

LUCAS OVANESSIAN HUEB

Estudo da viabilidade da Substituição do núcleo da Chapa de aço ABNT 1010, por material polimérico, com o objetivo de tornar o teto do veículo mais leve, diminuindo o custo de produção.

LUCAS OVANESSIAN HUEB

Estudo da viabilidade da Substituição do núcleo da Chapa de aço ABNT 1010, por material polimérico, com o objetivo de tornar o teto do veículo mais leve, diminuindo o custo de produção.

Monografia apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Automotiva, da Escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia para obtenção do Título de Especialista.

Orientador: Prof. Guilherme Wolf Lebrão

São Caetano do Sul

2012

Hueb, Lucas Ovanessian

Estudo da viabilidade da Substituição do núcleo da Chapa de aço ABNT 1010, por material polimérico, com o objetivo de tornar o teto do veículo mais leve, diminuindo o custo de produção.

Lucas Ovanessian Hueb – São Caetano do Sul, SP: CEUN-EEM, 2012 .

41p.

Monografia (Especialização) – Engenharia Automotiva.

Escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, SP, 2011.

Orientador: Professor Guilherme Wolf Lebrão

1. *Estrutura Sanduíche* 2. *Indústria Automobilística*. I. Instituto Mauá de Tecnologia. Centro Universitário. Escola de Engenharia Mauá. II. Título.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família e a instituição que tanto motivaram o desenvolvimento e concretização deste trabalho.

Esta Monografia é dedicada ao Instituto Mauá de Tecnologia, e aos Mestres e Professores que agregaram conhecimento e conteúdo a este estudo e pesquisa.

RESUMO

Neste trabalho foi desenvolvido um teto de um veículo automotivo em estrutura sanduíche, foram analisadas características mecânicas do aço e de polímeros viáveis para a formação desta estrutura, foram criados corpos de prova virtuais e um teto virtual, ambos em estrutura sanduíche, estes elementos virtuais foram testados pelo software Unigraphics 5.2 e foi encontrado uma espessura que viabilizou a implementação deste teto gerando uma redução da massa total bem como a redução dos custos totais da peça.

ABSTRACT

This work was developed a automotive roof of the vehicle in sandwich structure, was analyzed the mechanical characteristics of steel and viable polymer for the formation of this structure, were created virtual specimens and one virtual roof, both in sandwich structure, these virtual elements were tested by the software Unigraffic 5.2 and found a thickness that enabled the implementation of this roof, resulting a reduction in the total mass and the reduction of the total cost of the part.

Keywords: Automotive reduction mass; automotive reduction cost; sandwich structure roof; roof elements analyses; plastic core roof;

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	10
1.1	TEMA E DELIMETAÇÃO DO TEMA	10
1.2	JUSTIFICATIVA DO TEMA	10
1.3	FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....	10
1.4	CONSIDERÇÕES INICIAIS	11
1.5	OBJETIVOS	11
1.6	HIPÓTESE DE ESTUDO	12
1.7	METODOLOGIA DE PESQUISA.....	12
1.8	CONCEITO.....	12
1.9	JUSTIFICATIVA.....	13
2.	MATERIAIS E CARACTERÍSTICAS DO AÇO E DO PP PURO	17
2.1	AÇO 1010.....	17
2.2	POLIPROPILENO PURO.....	20
2.3	CONCLUSÃO SOBRE O MATERIAL UTILIZADO.....	23
3.	ESTRUTURA SANDUÍCHE.....	24
3.1	PROJETO E MODELAGEM DE ELEMENTOS FINITOS.....	25
4.	TESTES.....	32
5.	REDUÇÃO DA MASSA E DOS CUSTOS FINAIS.....	37
6.	CONCLUSÃO.....	39
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	40

