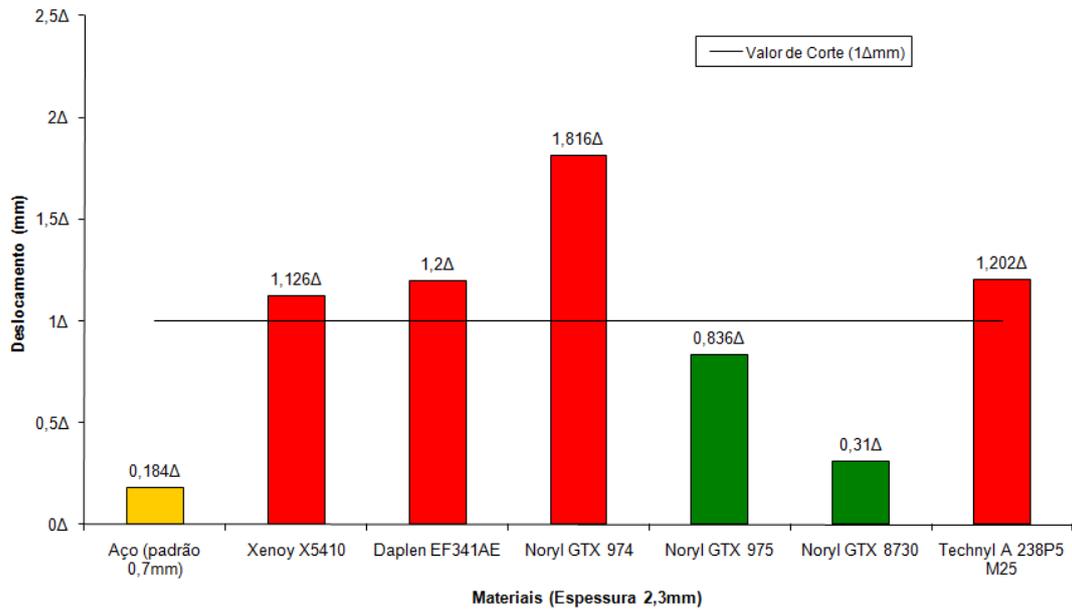


Figura 4.6 – Gráfico flexão (deslocamento) após aplicação da carga para 2,3mm de espessura.

2,5mm de Espessura vs. Deslocamento com a Carga Aplicada

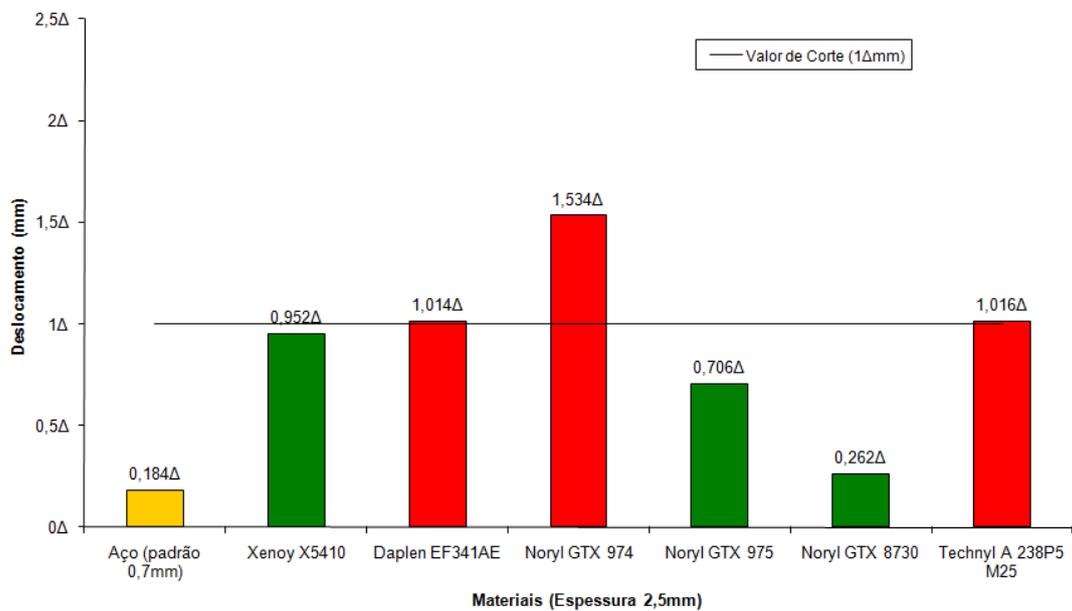


Figura 4.7 – Gráfico flexão (deslocamento) após aplicação da carga para 2,5mm de espessura.

2,7mm de Espessura vs. Deslocamento com a Carga Aplicada

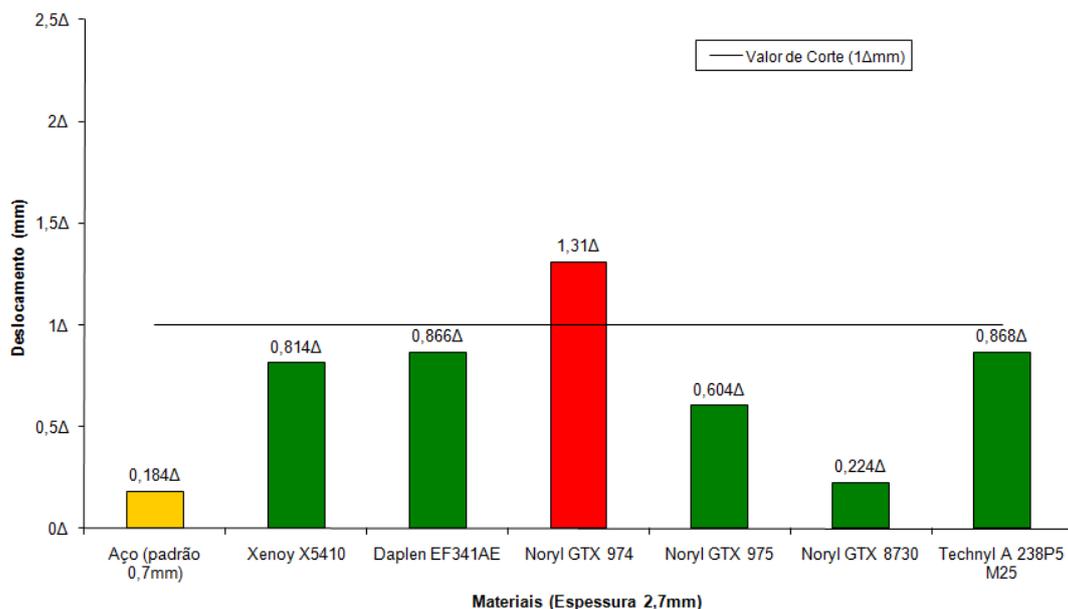


Figura 4.8 – Gráfico flexão (deslocamento) após aplicação da carga para 2,7mm de espessura.

Verifica-se que, para 2,1mm de espessura, apenas o *Noryl GTX 8730®* atende o requisito de deformação, inclusive com o valor de delta semelhante ao aço. Todos os outros termoplásticos são rejeitados. A influência do reforço provindo da complementação da blenda com fibra de vidro confere este comportamento a este material.

Com 2,3mm de espessura o *Noryl GTX 8730®* e o *Noryl GTX 975®* asseguram valores de deformação abaixo do limite imposto pelo requisito inicial.

Na espessura 2,5mm o valor máximo de flexão é atendido pelas blendas *Noryl GTX 8730®*, *Noryl GTX 975®* e *Xenoy X5410®*.

Finalizando as simulações de deslocamento, para 2,7mm de espessura o *Daplen EF341AE®* e o *Technyl A 238P5 M25®* se juntam aos três *grades* anteriores atendendo o valor de corte 1Δmm.

Apenas a blenda *Noryl GTX 974®*, utilizada pela Empresa “B” nos seus modelos, não atende o valor de deslocamento para nenhuma espessura estudada, inclusive apresentando, para a maior espessura, um valor ainda em torno de 30% maior do que o valor de aceitação.

Pode-se atribuir isto ao fato desta blenda ser a única que não apresenta nenhum tipo de carregamento mineral ou reforço com fibras, visto que todos os outros materiais atenderam o critério em alguma das espessuras estudadas.

4.1.3 Previsão de Massa do Componente

O valor de aceitação para a massa foi estabelecido no Capítulo 3, visando reduzir 1Kg ou 40% comparando com a massa da peça fabricada com aço. Todas as espessuras dos termoplásticos que não atingirem 1,297Kg serão descartadas.

As Figuras 4.9, 4.10, 4.11 e 4.12 mostram, respectivamente, os gráficos com os valores da previsão de massa para as quatro espessuras estudadas (2,1mm; 2,3mm; 2,5mm e 2,7mm). Tais gráficos também estão disponíveis no Apêndice D para melhor visualização.

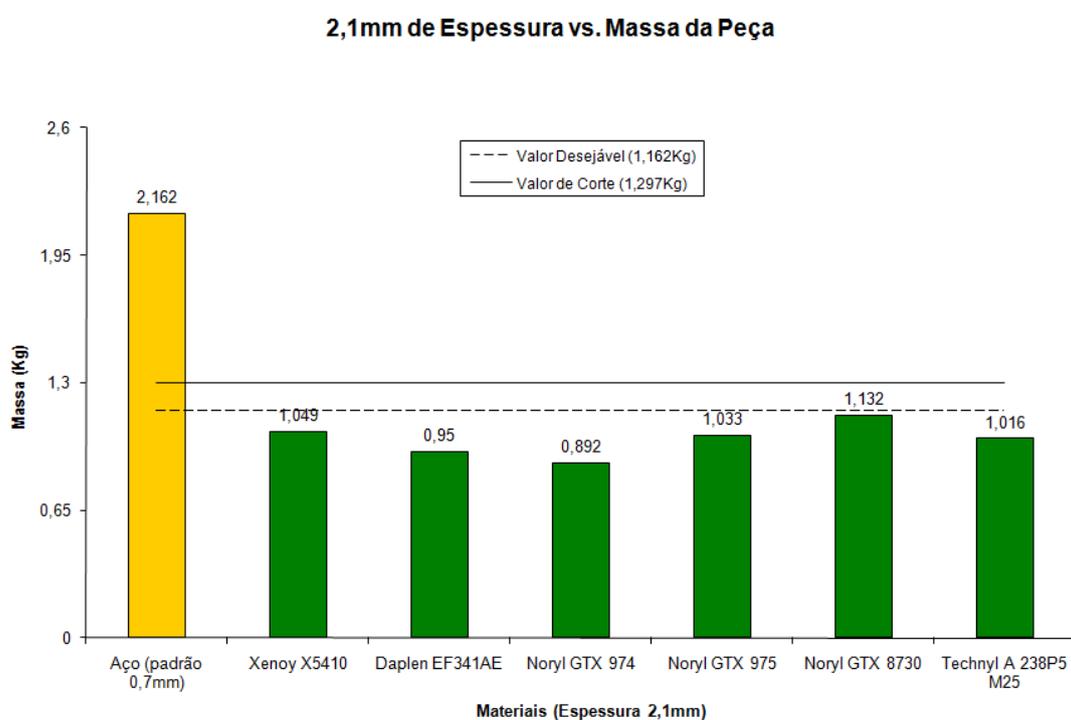


Figura 4.9 – Gráfico com a massa do componente para 2,1mm de espessura.

2,3mm de Espessura vs. Massa da Peça

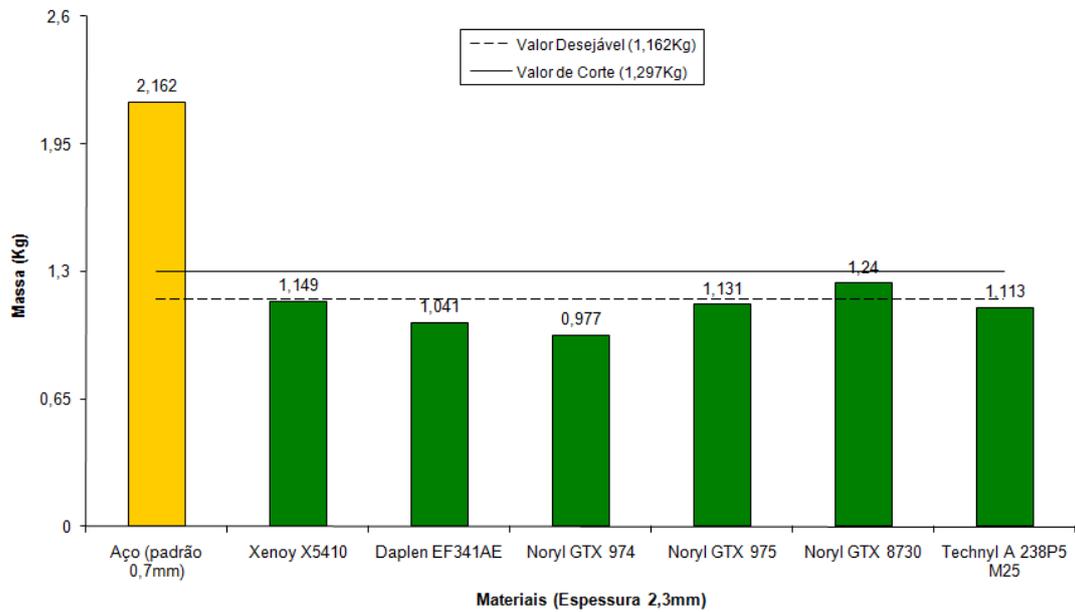


Figura 4.10 – Gráfico com a massa do componente para 2,3mm de espessura.

2,5mm de Espessura vs. Massa da Peça

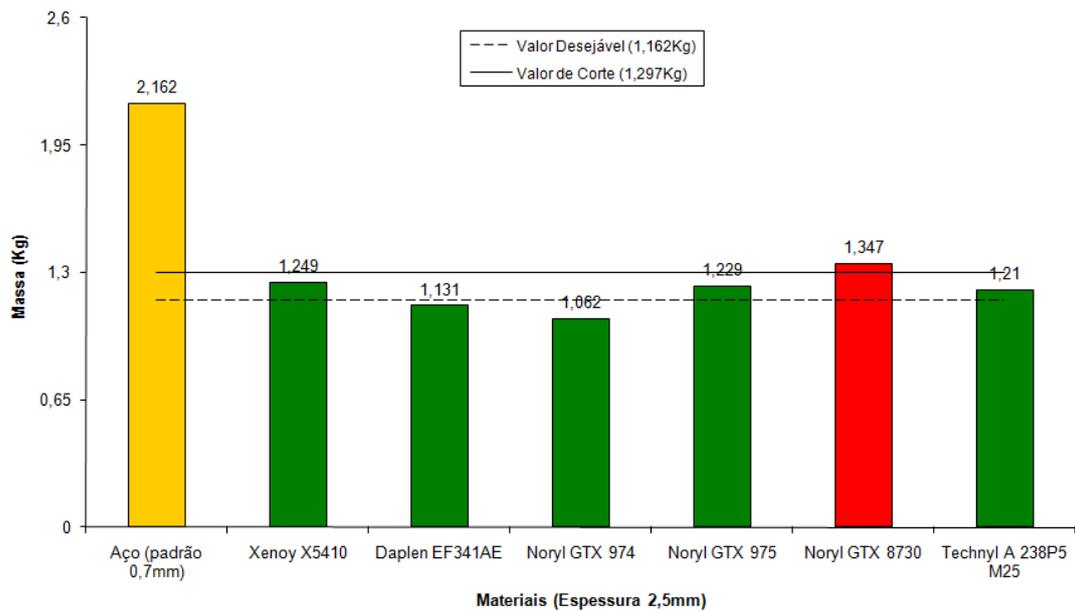


Figura 4.11 – Gráfico com a massa do componente para 2,5mm de espessura.

2,7mm de Espessura vs. Massa da Peça

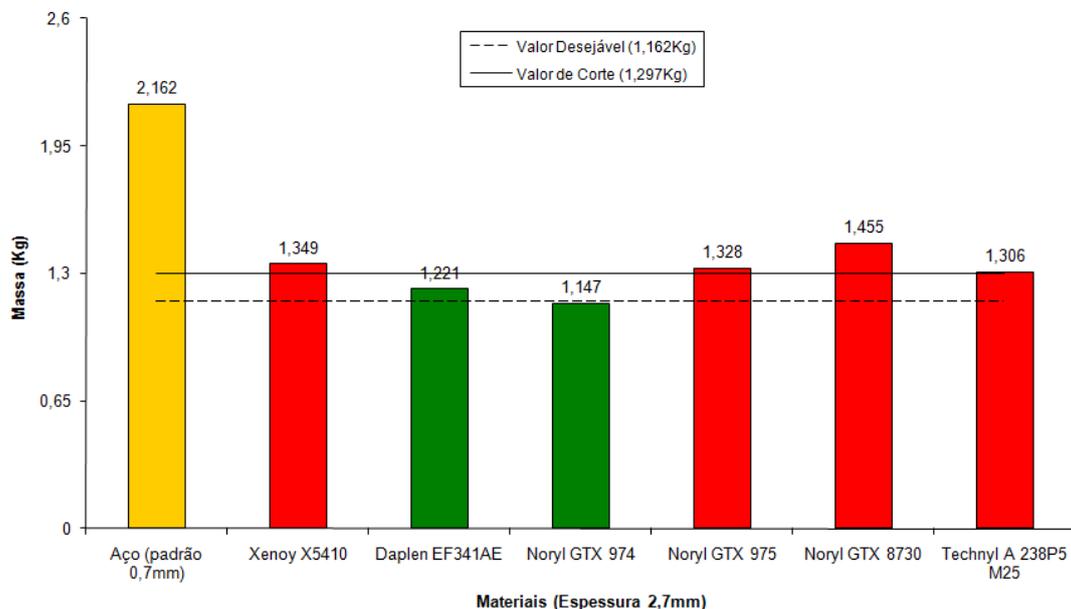


Figura 4.12 – Gráfico com a massa do componente para 2,7mm de espessura.

Na espessura de 2,1mm todos os polímeros apresentam valores de redução de massa maiores que 1Kg com relação à massa do paralama em aço.

Para 2,3mm de espessura apenas o *Noryl GTX 8730*® não possibilita redução de 1Kg, ultrapassando 1,162Kg, porém garante mais do que 40% (1,297Kg) de redução comparando com o aço.

Com 2,5mm de espessura o *Noryl GTX 8730*® é rejeito por reduzir menos que 40%. Os materiais *Xenoy X5410*®, *Noryl GTX 975*® e *Technyl A 238P5 M25*® proporcionam redução menor que 1Kg, mas garantem ainda a faixa entre 1Kg e 40% em relação ao aço.

Para 2,7mm os termoplásticos *Noryl GTX 8730*®, *Xenoy X5410*®, *Noryl GTX 975*® e *Technyl A 238P5 M25*® não atendem o critério de massa imposto. O material *Daplen EF341AE*® reduz a massa mais que 40% e menos que 1Kg em relação ao aço, enquanto o *Noryl GTX 974*® garante redução maior que 1Kg.

4.1.4 Compilação Geral de Todas as Blendas e Todas as Espessuras

Aqui os dados obtidos nas simulações são publicados e comentados com o auxílio da Tabela 4.1. Esta tabela apresenta os campos com os valores do aço em amarelo e os campos com valores dos polímeros em verde para o respectivo valor aceito e vermelho para o reprovado.

Tabela 4.1 – Compilação geral dos resultados obtidos.

Materiais	Espessura (mm)	Frequência 1º modo (Hz)	Deslocamento Carga Aplicada (mm)	Massa (Kg)
Valores de Aceitação	--	50	1Δ	1,297
Aço (padrão 0,7mm)	0,7	107,06	0,184Δ	2,162
Xenoy X5410®	2,1	58,10	1,354Δ	1,049
	2,3	60,88	1,126Δ	1,149
	2,5	63,55	0,952Δ	1,249
	2,7	66,13	0,814Δ	1,349
Daplen EF341AE®	2,1	59,20	1,442Δ	0,950
	2,3	62,03	1,200Δ	1,041
	2,5	64,75	1,014Δ	1,131
	2,7	67,38	0,866Δ	1,221
Noryl GTX 974®	2,1	49,67	2,180Δ	0,892
	2,3	52,05	1,816Δ	0,977
	2,5	54,34	1,534Δ	1,062
	2,7	56,54	1,310Δ	1,147
Noryl GTX 975®	2,1	68,03	1,004Δ	1,033
	2,3	71,29	0,836Δ	1,131
	2,5	74,42	0,706Δ	1,229
	2,7	77,44	0,604Δ	1,328
Noryl GTX 8730®	2,1	106,71	0,372Δ	1,132
	2,3	111,82	0,310Δ	1,240
	2,5	116,73	0,262Δ	1,347
	2,7	121,46	0,224Δ	1,455
Technyl A 238P5 M25®	2,1	57,18	1,444Δ	1,016
	2,3	59,92	1,202Δ	1,113
	2,5	62,55	1,016Δ	1,210
	2,7	65,10	0,868Δ	1,306

O *Xenoy X5410*® é aprovado em todos os requisitos apenas para a espessura de 2,5mm. O material é reprovado no requisito flexão com as espessuras de 2,1mm e 2,3mm e na massa com as espessuras 2,7mm.

O *Daplen EF341AE*® não é aceito nas espessuras 2,1mm; 2,3mm e 2,5mm no critério flexão. Com 2,7mm de espessura este plástico atende aos três critérios.

O *Noryl GTX 974*® não passa no critério deslocamento com nenhuma das 4 espessuras, além de não atender o quesito freqüência na espessura 2,1mm.

O *Noryl GTX 975*® é aprovado em todos os requisitos com as espessuras 2,3mm e 2,5mm. Na espessura 2,1mm o material reprova na flexão e na espessura 2,7mm na massa.

O *Noryl GTX 8730*® recebe aceite nas espessuras 2,1mm e 2,3mm. Nas demais espessuras é rejeitado pela massa elevada.

O *Technyl A 238P5 M25*® também não é aceito em nenhuma espessura, reprovando no critério deslocamento para as três primeiras espessuras (2,1mm; 2,3mm e 2,5mm) e massa para a última (2,7mm).

Esta análise permite eliminar os materiais e espessuras que não atendem aos requisitos impostos pela empresa em questão. Assim, os materiais e as espessuras aprovadas nos três critérios são descritos na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Materiais e espessuras iniciais que atendem aos requisitos.

Materiais	Espessura (mm)	Frequência 1º modo (Hz)	Deslocamento Carga Aplicada (mm)	Massa (Kg)
Valores de Aceitação	--	50	1Δ	1,297
Aço (padrão 0,7mm)	0,7	107,06	0,184Δ	2,162
Xenoy X5410®	2,5	63,55	0,952Δ	1,249
Daplen EF341AE®	2,7	67,38	0,866Δ	1,221
Noryl GTX 975®	2,3	71,29	0,836Δ	1,131
	2,5	74,42	0,706Δ	1,229
Noryl GTX 8730®	2,1	106,71	0,372Δ	1,132
	2,3	111,82	0,310Δ	1,240

O próximo passo é avaliar as espessuras intermediárias entre aquelas que atendem e não atendem os requisitos para cada um dos seis termoplásticos avaliados.

O *Xenoy X5410*® será descartado, pois analisando os dados do material, além de não possibilitar pintura juntamente com a carroçaria, como o *Daplen EF341AE*®, apresenta custo mais elevado, por empregar PC na blenda, além de possuir maior densidade, e por conseqüência, maior massa que este TPO.

O *Daplen EF341AE*® será avaliado com 2,6mm de espessura, uma vez que atende com 2,7mm e não atende com 2,5mm.

O *Noryl GTX 974*®, utilizado pela Empresa “B” em um modelo semelhante ao Modelo “A” estudado neste trabalho será descartado, pois com a maior espessura (2,7mm) ainda fica por volta de 30% acima do limite de flexão.

O *Noryl GTX 975*® será avaliado com 2,2mm de espessura, uma vez que atende com 2,3mm e não atende com 2,1mm.

O *Noryl GTX 8730*® será estudado com 1,9mm de espessura, já que para 2,1mm, o menor valor das espessuras iniciais, fica bastante abaixo dos limites impostos.

O *Technyl A 238P5 M25*® será avaliado com 2,6mm porque com 2,5mm apresenta deslocamento ligeiramente maior que o limite e para 2,7mm apresenta massa algumas gramas maior que o valor aceitável.

A Tabela 4.3 ilustra as resinas com as espessuras intermediárias para a segunda interação de simulações.

Tabela 4.3 – Resinas e espessuras intermediárias para a segunda interação de simulações.

Dados Selecionados para Segunda Interação de Simulações	
Resina	Espessura
<i>Daplen EF341AE</i> ®	2,6mm
<i>Noryl GTX 975</i> ®	2,2mm
<i>Noryl GTX 8730</i> ®	1,9mm
<i>Technyl A 238P5 M25</i> ®	2,6mm

4.2 Estudo das Espessuras Intermediárias

Na segunda interação foram realizadas as mesmas simulações descritas no Capítulo 3 utilizando os materiais e as espessuras listados na Tabela 4.3 da seção anterior, assim como todo o procedimento de compilação dos resultados. A Tabela 4.4 descreve os resultados encontrados na segunda interação.

Tabela 4.4 – Compilação dos resultados oriundos da segunda interação de simulações.

Materiais	Espessura (mm)	Frequência 1º modo (Hz)	Deslocamento Carga Aplicada (mm)	Massa (Kg)
Valores de Aceitação	--	50	1Δ	1,297
Aço (padrão 0,7mm)	0,7	107,06	0,184Δ	2,162
Daplen EF341AE®	2,6	66,08	0,936Δ	1,176
Noryl GTX 975®	2,2	69,67	0,914Δ	1,082
Noryl GTX 8730®	1,9	101,39	0,456Δ	1,024
Technyl A 238P5 M25®	2,6	63,83	0,938Δ	1,258

Como pode-se perceber pela tabela acima, ao final da segunda interação as quatro resinas com as respectivas espessuras apontadas atendem os limites dos três requisitos simulados. Portanto, os critérios secundários de ponderação serão avaliados considerando somente estes casos.

4.3 Avaliação dos Requisitos de Processo da Peça

Os paralamas são peças de fundamental apelo às vendas dos carros nas concessionárias. Por serem posicionadas na parte frontal do veículo e completarem a interface dianteira com os faróis, para-choque e capuz, estes componentes devem possuir excelente acabamento superficial, sem nenhum tipo de ondulação, ranhura ou efeito “casca de laranja” na pintura.

É necessário assim que todo o processamento do paralamas (fabricação, pintura e montagem) seja bem pensado e projetado para não ocasionar problemas de qualidade em campo depois do lançamento do produto. Esta seção estuda estes fatores bastante específicos quando relacionados a polímeros e os compara com o processamento atual das peças.

4.3.1 Parâmetros de Fabricação

A carroçaria de um veículo de passeio convencional possui variadas peças fabricadas em aço pelo processo de fabricação conhecido como estampagem. Após a fabricação destes componentes os mesmos são soldados ou aparafusados entre si no setor da manufatura conhecido como *bodyshop*, formando a estrutura do carro.

As portas, o capuz do motor, a tampa do bagageiro e os paralamas são fabricados da mesma maneira, porém todos são fixados no automóvel após a estrutura estar finalizada, visto que estes conjuntos não são considerados estruturais. Ou seja, estas partes não conferem rigidez ao corpo do carro.

A empresa apoiadora da pesquisa opta por fabricar suas peças estampadas, deslocando à fornecedores apenas peças especiais. Todas as peças no caso do paralamas e seus reforços (*brackets*) que o fixam ao automóvel são fabricados pela companhia.

Ashby (1992) cita que o processo de estampagem apresenta certas restrições em produção de formas complexas ou grandes diferenças de distância entre paredes, apesar de ser bastante difundido e possuir simulações confiáveis de fabricação. Por vezes formas desejadas são restringidas na estampagem pela possibilidade de rompimento da chapa com a tensão aplicada e o estiramento sofrido.

O processo de fabricação encontrado no estudo de mercado para tais peças foi a injeção, assim como indicado pelos fabricantes dos termoplásticos estudados (Anexo A). Não seria possível adotar outros processos de fabricação para termoplásticos, como extrusão ou termoformagem, porque a peça

apresenta superfícies bastante complexas e furos localizados em diferentes planos, requerendo assim partes móveis no molde.

Outro ponto que Boothroyd *et al.* (2001) justificam como benefício no processo de injeção é a integração de peças reduzindo o número de componentes e, conseqüentemente, diminuindo o custo total do negócio. No caso dos paralamas é possível juntar os reforços (*brackets*), que são necessários à fixação do paralama no veículo, ao painel exterior do conjunto, trocando 8 ou 9 matrizes de estampagem por 1 ou 2 moldes de injeção.

Alguns parâmetros dos termoplásticos são bastante relevantes no na análise do processo de injeção no que diz respeito ao ganho de produtividade e economia de energia, dentre eles os dois principais são o índice de fluidez e a temperatura de fusão dos plásticos.

O índice de fluidez é a facilidade que o material apresenta de fluir quando no estado líquido. Este parâmetro é o inverso da viscosidade do material. O número é encontrado por meio do ensaio de fluidez e é medido em gramas por dez minutos (g/10min).

Quanto maior o índice de fluidez do polímero mais rápido este material preenche o molde, facilitando assim a injeção e possibilitando fabricar mais peças em um determinado espaço de tempo. Porém um material muito fluido pode vazar do molde e ocasionar rebarbas na peça finalizada.

A temperatura de fusão do material é a temperatura necessária para causar a desestruturação das regiões cristalinas nas cadeias moleculares do polímero de maneira que o material passe a fluir. Os termoplásticos amorfos não apresentam um ponto definido de fusão, mas uma redução gradual de viscosidade com o aumento da temperatura, ao contrário dos semicristalinos. Esta transformação ocorre na máquina injetora e necessita calor. Quanto maior a temperatura de fusão do material mais energia é consumida para aquecer o sistema, e, por conseqüência, mais caro se torna o processo de fabricação.

A Tabela 4.5 apresenta os valores de índice de fluidez e temperatura de fusão dos quatro termoplásticos indicados na Tabela 4.4. As informações completas estão nas cartas de dados do Anexo A.

Nota-se que o material *Daplen EF341AE®* é o que consome menos energia no processamento. O *Noryl GTX 8730®* e o *Technyl A 238P5 M25®* apresentam praticamente o mesmo consumo de energia, pois têm a

temperatura de fusão muito semelhante. O *Noryl GTX 975*[®] possui a maior temperatura de fusão, portanto é esperado que seja o plástico com maior dispêndio energético no processamento.

Referente ao índice de fluidez, o *Daplen EF341AE*[®], o *Noryl GTX 975*[®] e o *Noryl GTX 8730*[®] mostram o mesmo valor, com uma leve diferença para este último. O fabricante do material *Technyl A 238P5 M25*[®] não fornece este dado do seu material mas afirma no seu sítio que este parâmetro é 38% maior que da blenda PPE/PA (*Noryl GTX*[®]). Os pesos de valoração destes dois parâmetros são apresentados na Seção 4.5.

Tabela 4.5 – Índice de fluidez e temperatura de fusão dos plásticos selecionados.

Índice de Fluidez e Temperatura de Fusão dos Termoplásticos Selecionados		
Material	Índice de Fluidez (g/10min)	Temperatura de Fusão (°C)
<i>Daplen EF341AE</i> [®]	15	220 a 260
<i>Noryl GTX 975</i> [®]	15	300 a 320
<i>Noryl GTX 8730</i> [®]	14	282 a 304
<i>Technyl A 238P5 M25</i> [®]	-- ¹²	280 a 300

4.3.2 Printabilidade do Material

A pintura é uma etapa chave na fabricação de um automóvel. É nesta etapa que a carroçaria recebe toda a proteção anticorrosão necessária para garantir o ciclo de vida do produto, além da tinta que define a cor e a qualidade superficial do modelo.

Salientando novamente a questão da importância visual, sabe-se, pelo exemplo obtido nos para-choques, que quando o componente plástico é pintado separadamente da carroçaria, por mais rígido que seja o controle de qualidade praticado, o tom de pintura não fica exatamente o mesmo.

¹² O fornecedor não especifica o valor na carta de dados, mas cita no seu sítio (<http://www.rhodia.com>) que é 38% maior que a blenda PPE/PA (*Noryl GTX*[®]).

A cabine de pintura onde a carroçaria do automóvel é pintada atinge temperaturas da ordem de 160 a 170°C, com picos de 200 a 210°C. A grande maioria dos plásticos nesta temperatura já se encontra no estado de fusão ou líquido. Porém plásticos com desempenho superior são capazes de resistir a este fator.

O mercado apresenta tanto paralamas pintados juntamente com a carroçaria quanto pintados em separado e montados após a pintura da carroçaria. Esta é uma questão que pode variar de acordo com a faixa de preço do modelo e precisa ser balanceada pelas montadoras.

A montadora que apóia esta dissertação possui critérios de aprovação visual com pouca tolerância a diferentes tonalidades para a mesma cor em peças de interface.

Para permitir pintura na cabine (*on-line*) é necessário que o material seja condutor de eletricidade, pois a pintura é eletrostática, e apresente um valor de temperatura de trabalho que não degrade com as temperaturas citadas anteriormente.

A Tabela 4.6 expõe as temperaturas de trabalho e a temperatura de fusão dos materiais selecionados dos quatro termoplásticos indicados na Tabela 4.4. As informações completas estão nas cartas de dados do Anexo A.

Tabela 4.6 – Temperatura de trabalho e fusão dos plásticos selecionados.

Temperatura de Trabalho e Temperatura de Fusão dos Termoplásticos Selecionados		
Material	Temperatura de Trabalho (°C)	Temperatura de Fusão (°C)
<i>Daplen EF341AE®</i>	123	220 a 260
<i>Noryl GTX 975®</i>	210	300 a 320
<i>Noryl GTX 8730®</i>	220	282 a 304
<i>Technyl A 238P5 M25®</i>	190	280 a 300

A blenda *Daplen EF341AE®* é a única das quatro blendas que apresenta temperatura de trabalho incompatível com o requisito exigido pelo

processo da cabine. Inclusive possui o início da faixa de temperatura de fusão com a mesma ordem de valor da temperatura de trabalho do *Noryl GTX 8730®*.

Portanto, optando-se pelo TPO, salienta-se a precisão de processo de pintura fora da cabine e de controle de qualidade quanto à diferença de tonalidade de cor entre os paralamas e o restante do carro. Os pesos de valoração deste fator são apresentados na Seção 4.5.

4.3.3 Montagem dos Paralamas

Os paralamas fabricados em aço não recebem soldas ou rebites na fixação junto à carroçaria do carro. São fixados apenas por parafusos, 8 em cada lado do automóvel, totalizando 16 pontos de fixação, ainda no setor de montagem da carroçaria (*body shop*), e pintados junto com toda a estrutura do veículo.

Medina (2002) relata um estudo de posicionamento e fixação utilizado pela Empresa “B”, concorrente da montadora apoiadora da pesquisa, onde um sistema deslizante substitui alguns pontos de fixação, possível somente com a construção da peça por polímeros (Figuras 4.13 3 4.14).

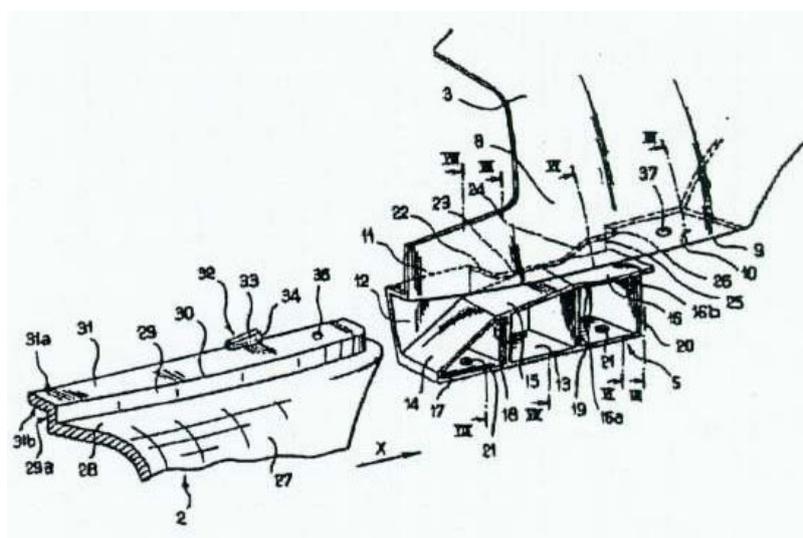


Figura 4.13 – Localizadores plásticos do paralama da Empresa “B” (MEDINA, 2002).

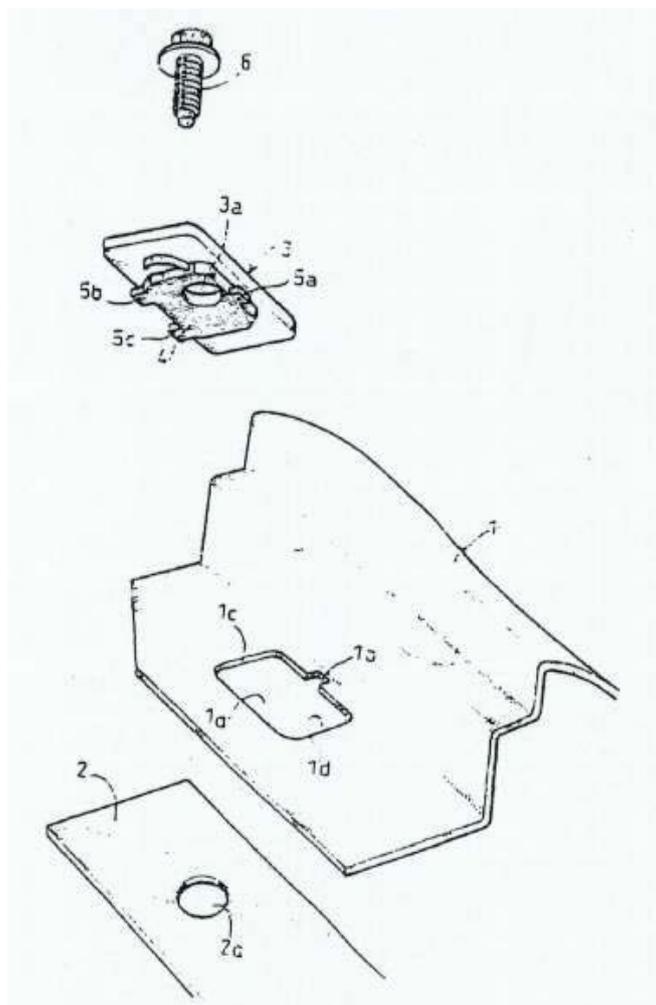


Figura 4.14 – Fixação deslizando do paralama da Empresa “B” (MEDINA, 2002).

Com a diminuição do número de pontos de fixação é possível economizar alguns custos com componentes (porcas e parafusos) e ainda com o processo de montagem, já que a peça leva menos tempo para ser montada com menos pontos aparafusados.

No caso de utilização dos termoplásticos que permitem pintura juntamente com o corpo do veículo, a peça obrigatoriamente deve ser montada no mesmo setor.

Se a resina selecionada não suportar a cabine de pintura sem degradação, a peça deve ser montada após esta etapa, já no setor de montagem final e acabamento do carro.

4.4 Estimativa de Custos para Matéria-Prima e Ferramental

Indubitavelmente o dinheiro é o fator mais importante de uma montadora, que acima de tudo é uma corporação, visa lucros e depende de dividendos para manter os acionistas e o negócio.

Isto se amplia em mercados onde a população é menos exigente com relação ao conteúdo dos carros e possui poder aquisitivo menor, quando comparados com Europa ou América do Norte, como é o caso da América Latina.

Não basta apenas os termoplásticos se mostrarem viáveis tecnicamente e não atenderem os custos provisionados ao parâmetro. É preciso que estes materiais igualem ou diminuam os custos despendidos em um novo projeto desenvolvido com o aço.

Aqui é apresentado um breve estudo estimativo comparando o aço e os quatro plásticos da Tabela 4.4. Os custos estimados estão mascarados por unidades de valor (UNV\$).

Primeiramente a Tabela 4.7 apresenta o custo em UNV\$ por quilograma dos quatro termoplásticos selecionados.

Tabela 4.7 – Custo em UNV\$ por quilograma dos termoplásticos selecionados.

Custo em UNV/Kg dos Termoplásticos Selecionados	
<i>Material</i>	<i>Custo do Kg (UNV\$)</i>
<i>Daplen EF341AE®</i>	0,000584
<i>Noryl GTX 975®</i>	0,000934
<i>Noryl GTX 8730®</i>	0,000992
<i>Technyl A 238P5 M25®</i>	0,000817

A Tabela 4.8 mostra o peso estimado por peça, multiplica por dois, pois são duas peças por carro e multiplica pelo custo por quilograma, encontrando assim o custo estimado por veículo para cada blenda selecionada. A empresa

apoiadora estima o custo por veículo (incluindo o paralamas e os brackets que o fixam à carroçaria), em caso de novo projeto similar ao paralamas do Modelo “A”, em UNV\$ 0,001868, que será comparado com os plásticos.

Tabela 4.8 – Custo estimado por veículo para cada blenda selecionada.

Custo Estimado por Veículo para Cada Blenda Selecionada				
<i>Material</i>	<i>Massa (Kg)</i>	<i>Número de Peças por Carro (Unidade)</i>	<i>Custo do Kg (UNV\$)</i>	<i>Custo Estimado por Carro (UNV\$)</i>
<i>Daplen EF341AE®</i>	1,176	2	0,000584	0,001372
<i>Noryl GTX 975®</i>	1,082	2	0,000934	0,002020
<i>Noryl GTX 8730®</i>	1,024	2	0,000992	0,002032
<i>Technyl A 238P5 M25®</i>	1,258	2	0,000817	0,002055
<i>Aço</i>	2,162	2	0,000432	0,001868

O custo das matrizes para o aço estimado pela empresa e o custo do molde de injeção estimado pela pesquisa são apresentados na Tabela 4.9.

Tabela 4.9 – Custo estimado para as ferramentas de fabricação.

Custo Estimado para as Ferramentas de Fabricação	
<i>Ferramentas</i>	<i>Custo Estimado (UNV\$)</i>
Matrizes de estampagem	315,78
Molde de injeção	233,40

A Tabela 4.10 calcula o custo de matéria prima e ferramental para quatro volumes de produção distintos: 50.000, 100.000, 150.000 e 200.000 unidades por ano durante quatro anos (normalmente este é o tempo que um modelo permanece no mercado) para os quatro polímeros e para o aço.

Tabela 4.10 – Custo estimado para quatro volumes de produção em quatro anos.

Custo Estimado para Quatro Volumes de Produção (50.000, 100.000, 150.000 e 200.000 Unidades) em Quatro Anos					
Material	Volume Anual (Un.)	Custo da Matéria-Prima Anual (UNV\$)	Custo da Matéria-Prima em 4 Anos (UNV\$)	Custo das Ferramentas (UNV\$)	Custo Total 4 anos (UNV\$)
Daplen EF341AE®	50.000	68,6208	274,4834	233,40	507,88
	100.000	137,2417	548,9668		782,37
	150.000	205,8626	823,4503		1056,85
	200.000	274,4834	1097,9340		1331,33
Noryl GTX 975®	50.000	101,0174	404,0695	233,40	637,47
	100.000	202,0347	808,1389		1041,54
	150.000	303,0521	1212,2080		1445,61
	200.000	404,0695	1616,2780		1849,61
Noryl GTX 8730®	50.000	101,5775	406,3102	233,40	639,71
	100.000	203,1551	812,6203		1046,02
	150.000	304,7326	1218,9300		1452,33
	200.000	406,3102	1625,2410		1858,64
Technyl A 238P5 M25®	50.000	102,7679	411,0716	233,40	644,47
	100.000	205,5358	822,1432		1055,54
	150.000	308,3037	1233,2150		1466,61
	200.000	411,0716	1644,2860		1877,69
Aço	50.000	93,3984	373,5936	315,78	689,37
	100.000	186,7968	747,1872		1062,96
	150.000	280,1952	1120,7810		1436,56
	200.000	373,5936	1494,3740		1810,15

Pela tabela acima é possível afirmar que a estimativa para 50.000 e 100.000 unidades por ano, durante quatro anos de produção, todos os termoplásticos apresentam custos de matéria-prima e ferramental menores que o aço.