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: classificação geral dos polímeros	14
Figura 2: processo de calandragem com rolos aquecidos	24
Figura 3: estrutura sanduíche	25
Figura 4: conceito do teto e do corpo de prova de estrutura sanduíche	26
Figura 5: descrição dos elementos testados no teste de VSAS	33
Figura 6: identificação dos elementos finitos no teste de VSAS	33
Figura 7: Representação da deformação pela pressão no teste de VSAS	34
Figura 8: Vistas de Topo do Teste Von Mises	35
Figura 9: Resultado do Teste Von Mises no teto de aço	36
Figura 10: Resultado do Teste Von Misses no teto Proposta 3	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Consumo energético dos polímeros commodity e do aço	15
Tabela 2: Características Mecânicas dos polímeros commodity e do aço	16
Tabela 3: Características e especificações do Aço 1010	17
Tabela 4: Características e especificações do Polipropileno Puro	20

1. INTRODUÇÃO

Desde a antiguidade, o homem retira produtos da natureza para utilização na manufatura ou ofício ou construção industrial ou construção civil, como barro, areia, pedra, madeira, entre outros. Devido a oferta insuficiente de recursos naturais surge a necessidade de o homem modificar e criar novos materiais para atender plenamente suas aspirações dando origem aos produtos sintéticos. como o polímero que desde a sua descoberta, no inicio do século XX, vem sendo integrado a todos os estilos de vida, com o emprego variando de utensílios domésticos a ciência sofisticada.

1.1 TEMA E DELIMITAÇÃO DO TEMA

Estudo da viabilidade de implementação de uma estrutura sanduíche no teto de um veículo automotivo, com o objetivo de tornar o teto do veículo mais leve, diminuindo o custo de produção.

1.2 JUSTIFICATIVA DO TEMA

Na indústria automotiva, um dos focos principais para o projeto de um veículo automotivo, é a redução de massa de suas peças estruturais para que haja uma redução de custo final do veículo, e consequentemente a redução do consumo de combustível do veículo. Com base no anseio desta busca, foi escolhido o teto do veículo automotivo, como peça de estudo, por ser metálico e de grande porte, trazendo uma redução considerável na massa global do veículo automotivo.

1.3 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

A implementação de uma estrutura sanduíche no teto de um veículo automotivo resultará em uma redução de custo de produção e redução da massa ?

1.4 CONSIDERACOES INICIAIS

Goma-laca, borracha, asfalto e celulose são exemplos de polímeros naturais. Porém são os polímeros sintéticos que estão cada vez mais presentes na vida das pessoas. A palavra polímero que vem do grego *plastiké*, é um termo geral que significa capaz de ser moldado, sob uma ação exterior. Os materiais designados como polímeros não necessariamente tem essa propriedade, mas a exibiram em algum estágio de sua fabricação, quando foram moldados. Outros materiais, como o aço ou o vidro, apresentam essa característica e não são considerados materiais polímeros. Portanto, a definição adotada para os polímeros é que são materiais artificiais, constituídos por resinas sintéticas e que em algum momento de sua fabricação, adquiriram condição plástica, durante a qual foram moldados, com a utilização de calor ou de solventes, pressão e moldes.

O polímero é um material sintético constituído de macromoléculas e pertence a uma grande família, conhecida popularmente como plástico. Essas macromoléculas são cadeias formadas pela repetição de pequenas e simples unidades básicas, meros, ligadas covalentemente. O termo mero vem do grego e significa parte, unidade de repetição, e poli significa muitas. Daí a origem do termo polímero.

Geralmente o monômero, que é a forma fundamental de cada polímero sintético, é obtido a partir do petróleo ou do gás natural, pois essa é a forma mais barata, mas é também possível obter monômeros a partir da madeira, do álcool, do carvão e até do CO₂, pois o carbono, o átomo principal que constitui os materiais poliméricos, está presente em todas essas matérias-primas.

1.5 OBJETIVOS

Este trabalho visou a redução de massa e de custo do teto de um veículo automotivo, através da implementação de uma estrutura sanduíche com a seguinte geometria, um material polimérico na parte interna inicialmente de 0,6 mm, e duas chapas de aço ABNT 1010 de 0,2 mm de espessura na parte superior e inferior deste material polimérico. Esta implementação teve como critério não modificar as propriedades mecânicas do teto do veículo automotivo,

tão pouco a segurança estrutural da região em questão, pois a redução da massa nas peças veiculares aumentam a eficiência do consumo de combustível, que é um item muito solicitado nas montadoras.