Para 150.000 e 200.000 unidades por ano durante os quatro anos apenas o *Daplen EF341AE®* mostra custos de matéria-prima e ferramental menores que o aço.

Na estimativa de custos foram considerados apenas os custos de matéria-prima e ferramental. Não foram considerados os custos relativos aos processos de fabricação, montagem e pintura.

É possível constatar que os termoplásticos que permitem pintura *on-line* se apresentam como opção para produção em volumes anuais de baixa e média escala (50.000 e 100.000 unidades).

Para altos volumes anuais de produção o *Daplen EF341AE®*, com pintura *off-line*, se apresenta como alternativa, cabendo à montadora balancear os prós e contras desta opção.

Outra alternativa possível para viabilizar os termoplásticos de pintura *on-line* para altos volumes anuais de produção é mover custos de outras partes do projeto (conhecido como *offset* de custos).

4.5 Valoração dos Requisitos

Os critérios iniciais de vibração, deslocamento (flexão) e massa foram analisados para seis termoplásticos, cada qual com quatro espessuras iniciais. Findada a segunda interação de simulações, chegou-se em quatro termoplásticos com as espessuras indicadas na Tabela 4.4.

Após esta análise, houve a abordagem sobre a fabricação, a printabilidade, a montagem e o custo de quatro supostos volumes anuais de produção empregando estes quatro materiais.

Esta seção tem como meta unir todos os critérios estudados durante a pesquisa considerando os desejos da montadora, os requisitos de projeto, as relações entre ambos e o peso de cada elemento para a indicação da melhor opção.

A ferramenta do PDP que permite expor as relações entre os desejos do cliente com requisitos de projeto e pesar a importância de cada critério é o QFD, conceitualizado no Capítulo 2 da dissertação. Neste caso as montadoras

são os clientes, pois as mesmas irão fazer uso deste trabalho no desenvolvimento de novos projetos.

As necessidades do cliente, representado pela montadora apoiadora da dissertação (os o quês do QFD), foram levantadas junto aos times de estratégia, pré-projeto e projeto, e estão listadas na Tabela 4.11.

Tabela 4.11 – A voz do cliente (o quês do QFD).

Necessidades do Cliente (O Quês)
<i>Necessidades</i>
Apresentar baixo custo
Permitir fácil montagem no carro
Resistir às intempéries
Não degradar antes do tempo de durabilidade determinado
Resistir às temperaturas atuantes sem deformar
Apresentar boa qualidade superficial
Possibilitar pintura on-line
Ser reciclável
Cumprir o requisito imposto para massa
Cumprir o requisito imposto para flexão
Cumprir o requisito imposto para vibração

Embasado nas necessidades do cliente e nos critérios iniciais impostos nas simulações, os requisitos de projeto (os comos) dos materiais estudados foram estabelecidos, para posteriormente estabelecer o grau de relacionamento entre necessidades e requisitos. A Tabela 4.12 descreve os requisitos de projeto (os comos do QFD).

As relações foram estabelecidas atribuindo três valores: valor 9 para relações fortes, 3 para relações moderadas e 1 para relações fracas. A soma ponderada das relações juntamente com o grau de importância relativo (porcentagem) de cada necessidade e cada requisito estão concebidos na Figura 4.15, a primeira matriz do QFD deste projeto.

Tabela 4.12 – Requisitos de projeto (comos do QFD).

Requisitos de Projeto (Comos)	
Requisitos	
Custo (UNV\$)	Espessura (mm)
Massa da peça (Kg)	Tempo de montagem (s)
Módulo de elasticidade (MPa)	Número de peças (und)
Temperatura de trabalho (°C)	Descarte amigável
Temperatura de fusão (°C)	Rugosidade superficial (µm)
Índice de fluidez (g/10min)	Condutividade elétrica (Ω*cm)

Primeira Matriz da Qualidade (casa da qualidade)

		Correlação entre requisitos de cliente e de produto										Correlação						
		●	○	△								++	+					
		Forte	Moderado	Fraco								Posit. Forte	Posit. Fraco					
		9	3	1								Inexistente	Neg. Fraco					
		Direcionador de melhoria											Direcionador de melhoria					
		<<	<<	>>	>>	<<	>>	<<	>>	<<	>>	0	<<	>>	0	>>	<<	
		Concorrentes																
							1	2	3	4	5							
							Aço (0,7mm)	Daplen EF341AE (2,6mm)	Noryl GTX 975 (2,2mm)	Noryl GTX 8730 (1,8mm)	Technyl A 238PS M25 (2,6mm)							
Requisitos do Cliente	Custo	Apresentar baixo custo	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	Montagem	Permitir fácil montagem no carro	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		Resistir às intempéries	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	Durabilidade	Não degradar antes do tempo de durabilidade determinado	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		Resistir às temperaturas atuantes sem deformar	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	Aparência	Apresentar boa qualidade superficial	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		Possibilitar pintura on-line	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	Meio-Ambiente	Ser reciclável	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	Massa	Cumprir o requisito imposto para massa	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	Desempenho	Cumprir o requisito imposto para flexão	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Cumprir o requisito imposto para vibração		○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		46																
		Grau de importância (req. produto)	240.0	122.0	125.0	108.0	108.0	30.0	240.0	72.0	126.0	42.0	78.0	96.0	1387.0			
		Percentual	17.3	8.8	9.0	7.8	7.8	2.2	17.3	5.2	9.1	3.0	5.6	6.9	100.0			
		Unidade	UNV\$	Kg	MPa	°C	°C	g/10min	mm	s	und.	:	µm	Ω*cm				

Figura 4.15 – Casa da qualidade do projeto.

A Figura 4.15 não apresenta boa visualização por possuir muitas células de informação. A casa da qualidade (QFD) detalhada está no Apêndice E.

A partir dos graus de importância relativos encontrados para cada requisito no QFD é possível construir um gráfico ordenando a porcentagem de importância de cada requisito neste projeto. Este gráfico está representado na Figura 4.16 e se apresenta legível no Apêndice E.

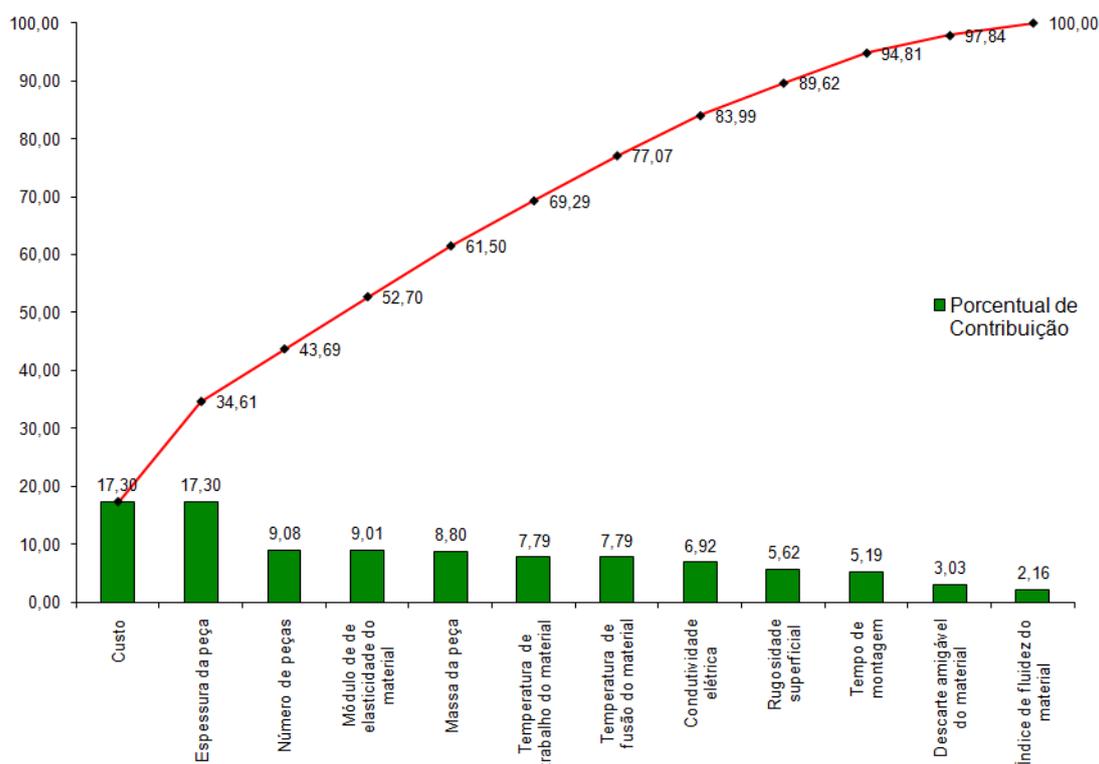


Figura 4.16 – Gráfico com a porcentagem de importância de cada requisito.

As barras traduzem o valor da porcentagem de contribuição de cada requisito e a linha contabiliza a soma progressiva dos requisitos. Percebe-se que os sete primeiros requisitos configuram 77% de importância relativa. São eles: custo, espessura da peça, número de peças, módulo de elasticidade do material, massa da peça, temperatura de trabalho e temperatura de fusão do material. Assim, estes requisitos serão os considerados para a indicação do termoplástico mais adequado à aplicação.

O número de peças é o mesmo para todos os termoplásticos estudados, já que todos permitem integração de peças da mesma maneira, portanto será desconsiderado. A Tabela 4.13 com formato matricial relaciona os materiais termoplásticos com os seis requisitos de maior influência, em ordem decrescente de importância relativa (vide QFD no Apêndice E).

O custo expresso refere-se somente ao custo da matéria-prima, pois a estimativa de custo do ferramental foi a mesma para todos os polímeros e os custos de processos foram desconsiderados na pesquisa.

Tabela 4.13 – Valores dos requisitos de maior influência para cada blenda selecionada.

Valores dos Requisitos de Maior Influência para cada Blenda Selecionada				
Material	Daplen EF341AE®	Noryl GTX 975®	Noryl GTX 8730®	Technyl A 238P5 M25®
Custo (UNV\$)	0,000584	0,000934	0,000992	0,000817
Espessura da Peça (mm)	2,6	2,2	1,9	2,6
Módulo de Elasticidade (MPa)	3100	4450	12000	3070
Massa da Peça (Kg)	1,176	1,082	1,024	1,258
Temperatura de Trabalho (°C)	123	210	220	190
Temperatura de Fusão (°C)	220 a 260	300 a 320	282 a 304	280 a 300

O termoplástico *Daplen EF341AE®* com espessura de 2,6mm é o que apresenta menor custo das quatro blendas, inclusive se mostra viável para as quatro projeções de produção estabelecidas. Sua espessura é maior quando comparada com os *grades* de *Noryl GTX®* mas ainda se apresenta em uma faixa viável de fabricação e montagem sem causar transtornos. Possui bom módulo de elasticidade e a massa se mostra pouco maior que o critério de redução de 40% em relação ao aço, atendendo a faixa de redução de 1Kg. Necessita ser pintado *off-line* por apresentar baixas temperaturas de trabalho e fusão, todavia, em caso de haver esta possibilidade, este é o material indicado por este trabalho para a substituição do aço.

A blenda *Noryl GTX 975*® com espessura de 2,2mm apresenta o segundo maior custo de produção, sendo viável economicamente em duas das quatro projeções apresentadas no decorrer do texto (baixos e médios volumes). Esta espessura auxilia na fabricação e montagem da peça. O módulo de elasticidade é o segundo maior, o que permite chegar na espessura de 2,2mm reduzindo assim a massa para a faixa desejada de 40% ou mais comparando com o aço. Atende os requisitos de pintura *on-line* (altas temperaturas de trabalho e fusão), sendo o polímero indicado pela pesquisa nos casos em que a montadora não pode lançar mão de pintar juntamente com o corpo do carro.

O *Noryl GTX 8730*®, excluindo o requisito custo, se mostra melhor em todos os requisitos, pois apresenta menor espessura, menor massa, maior módulo de elasticidade, maior temperatura de trabalho e menor temperatura de fusão comparando com o *Noryl GTX 975*®. Estes bons resultados se devem à composição da blenda com fibra de vidro, o que também acarreta o maior custo de todos e degrada a qualidade superficial final. Ainda assim para volumes baixos e médios o material se apresenta viável. Como citado anteriormente, não existem painéis externos automotivos fabricados com tal material e provavelmente seja necessário uma co-injeção de algum plástico com melhor acabamento superficial. Por estes motivos esta dissertação não indica este material sem estudos aprofundados.

O material *Technyl A 238P5 M25*® não se mostra viável porque em termos de custo atende somente baixos e médios volumes de produção anual (os *grades* de *Noryl GTX*® também atendem estes volumes), possui a maior espessura, a maior massa, o menor módulo de elasticidade, além de possuir na estrutura o PA, material disposto a absorver umidade. Assim este plástico também não é indicado por esta pesquisa.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo são apresentadas as considerações finais sobre a viabilidade técnica da aplicação de termoplásticos em painéis exteriores automotivos. É feita uma síntese sobre o assunto, as simulações realizadas, os dados discutidos ao longo do desenvolvimento da dissertação e o cumprimento do objetivo geral definido no Capítulo 1.

5.1 Conclusões

O desenvolvimento do objeto de estudo desta pesquisa exigiu a utilização de algumas ferramentas contidas no universo do processo de desenvolvimento do produto automotivo.

Inicialmente, conforme descrito no Capítulo 3, o *benchmarking* foi empregado com o intuito de contabilizar informações sobre carros atuais que possuem termoplásticos em painéis exteriores. As fontes de consulta foram as bibliografias citadas e as bases de dados dos fornecedores de polímeros, mostrando-se eficientes na indicação de quais materiais se apresentam nestas peças na atualidade e os respectivos veículos.

Com os materiais selecionados e a peça apontada pela montadora apoiadora, foram necessárias duas interações de simulação virtual para os plásticos atingirem os critérios iniciais impostos de vibração, flexão e massa com espessuras otimizadas. Quatro plásticos foram aprovados, cada qual com sua respectiva espessura, o que demonstra que os critérios iniciais estudados foram suficientes na seleção inicial.

Após a seleção inicial foram abordados os requisitos de processo destas peças. Chegou-se a conclusão que para todos os polímeros aprovados o processo de fabricação indicado é o mesmo, a injeção, e, com relação à montagem, todos apresentaram as mesmas características. No requisito printabilidade, três dos quatro polímeros permitem a pintura integrada com a

carroçaria por possuírem altos valores de temperatura de trabalho, ficando apenas um excluído desta condição.

Na análise de custos foi estimado o custo de matéria-prima para cada plástico e para o aço, bem como o custo necessário em ferramental para produção. Quatro cenários de produção anual foram colocados – 50.000, 100.000, 150.000 e 200.000 unidades – comparando os plásticos com o aço. As quatro blindagens se mostraram viáveis para volumes anuais baixos (50.000) e médios (100.000). Nos outros dois volumes apenas um material foi compatível.

Findando a pesquisa, realizou-se um balanceamento de projeto (*trade-off* de engenharia) baseado nos requisitos mais importantes cedidos pelo QFD, nas propriedades dos materiais e nos resultados encontrados durante a pesquisa para elaborar o parecer final.

A posição consolidada no fechamento da pesquisa é ser possível substituir o aço por materiais poliméricos em paralamas automotivos. Para tal, baseados nos resultados deste estudo, recomenda-se utilizar o termoplástico *Daplen EF341AE®* com 2,6mm de espessura nos veículos semelhantes ao Modelo "A" em que a montadora admita pintura *off-line* e o *Noryl GTX 975®* com 2,2mm de espessura quando houver a necessidade da peça passar pelo processo de pintura na cabine que pinta as carroçarias.

5.2 Contribuições

Esta pesquisa contribuiu com os grupos automotivos no conhecimento sobre o mercado atual de painéis externos fabricados com materiais termoplásticos, a desmistificação da ideia de qualidade ruim e baixo desempenho quando se substitui o aço por plásticos neste tipo de peças, as possibilidades a serem exploradas e a experiência no processo de desenvolvimento de peças plásticas.

Contribuiu também com os leitores em geral, expondo de maneira didática alguns pontos presentes no universo automotivo, como a definição de termos, passos que um novo projeto deve seguir, fatores considerados nos estudos, definição de requisitos, atributos e restrições.

Por fim, e não menos importante, contribuiu-se de uma maneira geral com o aumento de conhecimento na área estudada, tanto para o autor quanto para demais pesquisadores, possibilitando assim o despertar do interesse em pesquisas futuras nesta ramo da indústria.

5.3 Atividades Futuras de Pesquisa

Esta pesquisa foi uma abordagem inicial de viabilidade de aplicação dos termoplásticos em painéis exteriores, visto que seu objetivo era aumentar o conhecimento nas primeiras etapas de um novo projeto. Somente esta pesquisa não é suficiente para estabelecer produtos no mercado, portanto, a primeira sugestão de atividade futura é dar continuidade a esta pesquisa nas etapas posteriores de projeto.

Na área automotiva este trabalho recomenda como atividade futura de pesquisa estudos de aplicação de termoplásticos em outros painéis externos dos automóveis, como painéis de porta, teto e tampa traseira, pois cada peça possui os seus próprios requisitos. Esta dissertação serve como um guia para tal.

Tratando de disciplinas técnicas, outra atividade futura é estudar plásticos não convencionais, aditivados com fibras e nanocompósitos, mesmo que ainda sejam inviáveis economicamente, pois esta pesquisa mostrou, comparando os grades de *Noryl GTX®*, o ganho de propriedades que tais complementos podem atribuir a blenda.

Para os gestores de negócios, recomenda-se estudar profundamente os cenários monetários, já que esta pesquisa fez apenas a estimativa inicial e o custo final de um componente não depende apenas do custo de sua matéria-prima e ferramental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKAO, Y. **Quality Function Deployment: Integrating Customer Requirements into Product Design**. Portland: Productivity Press, 2004.
- ASHBY, M. F. **Materials selection in mechanical design**. Oxford: Pergamon, 1992.
- ASIF, M. Reengineering Through Materials Substitution: Plastics as an Alternate Material for Metals. **Society of Manufacturing Engineers**. Dearborn: SME, 2009.
- BACK, N. Encontro sobre Desenvolvimento Integrado de Processos e Produtos de Injeção de Plásticos, Metais e Cerâmicas. **Metodologia de Desenvolvimento Rápido de Produtos de Injeção**. Florianópolis, 1998.
- BANHAM, R. **The Ford Century: Ford Motor Company and the Innovations that Shaped the World**. New York: Tehabi books, 2002.
- BERINS, M. L. **SPI Plastics Engineering Handbook**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1991.
- BOGAN, C. E.; ENGLISH, M. J. **Benchmarking for Best Practices: Winning Through Innovative Adaptation**. New York: McGraw-Hill, Inc., 1994.
- BOOTHROYD, G.; DEWHURST, P.; KNIGHT, W. **Product Design for Manufacturing and Assembly**. New York: Marcel Dekker, Inc., 2001.
- BOREALIS GROUP. **BMW X5 / X6 Fender Case Study**. Disponível em: <<http://www.borealisgroup.com>>. Acesso em: 11 out. 2010.
- BRYDSON, J. A. **Plastics Materials**. Woburn: Butterworth-Heinemann, 1999.
- CALLISTER, W. D. **Materials Science and Engineering: An Introduction**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2007.
- CAMP, R. C. **Benchmarking: O Caminho da Qualidade Total**. São Paulo: Editora Pioneira, 1995.
- CANEVAROLO, S. V. **Ciência dos Polímeros. Um curso básico para tecnólogos e engenheiros**. São Paulo: Artliber, 2006.
- CLARK, K. B.; FUJIMOTO, T. **Product development performance: strategy, organization and management in the world auto industry**. Boston: Harvard Business School Press, 1991.
- CONDOTTA, A. S. **Melhoria do processo de desenvolvimento de produto em uma empresa do setor automotivo**. 2004. Mestrado Profissionalizante em Engenharia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

CRAWFORD, R. J. **Plastics Engineering**. Woburn: Butterworth-Heinemann, 1998.

DARÉ, G. **Proposta de um modelo de referência para o desenvolvimento integrado de componentes injetados**. 2001. Mestrado em Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

DUGGAL, V. **Cadd Primer: A General Guide to Computer Aided Design and Drafting-Cadd, CAD**. New York: MailMax Publishing, 2000.

EDWARDS, K. L. Strategic substitution of new materials for old: Applications in automotive product development. **Materials and Design**, Derby, vol. 25 n. 6 p. 529-533, 2004.

FERREIRA, C. V. **Metodologia para as Fases de Projeto Informacional e Conceitual de Componentes de Plástico Injetados Integrando os Processos de Projeto e Estimativa de Custos**. 2002. Doutorado em Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

GAVENONIS, J.; MCLLVINE, J. E. SAE 2009 World Congress. 2009. Michigan. **Polyamide Resin Technologies for High Temperature and Automotive Chemical Exposure Environments**. Warrendale: SAE International. 2009.

HARPER, C. A. **Handbook of Plastics, Elastomers and Composites**. New York: McGraw-Hill, 2002.

HARPER, C. A.; PETRI, E. M. **Plastics Materials and Process**. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2003.

HARTLEY, J. R. **Concurrent Engineering: Shortening Lead Times, Raising Quality and Lowering Costs**. Portland: Productivity Press, 1992.

JAVELIN TECHNOLOGIES. **Exemplo de desenhos 2D e 3D**. Disponível em: <<http://www.javelin-tech.com>>. Acesso em: 27 nov. 2010.

KARIAN, H. G. **Handbook of Polypropylene and Polypropylene Composites**. New York: Marcel Dekker, Inc., 2003.

KERZNER, H. **Gestão de Projetos: as Melhores Práticas**. Porto Alegre: Bookman, 2007.

KRUGLIANSKAS, I. XVII Simpósio Nacional de Gestão da Inovação Tecnológica, 1992, São Paulo. **Engenharia simultânea: organização e implantação em empresas brasileiras**. São Paulo: Revista de Administração, 1993, v. 28 n. 4 p. 104-110.

_____. XVIII Simpósio Nacional de Gestão da Inovação Tecnológica, 1994, São Paulo. **Engenharia simultânea e técnicas associadas em empresas tecnicamente dinâmicas**. São Paulo: Revista de Administração, 1995, v. 30 n. 2 p. 25-38.

LOKENS GARD, E. **Industrial Plastics: Theory and Applications**. New York: Delmar Learning, 2004.