1.6 HIPÓTESES DE ESTUDO

No decorrer do Trabalho poderá se encontrar algumas barreiras com relação ao processo de manufatura a ser utilizado, pois o mesmo resultar em uma peça final com preço maior que uma peça macissa de aço.

1.7 METODOLOGIA DE PESQUISA

Neste trabalho, se estudou o comportamento mecânico do núcleo de um material polimérico em uma estrutura sanduíche, para se identificar até quanto é possível retirar material metálico deste núcleo, bem como o tipo de material polimérico a ser utilizado.

Após o projeto da peça, foram testados virtualmente com modelos matemáticos (VSAS) para se obter os dados do comportamento mecânico desta peça, e com estes resultados também foi possível se obter a redução de peso e a redução de custo da peça.

1.8 CONCEITO

O alto consumo de energia para a produção de metais, a pressão política e social em relação à utilização de materiais recicláveis e a abundância de material polímero vêm contribuindo para o desenvolvimento de pesquisas e a aplicação dos polímeros na indústria automotiva e em elementos estruturais diversos que em sua grande maioria são constituídos de aço. O progresso dos materiais poliméricos podem ser comprovado pelos diversos produtos que estão sendo projetados e introduzidos no mercado.

Foi escolhido o polipropileno como o material do núcleo da estrutura sanduíche pois foi o material que melhor atendeu os objetivos deste trabalho, isto será provado no item 9.3 deste trabalho.

A determinação das propriedades mecânicas do corpo de provas por meio dos ensaios de VSAS finaliza o estudo do material analisado. Nesses ensaios se as características obtidas e o comportamento foram próximas ao do aço, como estrutura inicial, portanto o projeto foi satisfatório. Concluiu-se que, com relação ao material introduzido, pode ser expandida sua aplicação e se substituir outros elementos estruturais, desde que sejam estudadas possíveis formas de controlar sua deformabilidade, como a incorporação de nervuras a utilização de blendas poliméricas e adição de cargas minerais e de fibras de elevado módulo de elasticidade e resistência.

1.9 JUSTIFICATIVA

Atualmente, projetistas e engenheiros trabalham com os polímeros porque eles oferecem combinações de vantagens não encontradas em outros materiais, como baixo peso específico, resiliência, resistência à deterioração por decomposição e ataque de microorganismos, resistência à corrosão, resistência mecânica, transparência, facilidade de processamento e baixo custo de manutenção. Além disso, algumas de suas propriedades podem ser melhoradas com a utilização de blendas poliméricas e adição de cargas minerais e fibras de elevado módulo de elasticidade e resistência.

Devido ao alto consumo de energia na produção de metais, os anseios sociais a substituição do material metálico por materiais mais leves, o baixo custo do polímero e dos materiais recicláveis estimularam sua inserção na indústria automotiva, em estruturas que antigamente eram constituídas apenas de aço.

A caracterização dos materiais poliméricos se dá com relação à sua estrutura, composição, avaliação e durabilidade. É de fundamental importância situar o material reciclado disponível no mercado a fim de compará-lo com os materiais puros. Porém, neste trabalho, não será realizada uma análise do ciclo de vida da estrutura sanduíche. Serão analisadas propriedades mecânicas e o comportamento da estrutura sanduíche.

Os polímeros distinguem-se entre si pelo grau de diferenciação, escala de produção e nível de consumo e, consequentemente, valor agregado. Assim, de uma forma geral, os materiais poliméricos podem ser classificados em três grandes grupos: polímeros para usos gerais (commodities), polímeros para usos específicos (quasi-commodities) e polímeros de alto desempenho (especialidades). Polímeros tipo commodities são aqueles produzidos em grande escala, têm baixo valor agregado, não apresentam diferenciação, são utilizados para finalidades gerais e são consumidos em grandes quantidades. Os chamados polímeros quasi-commodities são, também, produzidos em grande escala, porém em nível mais baixo do que as commodities. Entretanto, quasi-commodities apresentam desempenhos diferenciados e propriedades que os fazem ser ideais para determinadas aplicações. Polímeros de especialidades são aqueles que apresentam alto desempenho, são produtos específicos, com propriedades bem definidas e incomuns, tem alto valor agregado e são produzidos em escalas de pequeno porte.

A Figura 1 é a representação gráfica desta classificação geral proposta. Verifica-se que quanto maior o volume de produção, maior é o consumo e menor é o grau de diferenciação, o preço e o conteúdo tecnológico. Por exemplo, os polímeros classificados no topo do triângulo (especialidades) são os que apresentam maior preço, diferenciação e conteúdo tecnológico, porém são produzidos e consumidos em menor escala e têm disponibilidade limitada a poucos produtores mundiais.

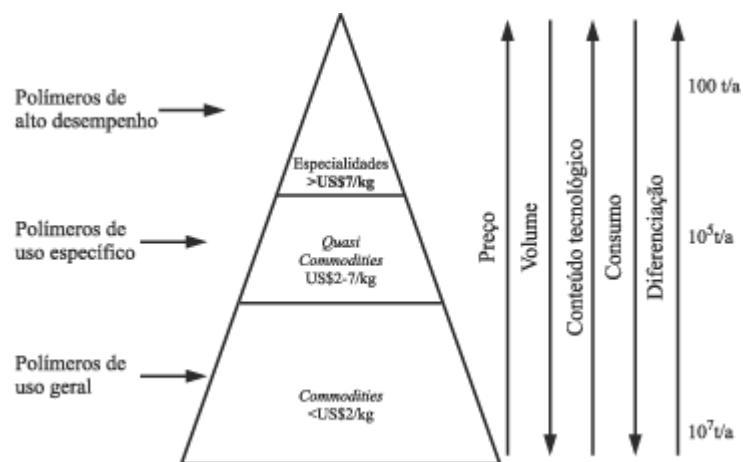


Figura 1: classificação geral dos polímeros

Como exemplos de commodities, citam-se os polietilenos, o polipropileno, o poli(cloreto de vinila) e o poliestireno. O típico polímero quasi-commodity é o PET, que tem características específicas de plásticos de engenharia e mercado bem direcionado, porém é produzido em grande escala. Poliamidas, ABS, SAN, poliuretanos e policarbonato também podem ser classificados nessa categoria. Entre os polímeros de alto desempenho, podem ser citados o poli(óxido de metileno) (POM), politetrafluoroetileno (PTFE), poli(tereftalato de butileno) (PBT), poli(sulfeto de fenileno) (PPS) e polímeros líquido-cristalinos.

Por estes motivos citados acima e com base na figura 1, para este trabalho foi analizado e aplicado um polímero commodity no interior da estrutura sanduíche do teto, foi comparado as características mecânicas dos principais polímeros commoditys com as características do aço.

A tabela 1 a seguir mostra o consumo energético para fabricação dos polímeros commodity e do aço, e pode-se observar que para a obtenção de polímero o consumo energético para fabricação é baixo, fator de extrema importância no que tange à racionalização de energia elétrica o que trará um produto final com menor custo.

Essa análise considera todo o ciclo de vida do material, da extração da matéria-prima à obtenção do produto:

Material	Massa Específica (Kg/m ³)	Consumo de Energia Elétrica (MWh/m ³)
polietileno (PET)	960	2,93
polipropileno (PP)	903	2,93
poliestireno (PS)	1050	1,02
policloreto de vinila (PVC)	1350	4,20
aço (ABNT 1010)	7870	82,00

Tabela 1: Consumo energético dos polímeros commodity e do aço

É notável que qualquer polímero commodity possui menor massa específica e menor consumo de energia elétrica para ser produzido que o aço, dentre eles o que mais se destaca em relação ao consumo de energia elétrica é o poliestireno, porém, em nada o poliestireno se assemelha com o aço em relação as suas propriedades mecânicas, é o que foi constatado na

Tabela 2, onde foi comparado as características mecânicas dos polímeros commodity com as características mecânicas do aço.