LEGRAND, D. G.; BENDLER, J. T. **Handbook of Polycarbonate Science and Technology**. New York: Marcel Dekker, Inc., 2000.

LOUREIRO, G. **A systems engineering and concurrent engineering framework for the integrated development of complex products**. 1999. Doutorado em Systems Engineering – Loughborough University, Loughborough, 1999.

LOUREIRO, G.; LEANEY, P. G. A systems and concurrent engineering framework for the integrated development of space products. **Acta Astronautica**, Oxford, vol. 53 p. 945-961, 2003.

LUCAS, E. F.; SOARES, B. G.; MONTEIRO, E. E. C. **Caracterização de Polímeros**. Rio de Janeiro: e-papers, 2001.

MAINE, E. M. **Future of Polymers in Automotive Applications**. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology, 1997.

MALLOY, R. A. **Plastic Part Design for Injection Molding: an introduction**. Munich: Hanser Publishers, 1994.

MASCARENHAS, W. N. **Sistematização do processo de obtenção do leiaute dimensional de componentes de plástico moldados por injeção**. 2002. Mestrado em Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

MAXWELL, J. **Plastics in the Automotive Industry**. Warrendale: Woodhead Publishing Ltd., 1994.

MEDINA, H. V. Desenvolvimento de novos polímeros: uma ferramenta para o avanço na indústria automobilística. **Revista Plástico Industrial**, São Paulo: Aranda, n. 48 p. 108-120, 2002.

OGLIARI, A. **Sistematização da Concepção de Produtos Auxiliada por Computador com Aplicações no Domínio de Componentes de Plástico Injetado**. 1999. Doutorado em Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

PUGH, S. **Total Design: Integrated Methods for Successful Product Engineering**. Essex: Addison-Wesley Publishers Ltd., 1991.

RHODIA GROUP. **Technyl® for Body Panel**. Disponível em: <<http://www.rhodia.com>>. Acesso em: 31 out. 2010.

ROMANO, L. N. **Modelo de Referência para o Processo de Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas**. 2003. Doutorado em Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F. A.; TOLEDO, J. C.; AMARAL, D. C.; ALLIPRANDI, D. H.; SACLICE, R. K.; SILVA, S. L. **Gestão do desenvolvimento de produtos. Uma referência para a melhoria de processo**. São Paulo: Saraiva, 2006.

SANT'ANNA, J.A.P.; WIEBECK, H. 17^o CBECIMat – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. **Ferramentas para seleção de materiais poliméricos buscando substituir materiais metálicos**. Foz do Iguaçu. 2006.

SCHÜTZER, K.; SOUZA, N. L. 1^o Congresso Brasileiro de Desenvolvimento de Produtos. **Implantação do “Digital Mockup” na indústria automobilística: conquistando vantagens competitivas**. Belo Horizonte. 1999. p. 305 - 314.

SHIGLEY, J. E.; MISCHKE, C. R.; BUDYNAS, R. G. **Projeto de Engenharia Mecânica**. Porto Alegre: Bookman, 2005.

SOLVAY ADVANCED POLYMERS. **Product Review**. Disponível em: <<http://www.solvayadvancedpolymers.com>>. Acesso em: 27 abr. 2010.

STAUBER, R.; VOLLRATH, L. **Plastics in Automotive Engineering: Exterior Applications**. Munich: Hanser Publishers, 2007.

STRATTON, D.; PLATTE, P.; ROCCO, D. A SPE AUTOMOTIVE COMPOSITES CONFERENCE. 2006. Troy. **Modular Automotive Roof System Design Concept Based on Polyurethane Composite Technology**. 2006.

TAUB, A. I.; KRAJEWSKI, P. E.; Luo, A. A.; OWEN, J. N. The Evolution of Technology for Materials Processing over the Last 50 Years: The Automotive Example. **Journal of the Minerals, Metals and Materials Society**, Warrendale, vol. 47 n. 2 p. 48-57, 2007.

TRABASSO, L. G. **Notas de aula**. Mestrado em Gestão e Tecnologia Industrial. SENAI/CIMATEC. 2008.

TRES, P. A. **Designing plastic parts for assembly**. Munchen: Hanser Publisher, 2006.

UMAMAHESWARAN, V.; BAX, F. SAE 2009 World Congress. 1999. Michigan. **High-Performance Thermoplastics Exterior Body Panels**. Warrendale: SAE International. 1999.

UTRACKI, L. A. **Commercial Polymer Blends**. London: Chapman & Hall, 1998.

VAN DER VEGT, A. K. **From polymers to plastics**. Delft: DUP Blue Print, 2002.

VIGNOS, B. A. **Influence of Environmental Regulation on Automobile Materials Substitution Decisions – The Plastic Fuel Tank**. 1991. Mestrado em Tecnologia e Política – Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 1991.

WARSON, H.; FINCH, C. A. **Applications of Synthetic Resin Latices**. London: John Wiley & Sons Ltd, 2001.

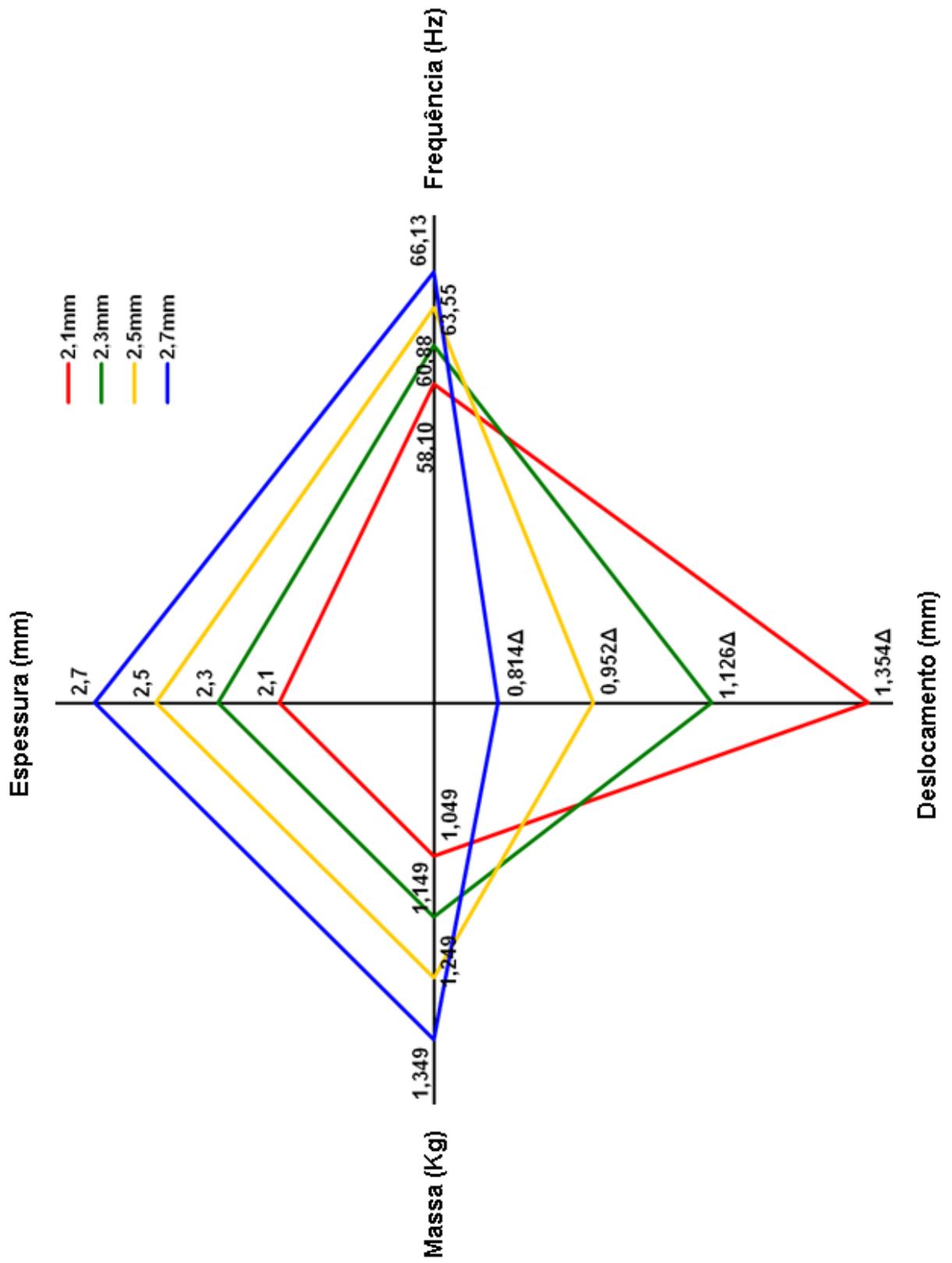
WIEBECK, H.; HARADA, J. **Plásticos de Engenharia: Tecnologia e Aplicações**. São Paulo: Artliber, 2005.

YANG, K. **Design for Six Sigma for Service**. New York: McGraw-Hill, Inc., 2005.