Propriedades	unidades	aço	PET	PP	PS	PVC
Densidade:	kg/m ³	7870	960	903	1050	1350
Módulo de elasticidade (Módulo de Young):	Gpa	205	2650	1383	32	2620
Coeficiente de Poisson:	---	0,3	0,44	0,43	0,39	0,37
Limite de escoamento (Tensile Strength, Yield):	MPa	305,0	67,5	29,4	87,5	40,7
Limite de resistência a tração (Ten.Str., Ultimate):	MPa	365,0	77,0	15,3	147,0	52,0

Tabela 2: Características Mecânicas dos polímeros commodity e do aço

Dos quatro polímeros citados na tabela, foi escolhido um para ser aplicado no interior da estrutura sanduíche do teto, rejeitou-se o poliestireno(PS) por apresentar um módulo de elasticidade muito baixo, e para este trabalho não é desejável um material dúctil, e rejeitou-se o Policloreto de Vinila(PVC) por apresentar a densidade mais alta dentre os quatro polímeros, e para este trabalho pretende-se reduzir o máximo de massa possível. E dentre os dois materiais mais viáveis, polietileno(PET) e polipropileno(PP), observou-se que o polietileno(PET) possue maiores tensões limites (escoamento e tração), porém não deseja-se um módulo de elasticidade tão alto, 26 vezes maior que a do aço, pois com as vibrações do veículo este material pode vir a ruir, por isso foi adotado o polipropileno(PP), pois apresenta a menor densidade dos quatro polímeros e um módulo de elasticidade desejável.

2. MATERIAIS E CARACTERÍSTICAS DO AÇO 1010 E DO POLIPROPILENO PURO

2.1 AÇO 1010

AISI 1010 Steel	
Physical Properties	Metric
Density	7870,0 kg/m ³
Mechanical Properties	Metric
Hardness, Brinell	105
Hardness, Knoop	123
Hardness, Rockwell B	60
Hardness, Vickers	108
Tensile Strength, Ultimate	365 MPa
Tensile Strength, Yield	305 MPa
Elongation at Break	20.0 %
Reduction of Area	40.0 %
Modulus of Elasticity	205 GPa
Bulk Modulus	140 GPa
Poissons Ratio	0.290
Machinability	55 %
Shear Modulus	80.0 GPa
Component Elements Properties	Metric
Carbon, C	0.080 - 0.13 %
Iron, Fe	99.18 - 99.62 %
Manganese, Mn	0.30 - 0.60 %
Phosphorous, P	<= 0.040 %
Sulfur, S	<= 0.050 %

Tabela 3: Características e especificações do Aço 1010.

O Aço é uma liga metálica formada essencialmente por ferro e carbono, com porcentagens deste último variando entre 0,008 e 2,11%. Distingue-se do ferro fundido, que também é uma liga de ferro e carbono, mas com teor de carbono entre 2,11% e 6,67%.

A diferença fundamental entre ambos é que o aço, pela sua ductibilidade, é facilmente deformável por forja, laminação e extrusão, enquanto que uma peça em ferro fundido é muito frágil.

O aço pode ser classificado da seguinte maneira:

- Quantidade de carbono
- Composição química
- Quanto à constituição microestrutural
- Quanto à sua aplicação

A classificação do aço mais usada na indústria automotiva é de acordo com a composição química (SAE), e adota-se a notação ABXX, em que AB se refere a elementos de liga adicionados intencionalmente, e XX ao percentual em peso de carbono multiplicado por cem.

O aço é suscetível a incorporação elementos químicos, alguns que podem alterar as propriedades mecânicas, reduzindo o módulo de elasticidade ou as tensões limites, elementos provenientes do mineral ou do combustível empregue no processo de fabricação, como o enxofre e o fósforo. Outros são adicionados intencionalmente para modificar algumas características do aço de forma a aumentar a sua resistência, ductibilidade, dureza entre outras características, ou para facilitar algum processo de fabricação, como usinabilidade.

O Aço pode receber até 2% de impureza em sua liga, note que ferro e carbono não são considerados impurezas e suas quantidades são trabalhadas em sua liga com a finalidade de se alcançar as propriedades desejadas, de 2 até 5% de impureza na liga, o aço já pode ser considerado aço de baixa-liga, acima de 5% de impureza é considerado de alta-liga. O enxofre e o fósforo são elementos que reduzem as propriedades mecânicas do aço pois acabam por intervir nas suas propriedades físicas, deixando-o frágil. Dependendo das exigências cobradas, o controle sobre as impurezas pode ser menos rigoroso ou então podem pedir o uso de um anti-sulfurante como o magnésio.

Existe uma classe de aços carbono, conhecida como aços de fácil usinabilidade, que contém teores mínimos de fósforo e enxofre. Estes dois elementos proporcionam um melhor corte das ferramentas de usinagem, promovendo a quebra do cavaco e evitando a aderência do mesmo na ferramenta. estes aços são utilizados quando as propriedades de usinabilidade são prioritárias, em relação as propriedades mecânicas e microestruturais.

O aço inoxidável é um aço de alta-liga com teores de cromo e de níquel em altas doses (que ultrapassam 20%). os aços inoxidáveis podem ser divididos em três categorias principais : aços inoxidáveis austeníticos, os quais contém elevados teores de cromo e níquel, os aços

inoxidáveis martensíticos, que contém elevado teor de cromo, com baixo teor de níquel e teor de carbono suficiente para se alcançar uma dureza média ou alta no tratamento térmico de têmpera, e os aços inoxidáveis ferríticos, que contém elevado teor de cromo e baixos teores de níquel e carbono. Este último e o tipo austenítico não podem ser temperados.

O aço é actualmente a mais importante liga metálica, sendo empregue de forma intensiva em numerosas aplicações tais como máquinas, ferramentas, em construção, etc. Entretanto, a sua utilização está condicionada a determinadas aplicações devido a vantagens técnicas que oferecem outros materiais, como o alumínio, no transporte por sua menor densidade e na construção civil por sua maior resistência a corrosão, o cimento (mesmo combinado com o aço) pela sua maior resistência a intempéries e a cerâmica em aplicações que necessitem de elevadas temperaturas.

Ainda assim, atualmente na indústria emprega-se o aço com maior frequencia devido a suas características frente às demais ligas, considerando-se o seu preço. Já que:

- Existem numerosas jazidas de minerais de ferro suficientemente ricas, puras e fáceis de explorar, além da possibilidade de reciclar a sucata.
- Os procedimentos de fabricação são economicos e já dominados a muito tempo, são chamados de aciaria. Os aços podem ser fabricados por processo de aciaria eléctrica, onde se utiliza eléctrodos e processo de aciaria LD, onde se utiliza sopro de oxigénio no metal líquido por meio de uma lança.
- Apresentam uma interessante combinação de propriedades mecânicas que podem ser modificados dentro de uma ampla faixa variando-se os componentes da liga e as suas quantidades, mediante a aplicação de tratamentos.
- A sua plasticidade permite obter peças de formas geométricas complexas com relativa facilidade.
- A experiência acumulada na sua utilização permite realizar previsões de seu comportamento, reduzindo custos de projetos e prazos de colocação no mercado.

2.2 POLIPROPILENO PURO

Physical Properties		Metric
Density		903 kg/m ³
Mechanical Properties		Metric
Tensile Strength at Break		15.3 MPa
Tensile Strength, Yield		29.4 MPa
Elongation at Break		23.0 %
Elongation at Yield		8.10 %
Modulus of Elasticity		1.383 GPa
Flexural Modulus		1.508 GPa
Flexural Strength		34.0 MPa
Poissons Ratio		0.430
Shear Modulus		0.469 GPa
Thermal Properties		Metric
CTE, linear		114.5 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$ @Temperature -30.0 - 100 $^\circ\text{C}$
CTE, linear, Transverse to Flow		153.2 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$ @Temperature -30.0 - 100 $^\circ\text{C}$
Deflection Temperature at 0.46 MPa (66 psi)		90.8 $^\circ\text{C}$
Deflection Temperature at 1.8 MPa (264 psi)		52.3 $^\circ\text{C}$
Flammability Test		18.0

Tabela 4: Características e especificações do Polipropileno Puro.

O Polipropileno (PP) é uma matéria prima que oferece notáveis propriedades físicas, químicas, mecânicas, térmicas e eléctricas. Possui uma excelente resistência a solventes orgânicos, produtos desengordurantes e químicos. É quimicamente neutro, resistente a altas temperaturas, impermeável e não é tóxico. O Polipropileno (PP) é normalmente utilizado em embalagens e sacos dadas as suas características

O polipropileno deve ser visto hoje como um conjunto de três tipos:

- - homopolímero (Cristalino)
- - copolímero alternado (Semicristalino)
- - copolímero estatístico (Amorfo)

Cada um desses tem aplicações específicas vistas no Quadro 1 a seguir. Os três polímeros - homopolímero, copolímero alternado e o copolímero estatístico - podem ser modificados e adaptados às utilizações específicas através das técnicas de formulação ou compostagem.