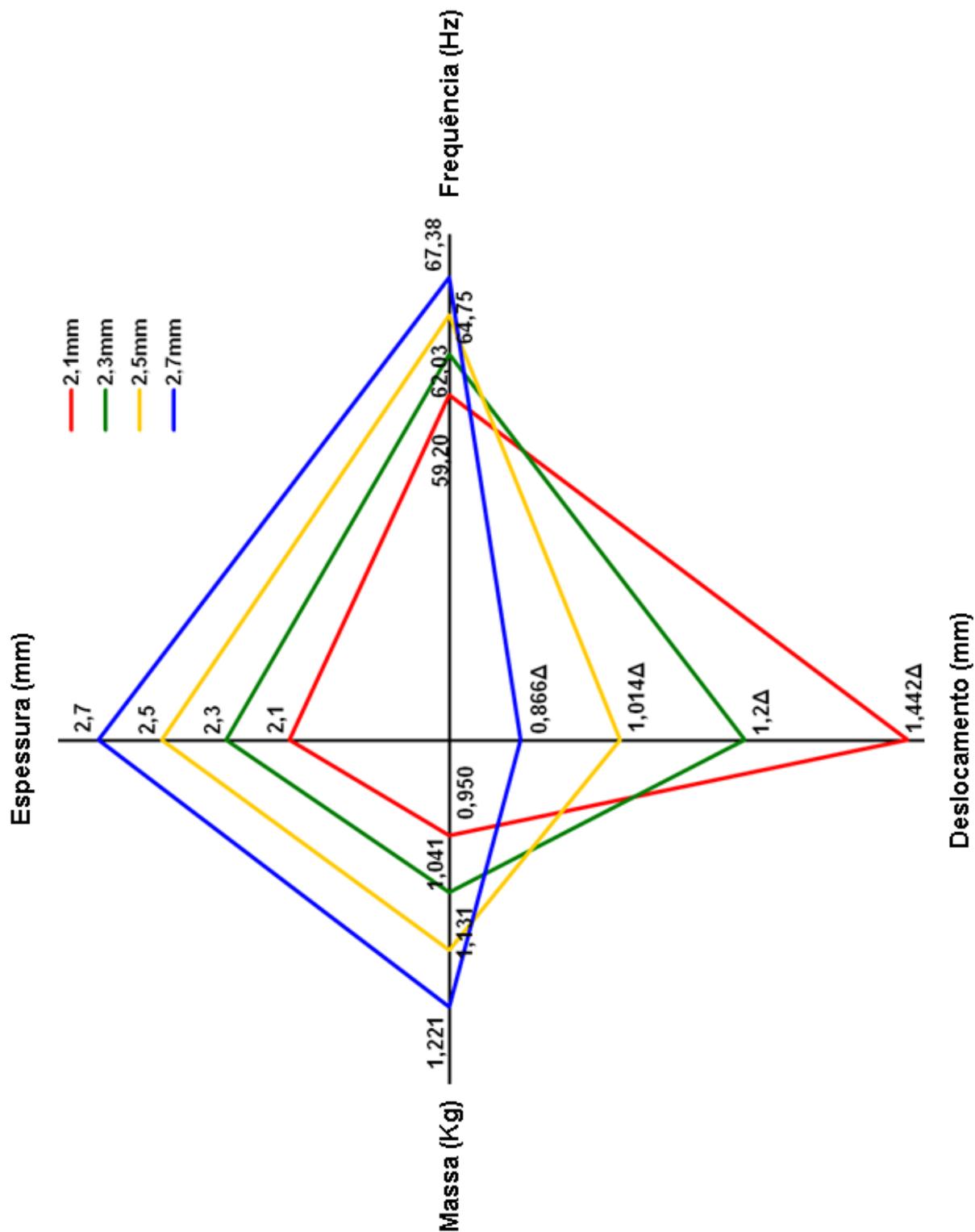
APÊNDICE A

GRÁFICOS TIPO RADAR DISPOSTOS POR MATERIAL

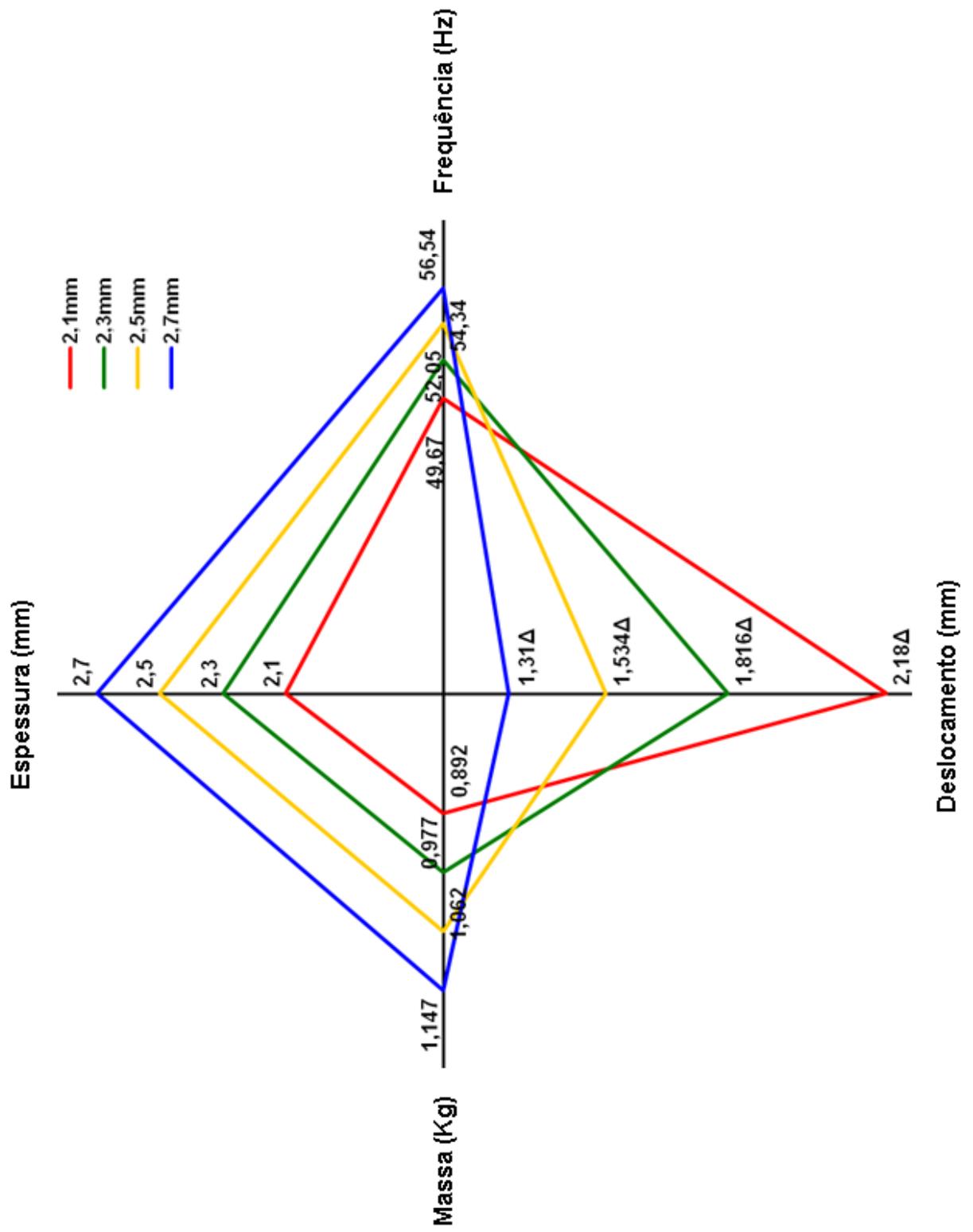
Xenoy X5410®



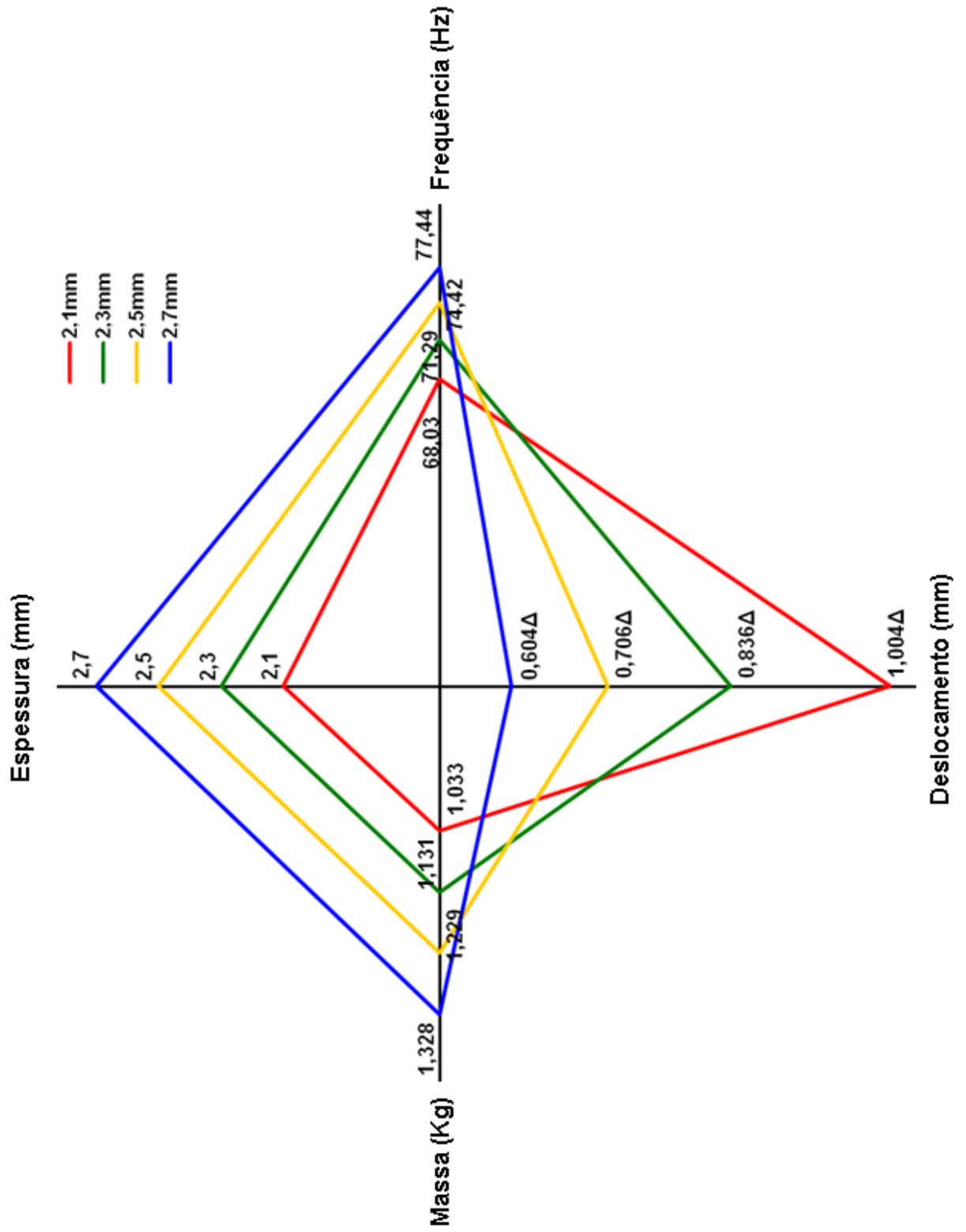
Daplen EF341AE®



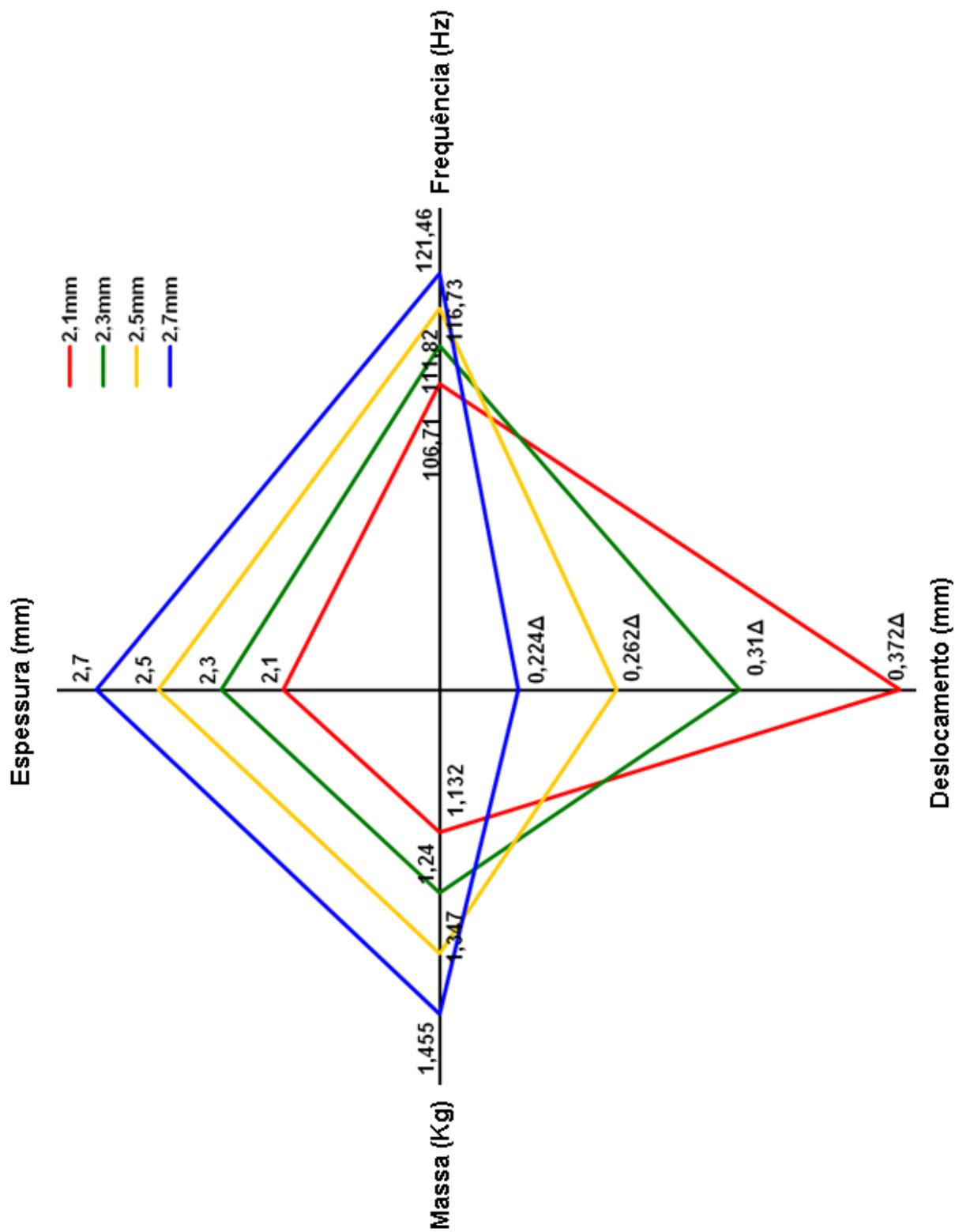
Noryl GTX 974®



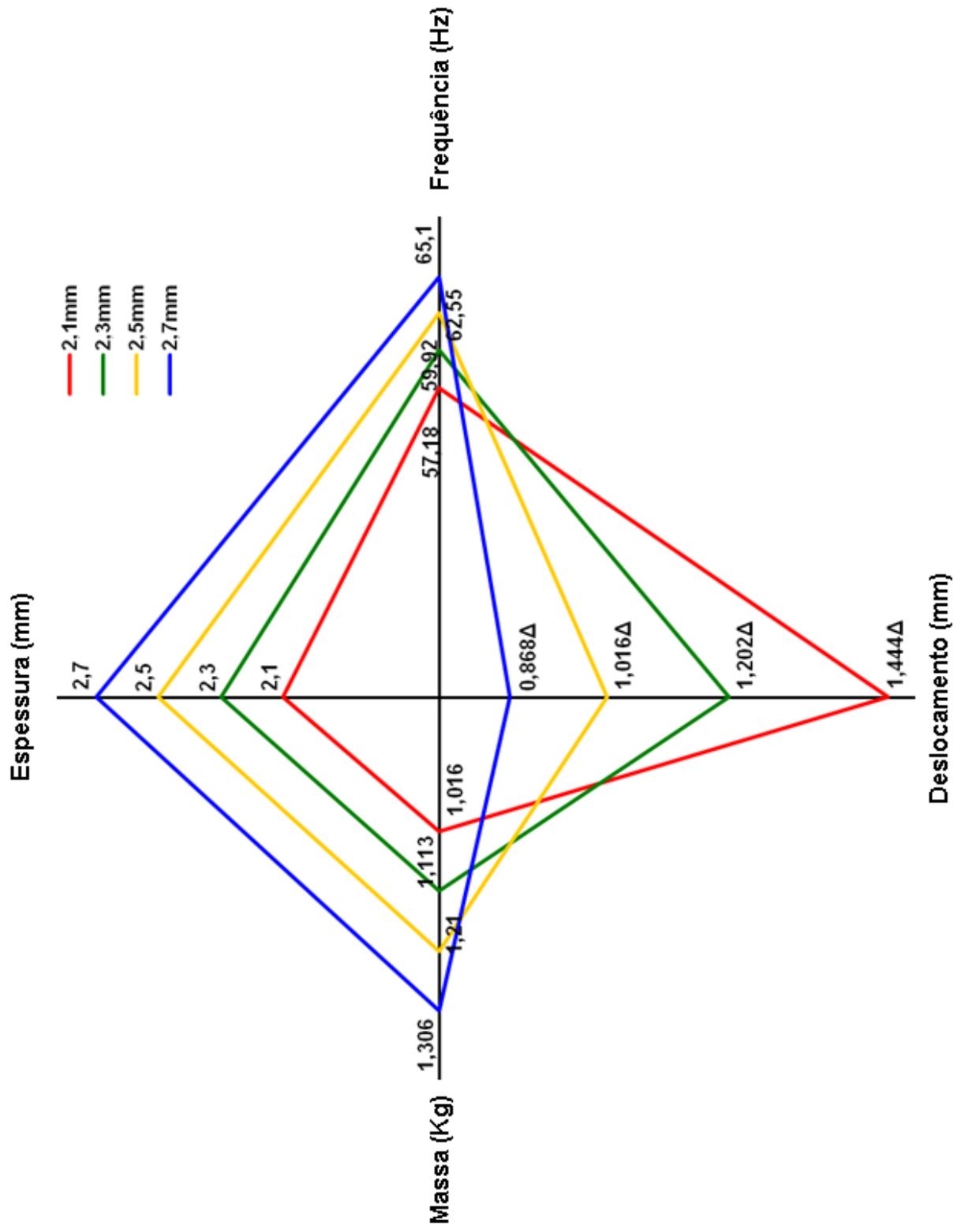
Noryl GTX 975®



Noryl GTX 8730®



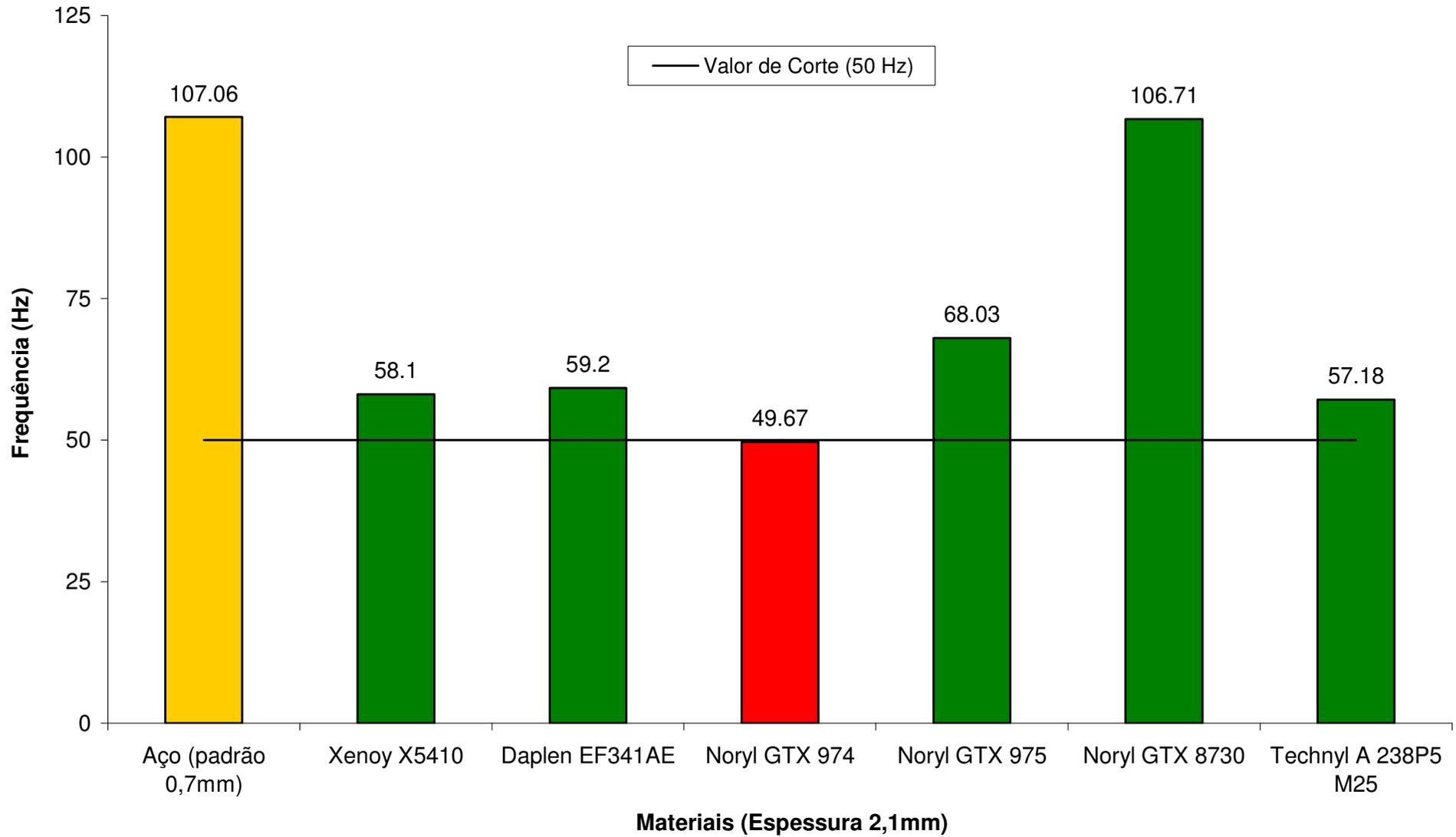
Technyl A 238P5 M25®



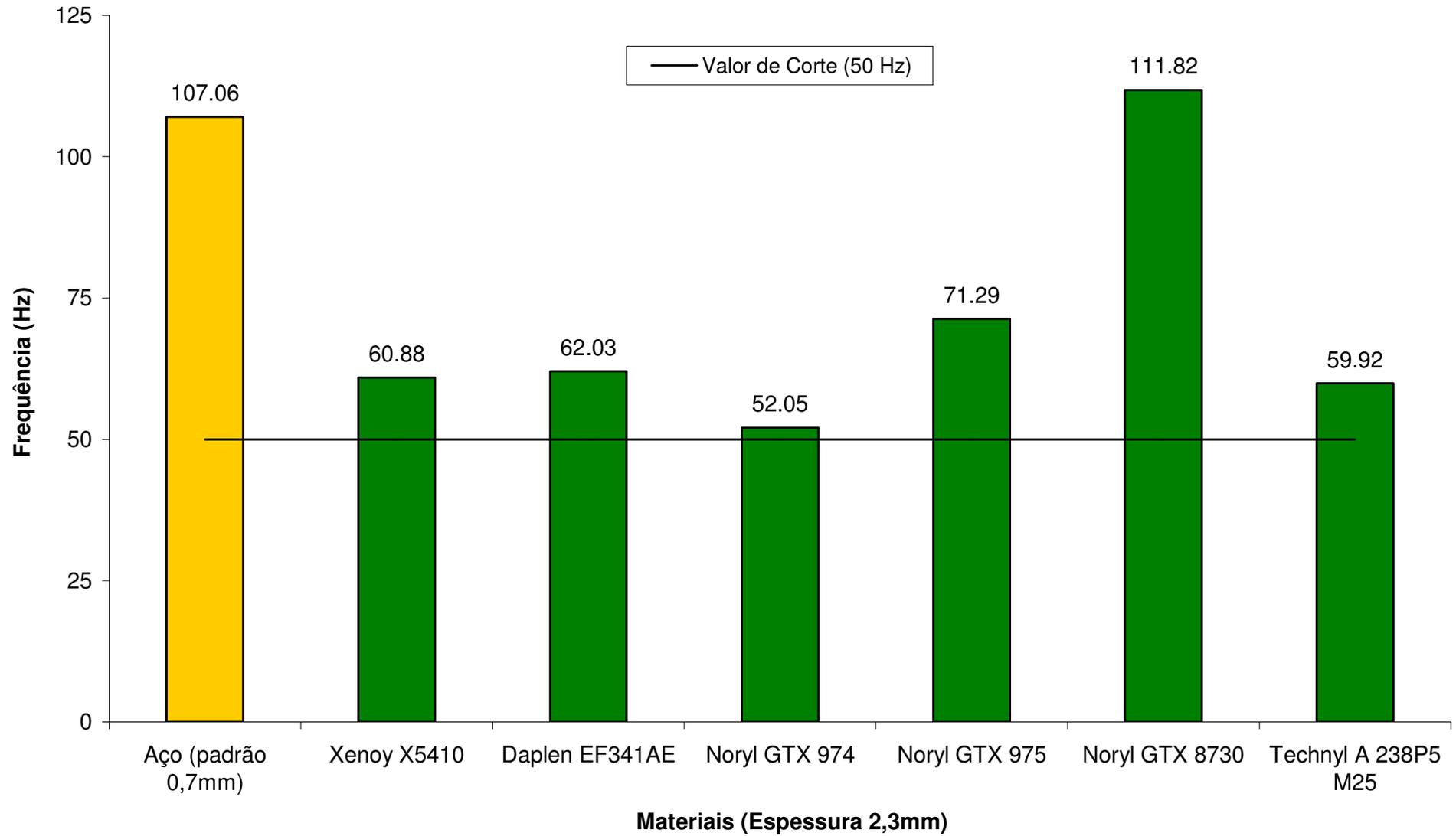
APÊNDICE B

**GRÁFICOS TIPO BARRAS DISPOSTOS POR ESPESSURAS
PARA OS VALORES DO CRITÉRIO FREQUÊNCIA**

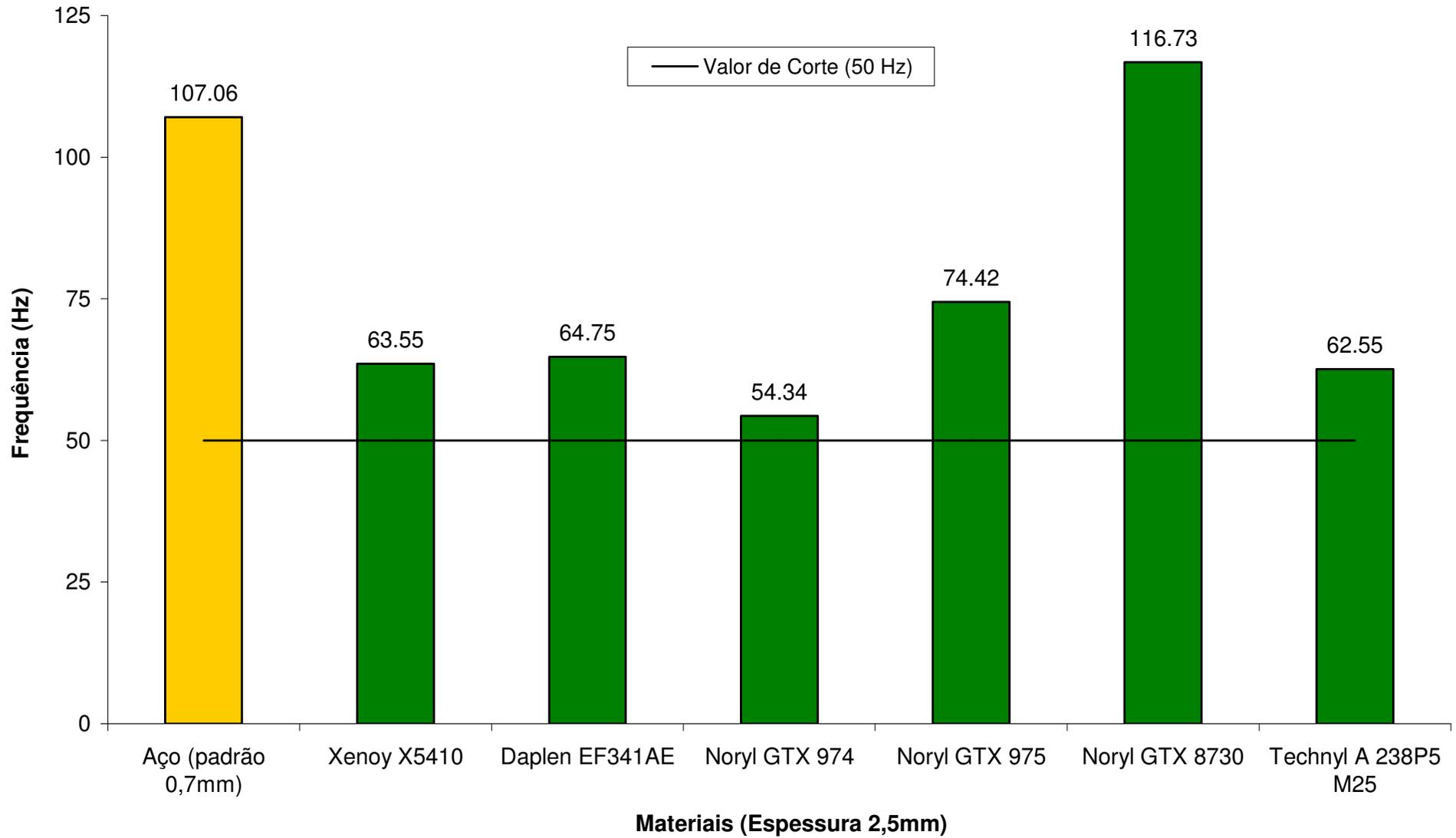
2,1mm de Espessura vs. Frequência do 1º Modo de Vibração



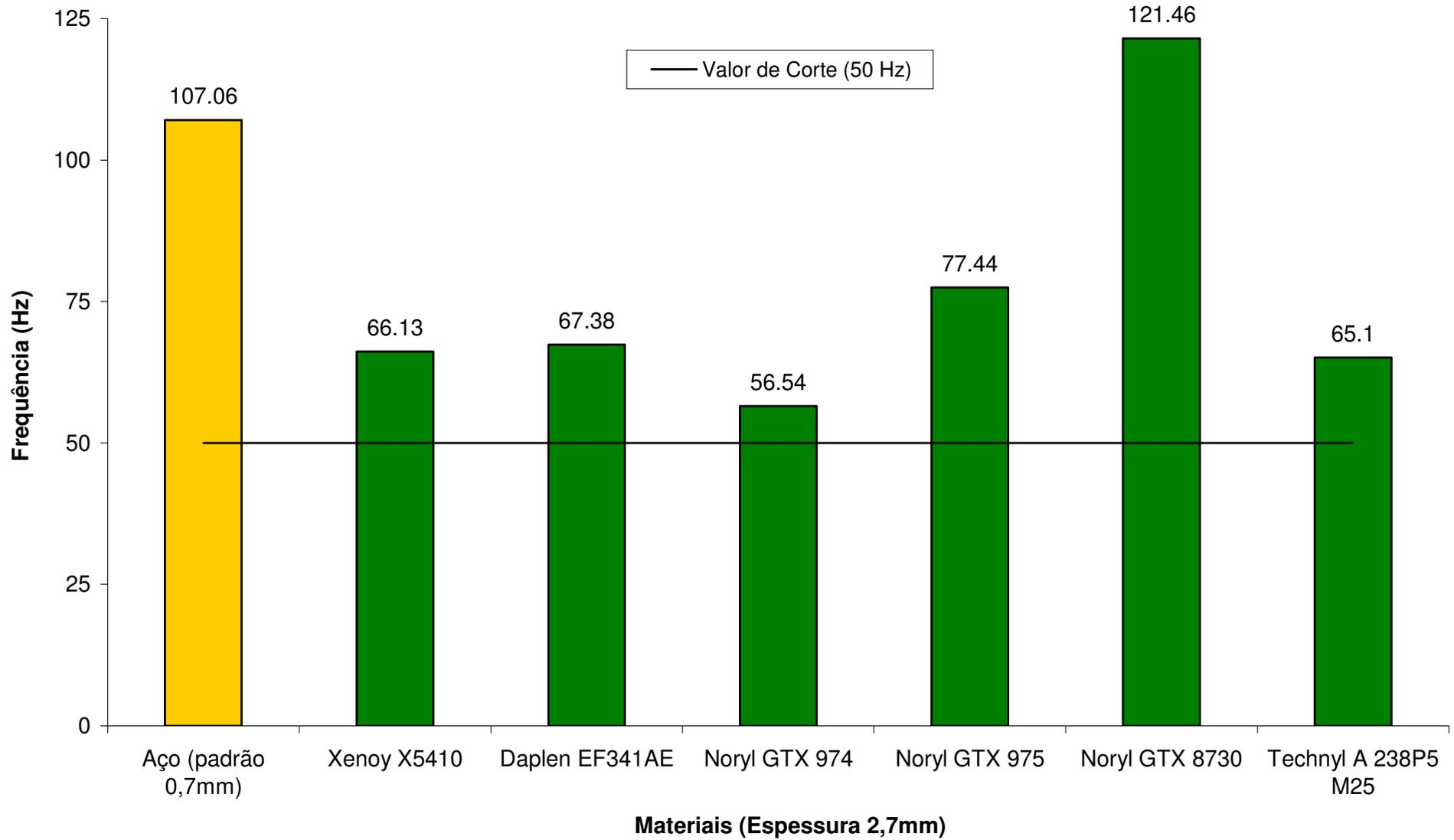
2,3mm de Espessura vs. Frequência do 1º Modo de Vibração



2,5mm de Espessura vs. Frequência do 1º Modo de Vibração



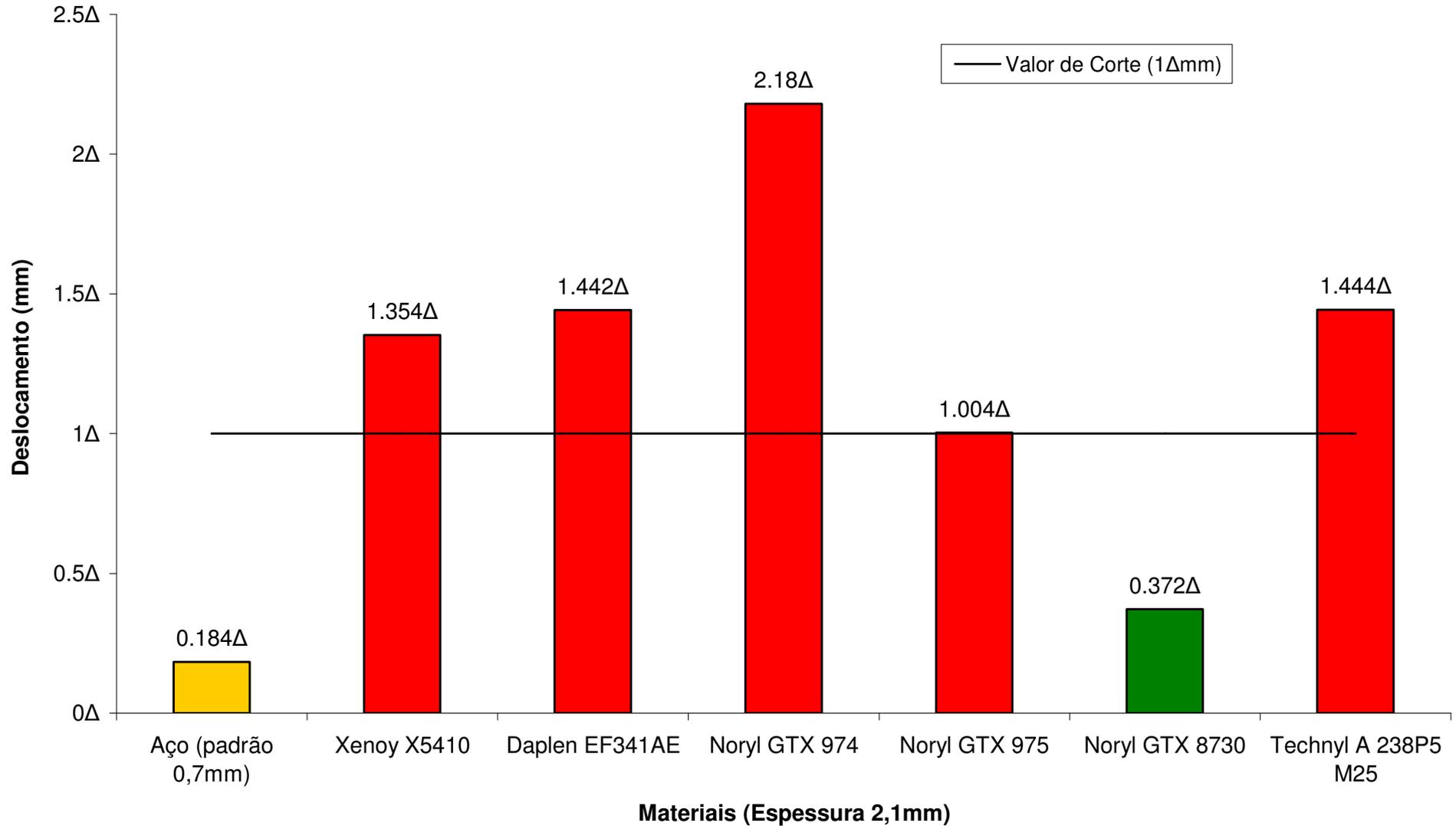
2,7mm de Espessura vs. Frequência do 1º Modo de Vibração



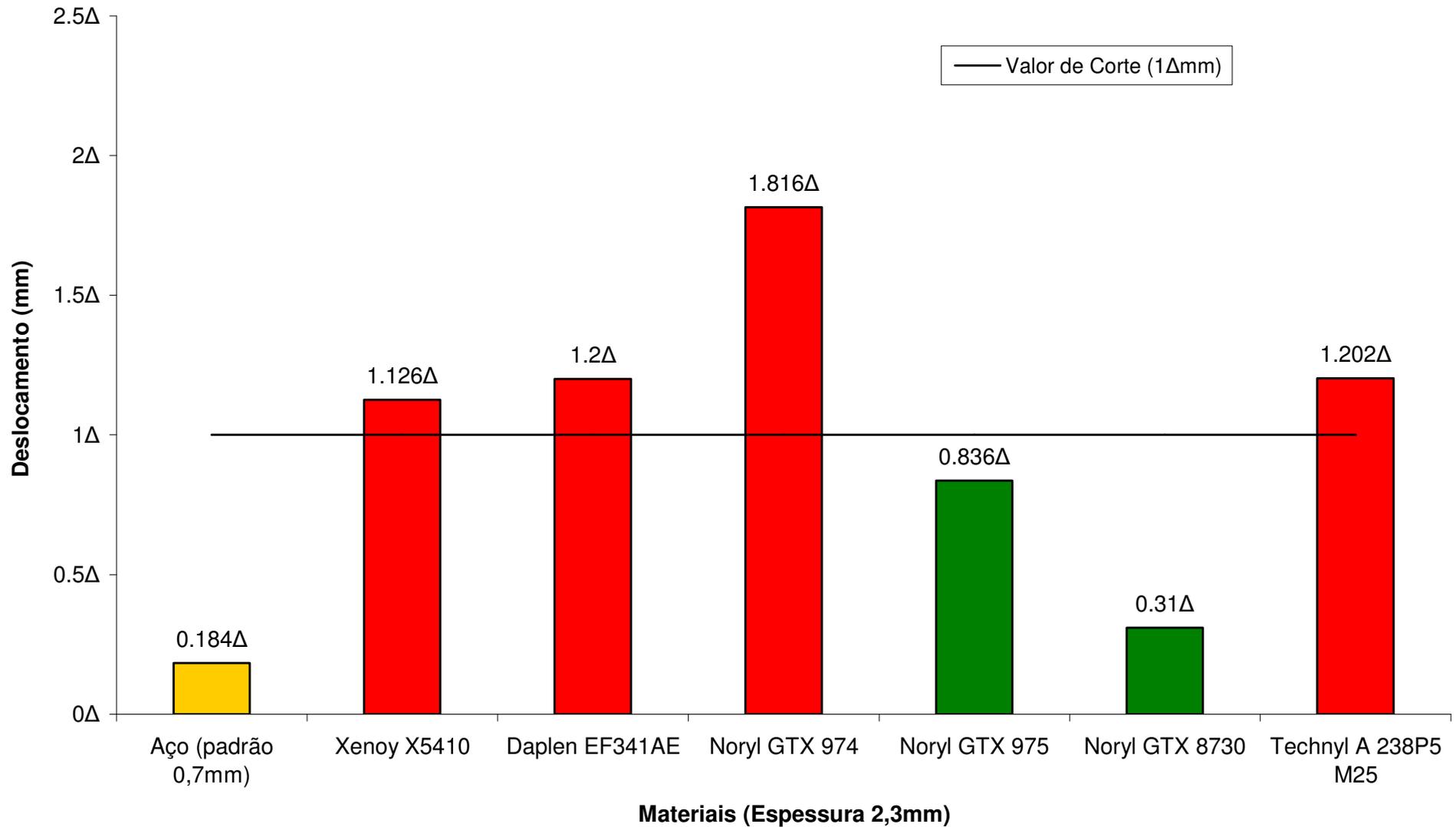
APÊNDICE C

**GRÁFICOS TIPO BARRAS DISPOSTOS POR ESPESSURAS
PARA OS VALORES DO CRITÉRIO DESLOCAMENTO**

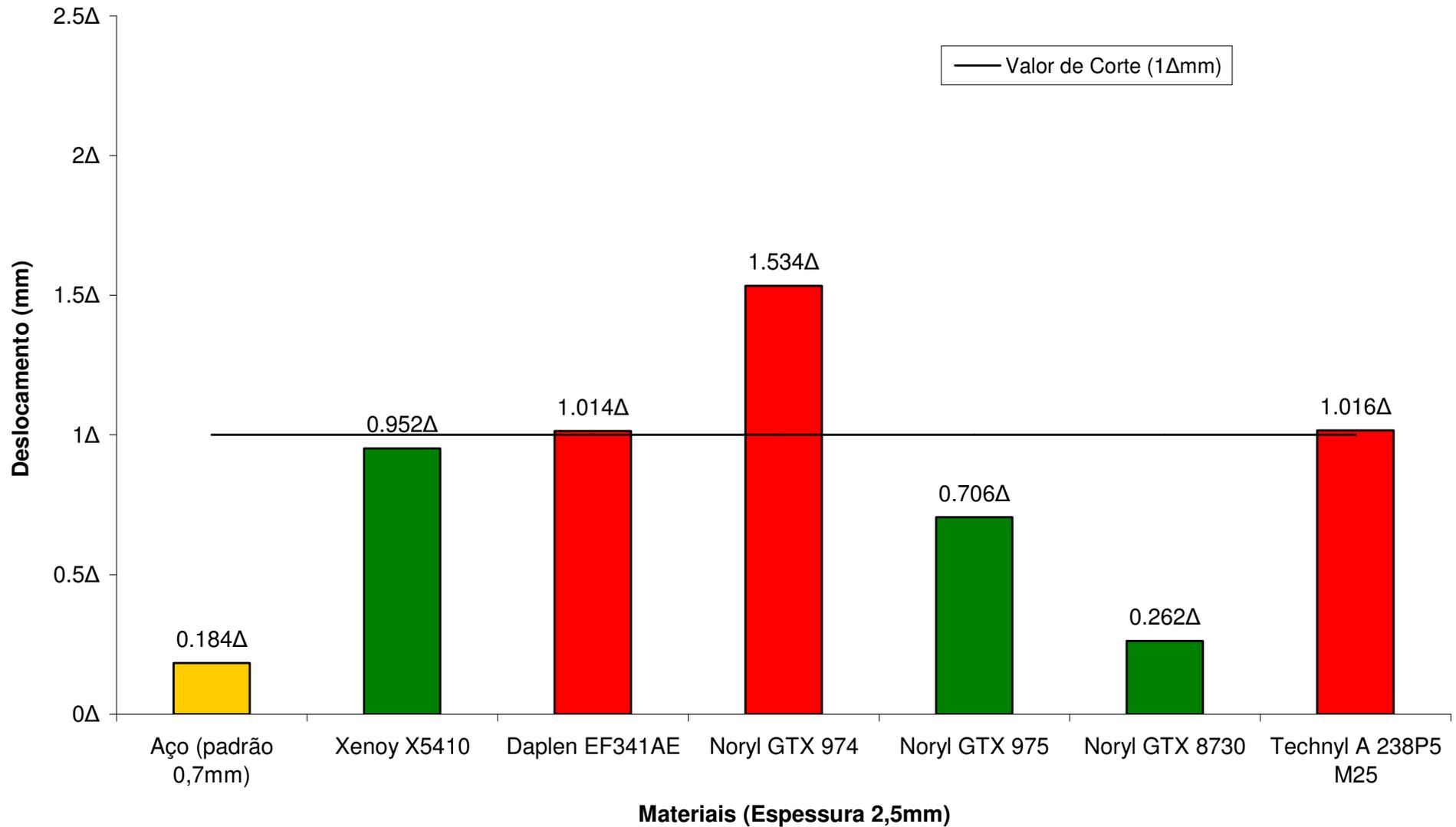
2,1mm de Espessura vs. Deslocamento com a Carga Aplicada



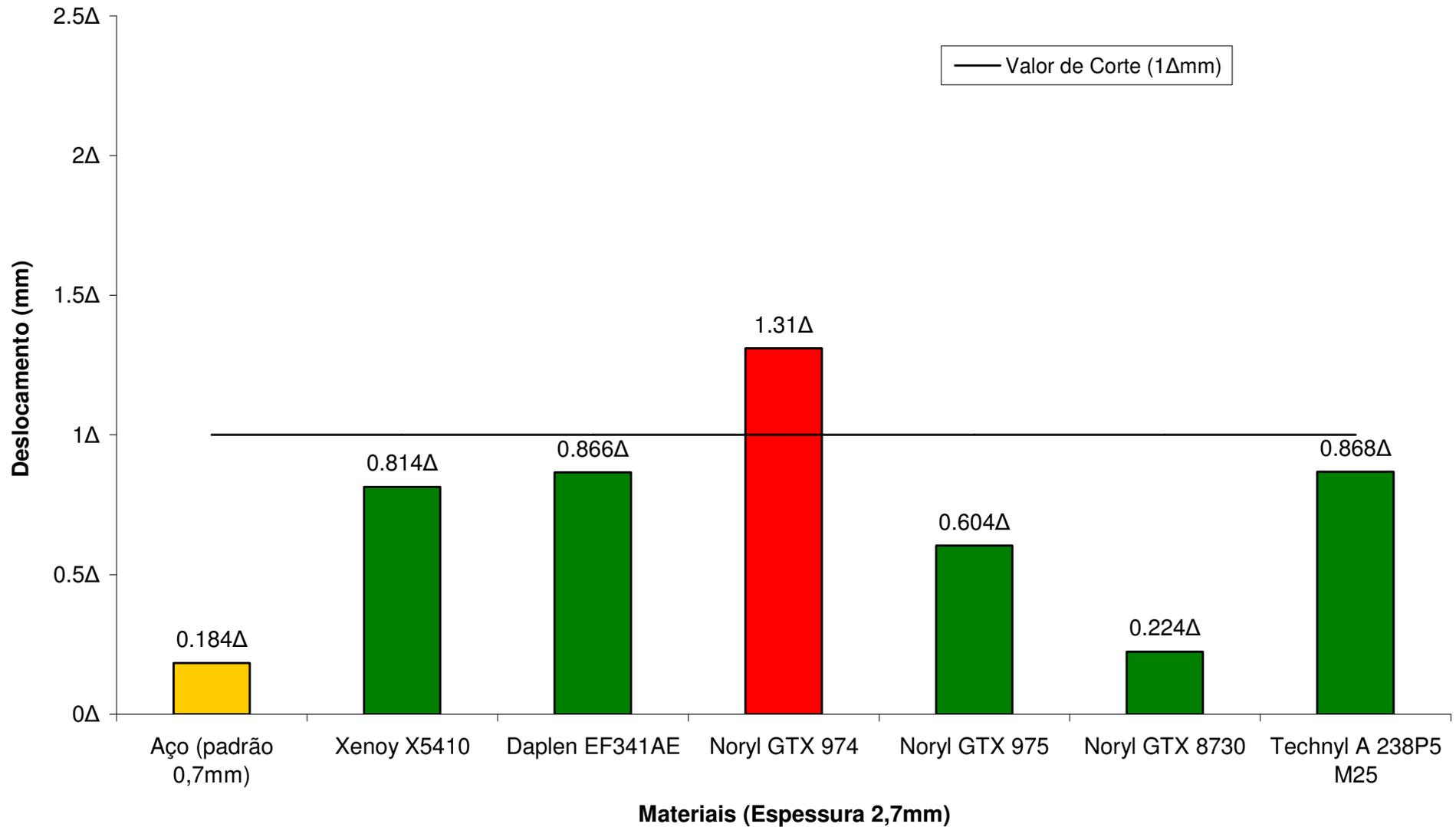
2,3mm de Espessura vs. Deslocamento com a Carga Aplicada



2,5mm de Espessura vs. Deslocamento com a Carga Aplicada



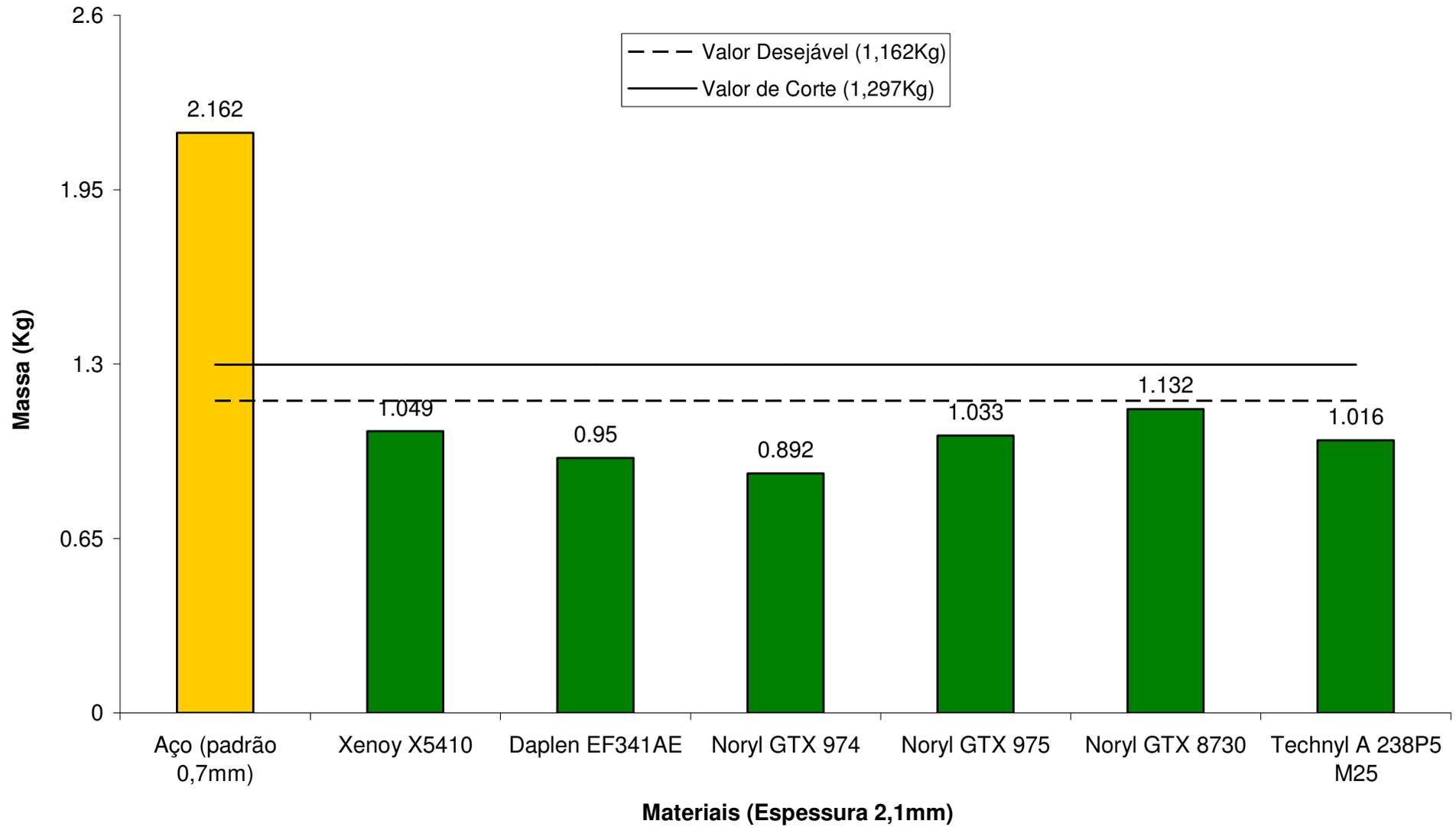
2,7mm de Espessura vs. Deslocamento com a Carga Aplicada



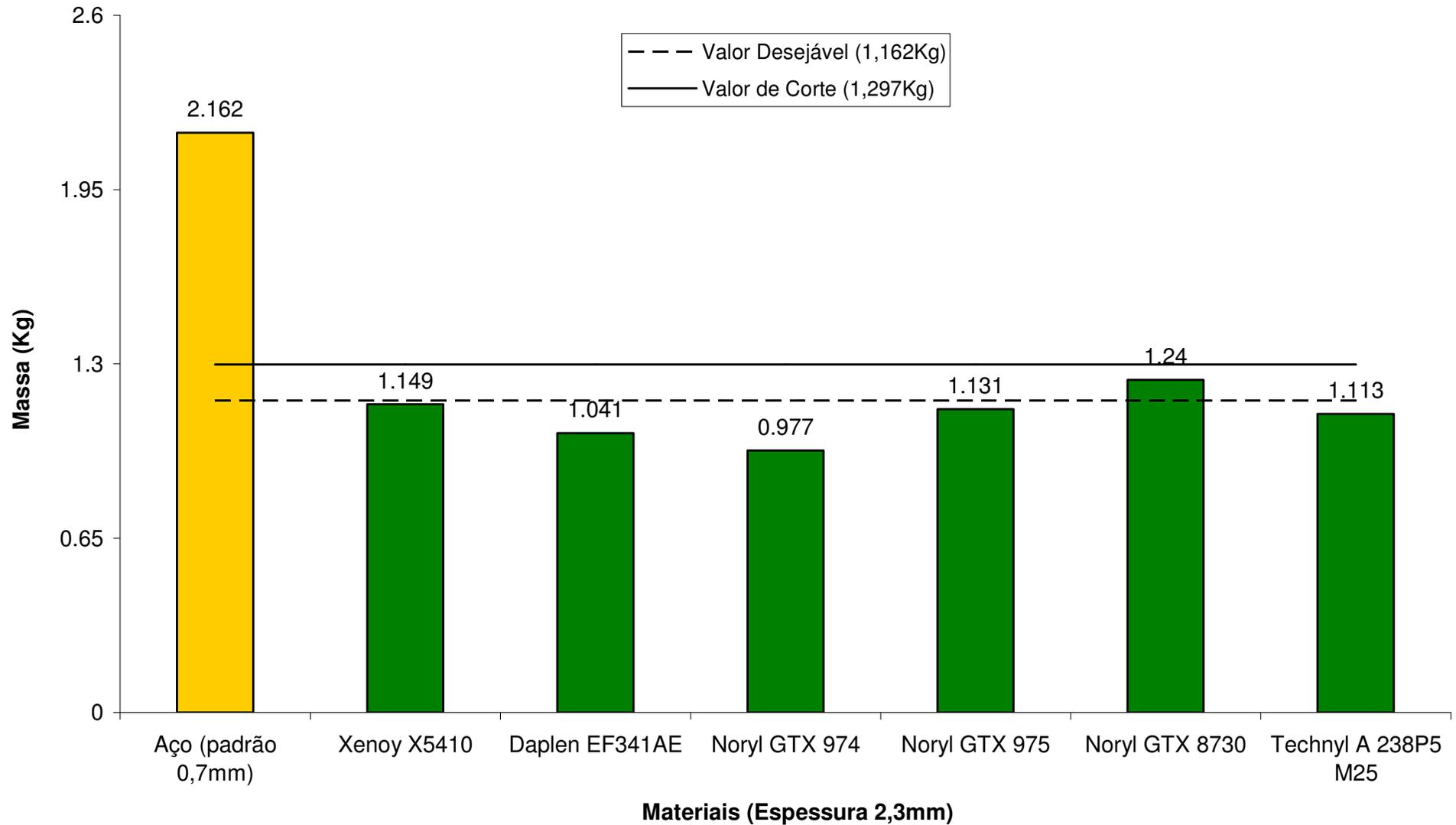
APÊNDICE D

**GRÁFICOS TIPO BARRAS DISPOSTOS POR ESPESSURAS
PARA OS VALORES DO CRITÉRIO MASSA**

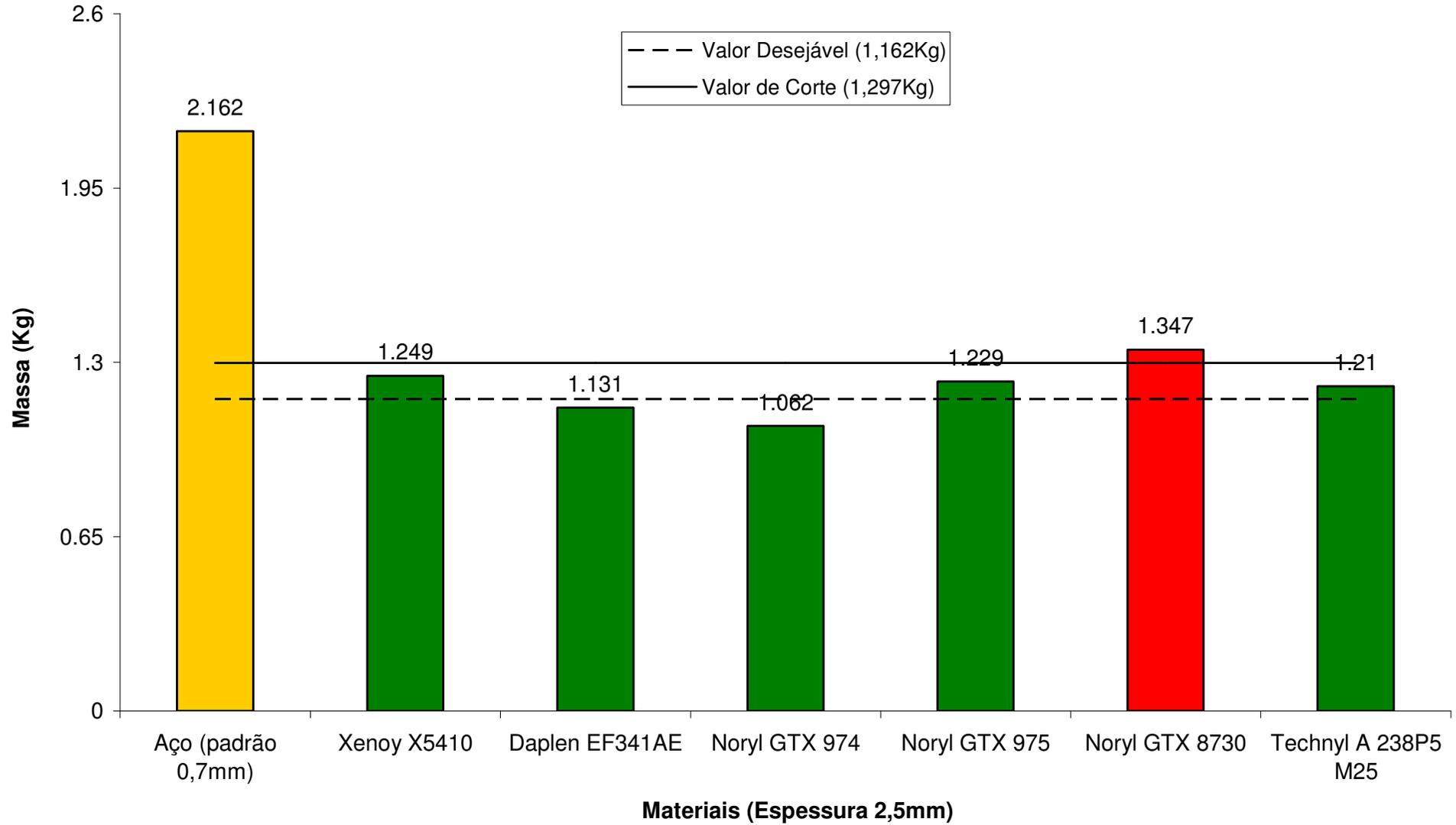
2,1mm de Espessura vs. Massa da Peça



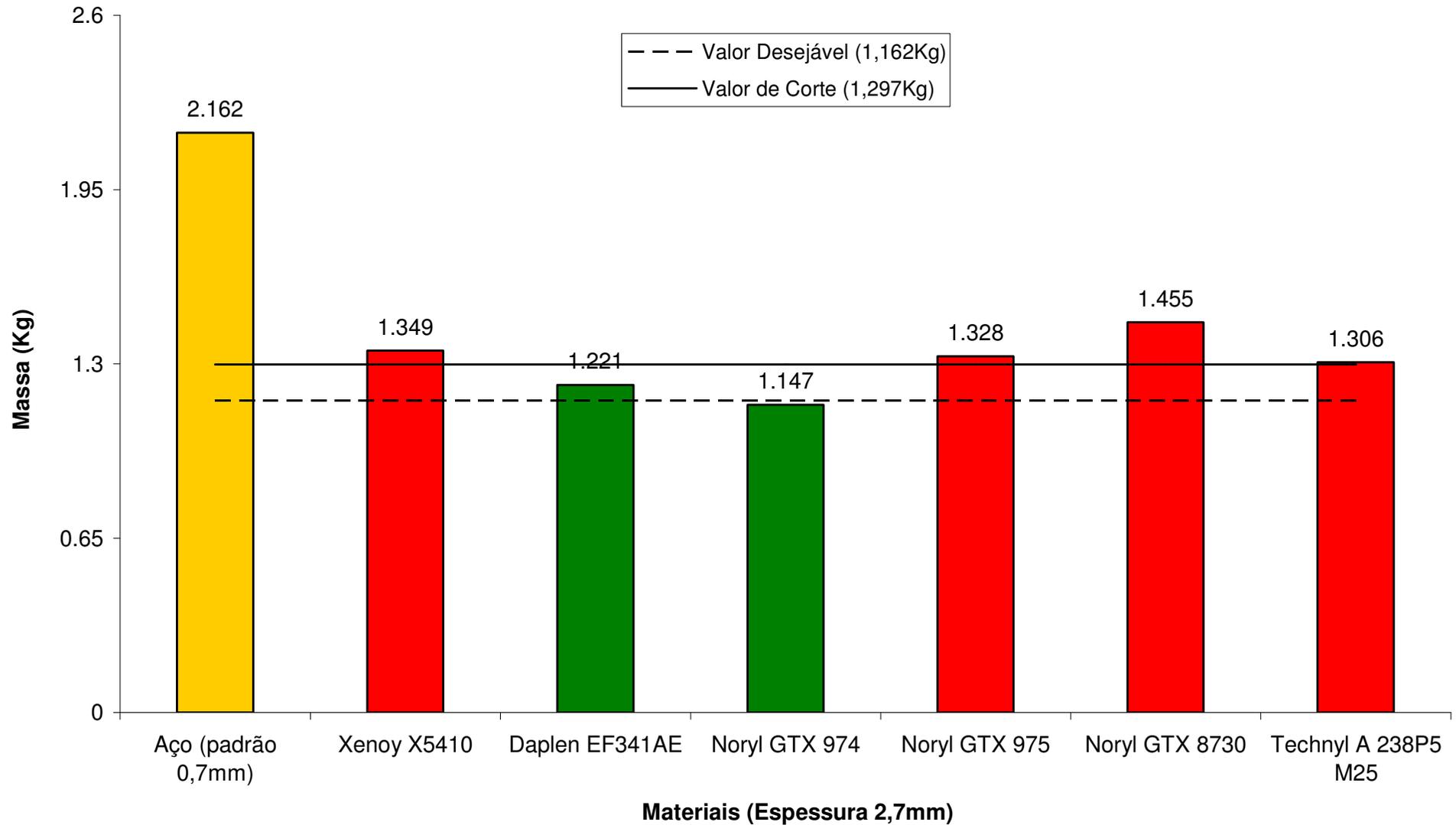
2,3mm de Espessura vs. Massa da Peça



2,5mm de Espessura vs. Massa da Peça



2,7mm de Espessura vs. Massa da Peça

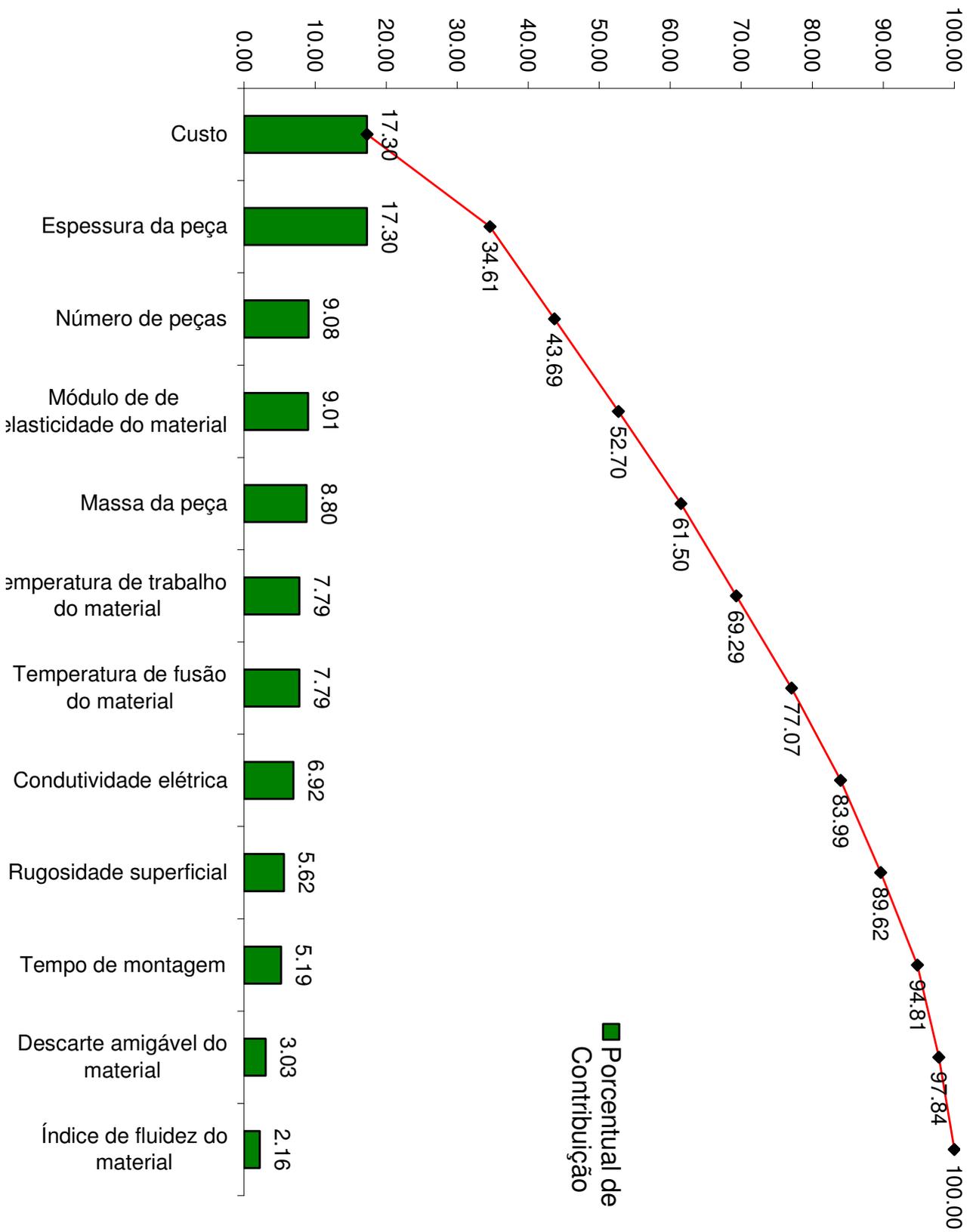


APÊNDICE E

QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT (QFD) E GRÁFICO DE PORCENTAGEM DE CONTRIBUIÇÃO DOS REQUISITOS

Primeira Matriz da Qualidade (casa da qualidade)

Custo		Correlação entre requisitos de cliente e de produto											Correlação										
		●	○	△	Forte	Moderado	Fraco	9	3	1	++	+	-	--									
Direcionador de melhoria		<<	<	>	>>	<<	>>	<<	>>	<<	>>	<<	>>	0	<<	>>	Concorrentes						
																	1	2	3	4	5		
		Custo	Massa da peça	Módulo de elasticidade do material	Temperatura de trabalho do material	Temperatura de fusão do material	Índice de fluidez do material	Espessura da peça	Tempo de montagem	Número de peças	Descarte amigável do material	Rugosidade superficial	Condutividade elétrica				Grau de importância (geral)						
																	Aço (Ø,7mm)	Daplen EF341AE (2,6mm)	Noryl GTX 975 (2,2mm)	Noryl GTX 8730 (1,9mm)	Technyl A 238P5 M25 (2,6mm)		
Requisitos do Cliente	Custo	Apresentar baixo custo	● ₉	○ ₉	○ ₃	○ ₃	○ ₃	○ ₃	○ ₃	● ₉	○ ₉	○ ₃	○ ₃				5	4	5	4	3	4	
	Montagem	Permitir fácil montagem no carro	△ ₁	○ ₃					○ ₃	● ₉	○ ₉							3	3	4	4	4	4
	Durabilidade	Resistir às intempéries	○ ₃		○ ₃	○ ₃			○ ₃				△ ₁					4	3	4	4	4	3
		Não degradar antes do tempo de durabilidade determinado	○ ₃						○ ₃				△ ₁					2	3	4	4	4	3
	Aparência	Resistir às temperaturas atuantes sem deformar	○ ₃		△ ₁	● ₉	● ₉		○ ₃									5	5	2	5	5	5
		Apresentar boa qualidade superficial	● ₉					○ ₃	○ ₃				● ₉	● ₉				5	4	5	5	3	5
		Possibilitar pintura on-line	● ₉			● ₉	● ₉					○ ₃	● ₉					4	5	1	5	5	5
	Meio-Ambiente	Ser reciclável	△ ₁	△ ₁					△ ₁		○ ₃	● ₉						3	4	5	5	3	5
	Massa	Cumprir o requisito imposto para massa	● ₉	● ₉	○ ₃				● ₉		● ₉							5	1	4	5	5	3
	Desempenho	Cumprir o requisito imposto para flexão	○ ₃	○ ₃	● ₉				● ₉									5	5	3	3	4	3
Cumprir o requisito imposto para vibração		○ ₃	△ ₁	● ₉				● ₉									5	5	3	3	4	3	
																	46						
Grau de importância (req. produto)		240.0	122.0	125.0	108.0	108.0	30.0	240.0	72.0	126.0	42.0	78.0	96.0	1387.0									
Percentual		17.3	8.8	9.0	7.8	7.8	2.2	17.3	5.2	9.1	3.0	5.6	6.9	100.0									
Unidade		UNV\$	Kg	MPa	°C	°C	g/10min	mm	s	und.	...	µm	Ω*cm										



ANEXO A

CARTAS DE DADOS DOS MATERIAIS TERMOPLÁSTICOS CONSIDERADOS NA PESQUISA

XENYOY* X5410 Resin

Polycarbonate + PET

SABIC Innovative Plastics



Product Description

Mineral filled PC+PET resin with high heat dimensional stability for paint systems. It has very low CTE and excellent flow - impact balance for automotive exterior applications, like body panels, tailgates, spoilers, rockerpanels or tankflaps

General

Material Status	• Commercial: Active
Availability	• North America
Filler / Reinforcement	• Mineral Filler
Features	• Good Dimensional Stability • Good Flow • Good Impact Resistance • High Heat Resistance • Paintable
Uses	• Automotive Exterior Parts
Processing Method	• Injection Molding

Physical	Nominal Value Unit	Test Method
Specific Gravity	1.27 g/cm ³	ASTM D792 ISO 1183
Melt Mass-Flow Rate (MFR)		
250°C/2.16 kg	0.20 g/10 min	ASTM D1238
265°C/2.16 kg	19 g/10 min	ASTM D1238
250°C/2.16 kg	0.22 g/10 min	ISO 1133
Melt Volume-Flow Rate (MVR)		ISO 1133
250°C/2.16 kg	0.210 cm ³ /10min	
265°C/2.16 kg	18.0 cm ³ /10min	
Molding Shrinkage - Flow (3.20 mm)	0.65 to 0.75 %	Internal Method
Water Absorption		ISO 62
Saturation, 23°C	0.42 %	
Equilibrium, 23°C, 50% RH	0.14 %	

Mechanical	Nominal Value Unit	Test Method
Tensile Modulus		
-- ²	3230 MPa	ASTM D638
--	3190 MPa	ISO 527-2/1
Tensile Strength		
Yield ³	56.1 MPa	ASTM D638
Yield ⁴	56.5 MPa	Internal Method
Yield	55.8 MPa	ISO 527-2/5
Break ³	45.0 MPa	ASTM D638
Break ⁴	45.0 MPa	Internal Method
Break	26.8 MPa	ISO 527-2/5
Tensile Elongation		
Yield ³	4.2 %	ASTM D638
Yield ⁴	67 %	Internal Method
Yield	4.1 %	ISO 527-2/5
Break ³	39 %	ASTM D638
Break ⁴	100 %	Internal Method
Break	12 %	ISO 527-2/5
Flexural Modulus		
50.0 mm Span ⁵	2990 MPa	ASTM D790
-- ⁶	2710 MPa	ISO 178
Flexural Strength		
-- ^{6,7}	93.9 MPa	ISO 178
Yield, 50.0 mm Span ⁵	92.3 MPa	ASTM D790

Impact	Nominal Value Unit	Test Method
Charpy Notched Impact Strength ⁸ (23°C)	9.1 kJ/m ²	ISO 179/1eA

1 of 3

Copyright © 2010 - IDES - The Plastics Web ® | 800-788-4668 or 307-742-9227 | www.ides.com.

The information presented on this datasheet was acquired by IDES from the producer of the material. IDES makes substantial efforts to assure the accuracy of this data. However, IDES assumes no responsibility for the data values and strongly encourages that upon final material selection, data points are validated with the material supplier.

Revision History

Document Created: Tuesday, October 26, 2010
Added to Prospector: July, 2005
Last Updated: 8/6/2010

Tuesday, October 26, 2010

XENOPY* X5410 Resin
Polycarbonate + PET
SABIC Innovative Plastics

Impact	Nominal Value Unit	Test Method
Notched Izod Impact		
-30°C	82 J/m	ASTM D256
23°C	87 J/m	ASTM D256
-30°C ⁹	7.5 kJ/m ²	ISO 180/1A
23°C ⁹	8.0 kJ/m ²	ISO 180/1A
Instrumented Dart Impact		ASTM D3763
23°C, Total Energy	55.0 J	
Thermal	Nominal Value Unit	Test Method
Deflection Temperature Under Load		
0.45 MPa, Unannealed, 3.20 mm	129 °C	ASTM D648
0.45 MPa, Unannealed, 6.40 mm	134 °C	ASTM D648
0.45 MPa, Unannealed, 64.0 mm Span ¹⁰	129 °C	ISO 75-2/Bf
1.8 MPa, Unannealed, 3.20 mm	109 °C	ASTM D648
1.8 MPa, Unannealed, 6.40 mm	121 °C	ASTM D648
1.8 MPa, Unannealed, 64.0 mm Span ¹⁰	105 °C	ISO 75-2/Af
Vicat Softening Temperature		
--	138 °C	ASTM D1525 ¹¹ ISO 306/B50 ¹¹
--	140 °C	ISO 306/B120
Ball Pressure Test (75°C)	Pass	IEC 60695-10-2
CLTE		
Flow: -40 to 60°C	0.000059 cm/cm/°C	ASTM E831
Flow: -30 to 80°C	0.000058 cm/cm/°C	ISO 11359-2
Transverse: -40 to 60°C	0.000071 cm/cm/°C	ASTM E831
Transverse: 23 to 80°C	0.000070 cm/cm/°C	ISO 11359-2
Injection	Nominal Value Unit	
Drying Temperature	110 °C	
Drying Time	4.0 to 6.0 hr	
Drying Time, Maximum	8.0 hr	
Suggested Max Moisture	0.020 %	
Suggested Shot Size	50 to 80 %	
Rear Temperature	243 to 266 °C	
Middle Temperature	249 to 271 °C	
Front Temperature	254 to 277 °C	
Nozzle Temperature	254 to 271 °C	
Processing (Melt) Temp	260 to 277 °C	
Mold Temperature	65.6 to 87.8 °C	
Back Pressure	0.345 to 0.689 MPa	
Screw Speed	50 to 80 rpm	
Vent Depth	0.013 to 0.020 mm	

Revision History
 Document Created: Tuesday, October 26, 2010
 Added to Prospector: July, 2005
 Last Updated: 8/6/2010

Tuesday, October 26, 2010

XENYOY* X5410 Resin
Polycarbonate + PET
SABIC Innovative Plastics

Notes

¹ Typical properties: these are not to be construed as specifications.

² 5.0 mm/min

³ Type I, 5.0 mm/min

⁴ Type I, 10 mm/min

⁵ 1.3 mm/min

⁶ 2.0 mm/min

⁷ Yield

⁸ 80*10*4 sp=62mm

⁹ 80*10*4

¹⁰ 80*10*4 mm

¹¹ Rate B (120°C/h), Loading 2 (50 N)

Daplen™ EF341AE

Polypropylene

Borealis A/S



Product Description

Daplen EF341AE is a 30% mineral filled elastomer modified polypropylene compound intended for injection moulding.

This material has excellent balanced mechanical properties, gives a good surface quality and is easy to process.

General

Material Status	• Commercial: Active
Availability	• North America
Filler / Reinforcement	• Mineral Filler, 30% Filler by Weight
Features	• Good Processability • Good Surface Finish • Low Shrinkage
Uses	• Automotive Exterior Parts
Forms	• Pellets
Processing Method	• Injection Molding

Physical	Nominal Value Unit	Test Method
Density	1.15 g/cm ³	ISO 1183
Melt Mass-Flow Rate (MFR) (230°C/2.16 kg)	15 g/10 min	ISO 1133
Molding Shrinkage		Internal Method
-- ²	0.75 %	
90°C, 2 hr	0.10 %	

Mechanical	Nominal Value Unit	Test Method
Tensile Modulus	3100 MPa	ISO 527-2/1
Tensile Stress (Yield)	25.0 MPa	ISO 527-2/50
Tensile Strain		ISO 527-2/50
Yield	2.6 %	
Break	20 %	
Flexural Modulus ³	3300 MPa	ISO 178
Flexural Strength	37.0 MPa	ISO 178

Impact	Nominal Value Unit	Test Method
Charpy Notched Impact Strength		ISO 179/1eA
-30°C	2.4 kJ/m ²	
-20°C	2.5 kJ/m ²	
23°C	7.5 kJ/m ²	
Charpy Unnotched Impact Strength		ISO 179/1eU
-20°C	29 kJ/m ²	
23°C	63 kJ/m ²	
Notched Izod Impact Strength		ISO 180/1A
-20°C	2.8 kJ/m ²	
23°C	9.0 kJ/m ²	

Hardness	Nominal Value Unit	Test Method
Ball Indentation Hardness (H 132/10)	63.0 MPa	ISO 2039-1

Thermal	Nominal Value Unit	Test Method
Heat Deflection Temperature		
0.45 MPa, Unannealed	123 °C	ISO 75-2/B
1.8 MPa, Unannealed	70.0 °C	ISO 75-2/A
Vicat Softening Temperature		
--	150 °C	ISO 306/A50
--	64.0 °C	ISO 306/B50
CLTE - Flow (-30 to 80°C)	0.000054 cm/cm/°C	Internal Method

Injection	Nominal Value Unit
Drying Temperature	80.0 °C
Drying Time	2.0 hr
Hopper Temperature	40.0 to 80.0 °C
Processing (Melt) Temp	220 to 260 °C

1 of 2

Copyright © 2010 - IDES - The Plastics Web ® | 800-788-1668 or 307-742-9227 | www.ides.com.

Revision History

Document Created: Thursday, November 11, 2010
 Added to Prospector: May, 2008
 Last Updated: 5/30/2008

The information presented on this datasheet was acquired by IDES from the producer of the material. IDES makes substantial efforts to assure the accuracy of this data. However, IDES assumes no responsibility for the data values and strongly encourages that upon final material selection, data points are validated with the material supplier.

Daplen™ EF341AE
Polypropylene
Borealis A/S

Thursday, November 11, 2010

Injection	Nominal Value Unit
Mold Temperature	30.0 to 50.0 °C
Holding Pressure	30.0 to 60.0 MPa

Injection Notes

Back pressure: Low to medium
Screw speed: Low to medium
Flow front speed: 100 - 200 mm/s

Notes

¹ Typical properties: these are not to be construed as specifications.

² disk

³ 2.0 mm/min

NORYL GTX* GTX974 Resin

Polyphenylene Ether + PS + Nylon

SABIC Innovative Plastics



Product Description

NORYL GTX974 is a material especially designed for in- or on-line painted bodypanels and fenders in particular. This material combines impact performance with conductivity for electro-static painting in a unique way.

General

Material Status	• Commercial: Active
Availability	• North America
Features	• Electrically Conductive • Good Impact Resistance • Paintable
Uses	• Automotive Applications
Processing Method	• Injection Molding

Physical	Nominal Value Unit	Test Method
Specific Gravity	1.08 g/cm ³	ASTM D792 ISO 1183
Melt Mass-Flow Rate (MFR) (280°C/5.0 kg)	10 g/10 min	ASTM D1238
Melt Volume-Flow Rate (MVR) (280°C/5.0 kg)	12.0 cm ³ /10min	ISO 1133
Molding Shrinkage		Internal Method
Flow: 3.20 mm	1.3 to 1.6 %	
Across Flow: 3.20 mm	1.1 to 1.4 %	
Water Absorption		ISO 62
Saturation, 23°C	4.2 %	
Equilibrium, 23°C, 50% RH	1.2 %	

Mechanical	Nominal Value Unit	Test Method
Tensile Modulus		
-- ²	2050 MPa	ASTM D638
--	2000 MPa	ISO 527-2/1
Tensile Strength		
Yield ³	55.0 MPa	ASTM D638
Yield	50.0 MPa	ISO 527-2/50
Break ³	50.0 MPa	ASTM D638
Break	45.0 MPa	ISO 527-2/50
Tensile Elongation		
Yield ³	5.0 %	ASTM D638
Yield	4.0 %	ISO 527-2/50
Break ³	50 %	ASTM D638
Break	30 %	ISO 527-2/50
Flexural Modulus		
50.0 mm Span ⁴	2050 MPa	ASTM D790
-- ⁵	1900 MPa	ISO 178
Flexural Strength		
-- ^{5,6}	75.0 MPa	ISO 178
Yield, 50.0 mm Span ⁴	80.0 MPa	ASTM D790

Impact	Nominal Value Unit	Test Method
Charpy Notched Impact Strength ⁷		ISO 179/1eA
-30°C	10 kJ/m ²	
23°C	18 kJ/m ²	
Notched Izod Impact		
-30°C	120 J/m	ASTM D256
23°C	180 J/m	ASTM D256
-30°C ⁸	10 kJ/m ²	ISO 180/1A
23°C ⁸	17 kJ/m ²	ISO 180/1A
Instrumented Dart Impact		ASTM D3763
23°C, Total Energy	50.0 J	

1 of 2

Copyright © 2010 - IDES - The Plastics Web ® | 800-788-1668 or 307-742-9227 | www.ides.com.

The information presented on this datasheet was acquired by IDES from the producer of the material. IDES makes substantial efforts to assure the accuracy of this data. However, IDES assumes no responsibility for the data values and strongly encourages that upon final material selection, data points are validated with the material supplier.

Revision History

Document Created: Tuesday, October 26, 2010
 Added to Prospector: July, 2007
 Last Updated: 8/6/2010

Tuesday, October 26, 2010

NORYL GTX* GTX974 Resin
Polyphenylene Ether + PS + Nylon
SABIC Innovative Plastics

Thermal	Nominal Value Unit	Test Method
Deflection Temperature Under Load		
0.45 MPa, Unannealed, 3.20 mm	180 °C	ASTM D648
0.45 MPa, Unannealed, 100 mm Span ⁹	175 °C	ISO 75-2/Be
Vicat Softening Temperature		
--	180 °C	ASTM D1525 ¹⁰ ISO 306/B120 ¹⁰
--	230 °C	ISO 306/A50
--	175 °C	ISO 306/B50
Ball Pressure Test (125°C)	Pass	IEC 60695-10-2
CLTE		
Flow: -40 to 40°C	0.000090 cm/cm/°C	ASTM E831
Flow: 23 to 60°C	0.00010 cm/cm/°C	ISO 11359-2
Transverse: -40 to 40°C	0.00010 cm/cm/°C	ASTM E831
Transverse: 23 to 60°C	0.000090 cm/cm/°C	ISO 11359-2
Electrical	Nominal Value Unit	Test Method
Volume Resistivity	1.0E+3 to 1.0E+4 ohm-cm	Internal Method
Flammability	Nominal Value Unit	Test Method
Flame Rating - UL		UL 94
1.50 mm	HB	
3.00 mm	HB	
Injection	Nominal Value Unit	
Drying Temperature	100 to 120 °C	
Drying Time	2.0 to 3.0 hr	
Suggested Max Moisture	0.070 %	
Hopper Temperature	60.0 to 80.0 °C	
Rear Temperature	260 to 280 °C	
Middle Temperature	280 to 300 °C	
Front Temperature	290 to 320 °C	
Nozzle Temperature	280 to 310 °C	
Processing (Melt) Temp	290 to 320 °C	
Mold Temperature	80.0 to 120 °C	

Injection Notes

Minimum Moisture Content: 0.02 %

Notes

¹ Typical properties: these are not to be construed as specifications.

² 50 mm/min

³ Type I, 50 mm/min

⁴ 1.3 mm/min

⁵ 2.0 mm/min

⁶ Yield

⁷ 80*10*4 sp=62mm

⁸ 80*10*4

⁹ 120*10*4 mm

¹⁰ Rate B (120°C/h), Loading 2 (50 N)

NORYL GTX* GTX975 Resin

Polyphenylene Ether + PS + Nylon

SABIC Innovative Plastics



Product Description

NORYL GTX975 is a 18% mineral filled material especially designed for in- or on-line painted exterior automotive trim part, e.g. tankflaps and corner panels. This material combines high stiffness and excellent temperature resistance with conductivity for electrostatic painting in an unique way.

General

Material Status	• Commercial: Active
Availability	• North America
Filler / Reinforcement	• Mineral Filler, 18% Filler by Weight
Features	• Conductive • High Stiffness • High Heat Resistance • Paintable
Uses	• Automotive Exterior Parts • Automotive Exterior Trim
Processing Method	• Injection Molding

Physical	Nominal Value Unit	Test Method
Specific Gravity		
--	1.25 g/cm ³	ASTM D792
--	1.20 g/cm ³	ISO 1183
Melt Mass-Flow Rate (MFR) (280°C/5.0 kg)	15 g/10 min	ASTM D1238
Melt Volume-Flow Rate (MVR) (280°C/5.0 kg)	10.0 cm ³ /10min	ISO 1133
Molding Shrinkage - Flow (3.20 mm)	0.80 to 1.2 %	Internal Method
Water Absorption		ISO 62
Saturation, 23°C	3.5 %	
Equilibrium, 23°C, 50% RH	1.1 %	

Mechanical	Nominal Value Unit	Test Method
Tensile Modulus		
-- ²	4450 MPa	ASTM D638
--	4200 MPa	ISO 527-2/1
Tensile Strength		
Yield ³	69.0 MPa	ASTM D638
Yield	65.0 MPa	ISO 527-2/5
Break ³	68.0 MPa	ASTM D638
Break	65.0 MPa	ISO 527-2/5
Tensile Elongation		
Yield ³	3.5 %	ASTM D638
Yield	3.5 %	ISO 527-2/5
Break ³	4.5 %	ASTM D638
Break	4.0 %	ISO 527-2/5
Flexural Modulus		
50.0 mm Span ⁴	4000 MPa	ASTM D790
-- ⁵	4000 MPa	ISO 178
Flexural Strength		
-- ^{5,6}	110 MPa	ISO 178
Yield, 50.0 mm Span ⁴	113 MPa	ASTM D790

Impact	Nominal Value Unit	Test Method
Charpy Notched Impact Strength ⁷		ISO 179/1eA
-30°C	3.0 kJ/m ²	
23°C	3.5 kJ/m ²	
Charpy Unnotched Impact Strength ⁷		ISO 179/1eU
-30°C	35 kJ/m ²	
23°C	40 kJ/m ²	
Notched Izod Impact		
-30°C	30 J/m	ASTM D256
23°C	35 J/m	ASTM D256
-30°C ⁸	4.0 kJ/m ²	ISO 180/1A

1 of 2

Copyright © 2010 - IDES - The Plastics Web ® | 800-788-1668 or 307-742-9227 | www.ides.com.

The information presented on this datasheet was acquired by IDES from the producer of the material. IDES makes substantial efforts to assure the accuracy of this data. However, IDES assumes no responsibility for the data values and strongly encourages that upon final material selection, data points are validated with the material supplier.

Revision History

Document Created: Tuesday, October 26, 2010
 Added to Prospector: December, 2007
 Last Updated: 8/6/2010

Tuesday, October 26, 2010

NORYL GTX* GTX975 Resin
Polyphenylene Ether + PS + Nylon
SABIC Innovative Plastics

Impact	Nominal Value Unit	Test Method
23°C ⁸	4.0 kJ/m ²	ISO 180/1A
Unnotched Izod Impact Strength ⁸		ISO 180/1U
-30°C	35 kJ/m ²	
23°C	40 kJ/m ²	
Instrumented Dart Impact		ASTM D3763
23°C, Total Energy	3.00 J	
Thermal	Nominal Value Unit	Test Method
Deflection Temperature Under Load		
0.45 MPa, Unannealed, 3.20 mm	210 °C	ASTM D648
0.45 MPa, Unannealed, 100 mm Span ⁹	185 °C	ISO 75-2/Be
Vicat Softening Temperature		
--	215 °C	ASTM D1525 ¹⁰
--	195 °C	ISO 306/B50
--	200 °C	ISO 306/B120
CLTE		
Flow: -40 to 40°C	0.000054 cm/cm/°C	ASTM E831
Flow: 23 to 60°C	0.000050 cm/cm/°C	ISO 11359-2
Transverse: -40 to 40°C	0.000060 cm/cm/°C	ASTM E831
Transverse: 23 to 60°C	0.000065 cm/cm/°C	ISO 11359-2
Electrical	Nominal Value Unit	Test Method
Volume Resistivity	1.0E+3 to 1.0E+4 ohm·cm	Internal Method
Injection	Nominal Value Unit	
Drying Temperature	100 to 110 °C	
Drying Time	2.0 to 3.0 hr	
Suggested Max Moisture	0.020 %	
Hopper Temperature	80.0 to 100 °C	
Rear Temperature	260 to 280 °C	
Middle Temperature	280 to 300 °C	
Front Temperature	300 to 320 °C	
Nozzle Temperature	280 to 300 °C	
Processing (Melt) Temp	300 to 320 °C	
Mold Temperature	100 to 120 °C	

Notes

¹ Typical properties: these are not to be construed as specifications.

² 5.0 mm/min

³ Type I, 5.0 mm/min

⁴ 1.3 mm/min

⁵ 2.0 mm/min

⁶ Break

⁷ 80*10*4 sp=62mm

⁸ 80*10*4

⁹ 120*10*4 mm

¹⁰ Rate B (120°C/h), Loading 2 (50 N)

NORYL GTX* GTX8730 Resin

Polyphenylene Ether + PS + Nylon

SABIC Innovative Plastics



Product Description

Noryl GTX* GTX8730 resin is a glass filled, high performance blend of PPE/PA that exhibits an excellent balance of high-heat resistance, strength, flow, and conductivity. This grade can be electro-statically painted or powder coated without the need for a conductive primer.

General

Material Status	• Commercial: Active
Availability	• North America
Filler / Reinforcement	• Glass Fiber Reinforcement
Features	• Electrically Conductive • High Heat Resistance • High Strength • Paintable
Processing Method	• Injection Molding

Physical	Nominal Value Unit	Test Method
Specific Gravity	1.37 g/cm ³	ASTM D792 ISO 1183
Melt Mass-Flow Rate (MFR) (280°C/5.0 kg)	14 g/10 min	ASTM D1238
Melt Volume-Flow Rate (MVR) (280°C/5.0 kg)	10.0 cm ³ /10min	ISO 1133
Molding Shrinkage		Internal Method
Flow: 3.20 mm	0.20 to 0.25 %	
Across Flow: 3.20 mm	0.65 to 0.80 %	
Water Absorption		ISO 62
Saturation, 23°C	4.0 %	
Equilibrium, 23°C, 50% RH	1.2 %	

Mechanical	Nominal Value Unit	Test Method
Tensile Modulus		
-- ²	12000 MPa	ASTM D638
--	12000 MPa	ISO 527-2/1
Tensile Strength		
Yield ³	185 MPa	ASTM D638
Yield	185 MPa	ISO 527-2/5
Break ³	185 MPa	ASTM D638
Break	185 MPa	ISO 527-2/5
Tensile Elongation		
Yield ³	3.0 %	ASTM D638
Yield	3.0 %	ISO 527-2/5
Break ³	3.0 %	ASTM D638
Break	3.0 %	ISO 527-2/5
Flexural Modulus		
50.0 mm Span ⁴	9300 MPa	ASTM D790
-- ⁵	9300 MPa	ISO 178
Flexural Strength		
-- ^{5,6}	270 MPa	ISO 178
Yield, 50.0 mm Span ⁴	270 MPa	ASTM D790

Impact	Nominal Value Unit	Test Method
Charpy Notched Impact Strength ⁷ (23°C)	8.5 kJ/m ²	ISO 179/1eA

Tuesday, October 26, 2010

NORYL GTX* GTX8730 Resin
Polyphenylene Ether + PS + Nylon
SABIC Innovative Plastics

Impact	Nominal Value Unit	Test Method
Notched Izod Impact		
-30°C	68 J/m	ASTM D256
23°C	90 J/m	ASTM D256
-30°C ⁸	7.8 kJ/m ²	ISO 180/1A
23°C ⁸	9.0 kJ/m ²	ISO 180/1A
Unnotched Izod Impact		
-30°C	950 J/m	ASTM D4812
23°C	1100 J/m	ASTM D4812
-30°C ⁸	55 kJ/m ²	ISO 180/1U
23°C ⁸	60 kJ/m ²	ISO 180/1U
Instrumented Dart Impact		ASTM D3763
23°C, Total Energy	10.0 J	
Thermal	Nominal Value Unit	Test Method
Deflection Temperature Under Load		
0.45 MPa, Unannealed, 3.20 mm	220 °C	ASTM D648
0.45 MPa, Unannealed, 64.0 mm Span ⁹	220 °C	ISO 75-2/Bf
Vicat Softening Temperature	210 °C	ASTM D1525 ¹⁰ ISO 306/B50 ISO 306/B120
CLTE		ASTM E831 ISO 11359-2
Flow: -40 to 40°C	0.000026 cm/cm/°C	
Transverse: -40 to 40°C	0.000078 cm/cm/°C	
Electrical	Nominal Value Unit	Test Method
Volume Resistivity	5.0E+2 to 1.0E+4 ohm·cm	Internal Method
Injection	Nominal Value Unit	
Drying Temperature	93.3 to 107 °C	
Drying Time	3.0 to 4.0 hr	
Drying Time, Maximum	8.0 hr	
Suggested Max Moisture	0.070 %	
Suggested Shot Size	30 to 50 %	
Rear Temperature	266 to 304 °C	
Middle Temperature	271 to 304 °C	
Front Temperature	277 to 304 °C	
Nozzle Temperature	282 to 304 °C	
Processing (Melt) Temp	282 to 304 °C	
Mold Temperature	76.7 to 121 °C	
Back Pressure	0.345 to 1.38 MPa	
Screw Speed	20 to 100 rpm	
Vent Depth	0.013 to 0.038 mm	
Injection Notes		
Minimum Moisture Content: 0.02 %		

Revision History

Document Created: Tuesday, October 26, 2010
 Added to Prospector: June, 2007
 Last Updated: 8/6/2010

Tuesday, October 26, 2010

NORYL GTX* GTX8730 Resin
Polyphenylene Ether + PS + Nylon
SABIC Innovative Plastics

Notes

¹ Typical properties: these are not to be construed as specifications.

² 5.0 mm/min

³ Type I, 5.0 mm/min

⁴ 1.3 mm/min

⁵ 2.0 mm/min

⁶ Yield

⁷ 80*10*4 sp=62mm

⁸ 80*10*4

⁹ 80*10*4 mm

¹⁰ Rate B (120°C/h), Loading 2 (50 N)

TECHNYL® A 238C M25 BLACK

Polyamide 66

Rhodia Engineering Plastics SA



Product Description

Polyamide 66, reinforced with mineral filler, heat stabilized, conductive, with improved impact resistance, for injection moulding. This material combines an outstanding balance of properties: thermal resistance (high HDT), toughness, electrical conductivity, dimensional stability due to the low coefficient of thermal expansion and low moisture absorption.

TECHNYL® A 238C M25 BLACK is suitable for exterior automotive body panels production, in-line or online painted through the typical electrostatic painting system. The enhanced uniformity of the material surface resistivity (1 GigaOhm) has been designed to achieve on painted components the "class A" high quality surface aspect.

On parts like front fenders the material shows excellent performances on impact at both ambient and below zero temperatures.

General

Material Status	• Commercial: Active		
Availability	• Africa & Middle East • Asia Pacific	• Europe • Latin America	• North America • South America
Filler / Reinforcement	• Mineral Filler, 25% Filler by Weight		
Additive	• Heat Stabilizer		
Features	• Electrically Conductive • Good Dimensional Stability • Good Toughness	• Heat Stabilized • High Heat Resistance • Low Moisture Absorption	• Paintable
Uses	• Automotive Applications • Automotive Exterior Parts		
Appearance	• Black		
Forms	• Pellets		
Processing Method	• Injection Molding		
Part Marking Code (ISO 11469)	• >PA66-MD25<		

Physical	Nominal Value Unit	Test Method
Density	1.23 g/cm ³	ISO 1183
Water Absorption (23°C, 24 hr)	0.60 %	ISO 62
Mechanical	Nominal Value Unit	Test Method
Tensile Modulus	3070 MPa	ISO 527-2/1A
Tensile Stress (Break)	49.0 MPa	ISO 527-2/1A
Tensile Strain (Break)	14 %	ISO 527-2/1A
Impact	Nominal Value Unit	Test Method
Charpy Notched Impact Strength		ISO 179/1eA
--	8.2 kJ/m ²	
-30°C	5.7 kJ/m ²	
Charpy Unnotched Impact Strength		
--	160 kJ/m ²	ISO 179/1eU
-30°C	150 kJ/m ²	ISO 179/1fU
Thermal	Nominal Value Unit	Test Method
Heat Deflection Temperature		ISO 75-2/Bf
0.45 MPa, Unannealed	190 °C	
Melting Temperature (DSC)	260 °C	ISO 3146
Electrical	Nominal Value Unit	Test Method
Surface Resistivity	1.0E+9 ohms	IEC 60093

Additional Information

The value listed as Melting Temperature (DSC), ISO 3146, was tested in accordance with ISO 11357.

Molding shrinkage, RHODIA-EP, Parallel (1): 1.60 %

Molding shrinkage, RHODIA-EP, normal or perpendicular (1): 1.70 %

Molding Shrinkage, RHODIA-EP, Isotropy: 0.94

Injection	Nominal Value Unit
Drying Temperature	80.0 °C
Drying Time	2.0 to 6.0 hr
Suggested Max Moisture	0.15 %
Processing (Melt) Temp	280 to 300 °C
Mold Temperature	80.0 to 120 °C

1 of 2

Copyright © 2010 - IDES - The Plastics Web ® | 800-788-1668 or 307-742-9227 | www.ides.com.

Revision History

Document Created: Tuesday, October 26, 2010
Last Updated: 7/9/2008

The information presented on this datasheet was acquired by IDES from the producer of the material. IDES makes substantial efforts to assure the accuracy of this data. However, IDES assumes no responsibility for the data values and strongly encourages that upon final material selection, data points are validated with the material supplier.

TECHNYL® A 238C M25 BLACK
Polyamide 66
Rhodia Engineering Plastics SA

Tuesday, October 26, 2010

Notes

¹ Typical properties: these are not to be construed as specifications.