Quadro 1 - Propriedades de Diversos Tipos de Polipropileno				
Família de Produtos	Propriedades Básicas			Aplicação/Tipo
	Rigidez	Resistência a choques/baixa temperatura	Transparência	
Homopolímero	+++	+	++	fibras
Copolímero Estatístico	+	++	+++	embalagens
Copolímero Alternado	++	+++	+	automóveis

Fonte: *Innovation et Organisation - Les Cas de l'Industrie des Polymers de José Vitor Martins*

O copolímero estatístico de polipropileno se obtém através da adição de eteno ao propeno. O produto é um pouco mais resistente ao impacto do que o homopolímero, mas há uma melhoria acentuada da transparência.

O copolímero alternado é fabricado em duas etapas na polimerização. O homopolímero, produzido na primeira etapa, é em seguida copolimerizado com o eteno. A proporção do eteno é bem mais elevada do que na produção do copolímero estatístico. A parte copolimerizada se torna mais dúctil, o que permite melhorar a absorção da energia no impacto.

Uma nova geração de catalisadores chamados de metallocenos (ou "single-site"), cujo uso se iniciou na década de 90 nos países desenvolvidos, permite novas combinações dos monômeros e principalmente a criação de polímeros com propriedades desejadas para o material. Hoje, esses catalisadores já são utilizados, em escala comercial ou semi-comercial, pela Mitsui, Hoechst, BASF, Chisso e Exxon para a obtenção do metalloceno polipropileno (m-PP), mas existem ainda algumas barreiras importantes que devem ser consideradas, como por exemplo, as altas despesas em P & D e possível instabilidade na reação da polimerização.

- Processos de produção e principais evoluções:

O polipropileno é obtido através da polimerização do gás propeno (que é o monômero), utilizando catalisadores do tipo Ziegler-Natta. Os processos de polimerização são através de: solução; suspensão em um solvente (slurry); massa (bulk); e a fase gasosa, sendo esta a de tecnologia mais moderna. Antes da década de 80, a polimerização em suspensão era o processo mais usado na produção de polipropileno. Uma variante importante deste é utilizado no processo Spheripol - o dominante atualmente.

Porém, as tecnologias de produção de polipropileno constituem uma combinação da tecnologia de processo com a tecnologia de catalisador. Portanto, outro exemplo do progresso tecnológico deste setor é a evolução do seu catalisador. Isto resultou na simplificação nas diversas etapas do processo produtivo, reduzindo-se assim os custos do investimento fixo. Estima-se que as unidades modernas são três vezes menos intensivas em capital do que as unidades da primeira geração.

Mais da metade do polipropileno produzido no mundo industrializado é destinado à produção de automóveis; utensílios domésticos e carpetes. Estes mercados são muito influenciados por ciclos econômicos.

Porém, existem segmentos com altas taxas de crescimento no consumo de polipropileno. Esta alta taxa de crescimento é praticamente estrutural, devido à relativa baixa penetração em muitas aplicações já tecnicamente comprovadas (embalagens, moldagem industrial por sopro) ou nascente (fios, não-tecidos, filmes industriais, construção civil).

Em termos ambientais, o polipropileno tem bastante aceitação, pois é reciclável e fácil de incinerar. Se a legislação no futuro obrigar a reciclagem total dos automóveis, o polipropileno aumentará ainda mais o seu uso neste segmento.

Finalizando, cabe lembrar que grande parte das qualidades atuais do polipropileno são oriundas das evoluções tecnológicas que este setor passou a incorporar na década de 80. Afinal, na década de 70, o polipropileno era tão somente uma “commodity”, concorrendo apenas em linhas de produtos relativamente simples e de alto consumo (ex.: ráfia para sacaria).

- Posição do Polipropileno em relação aos Polímeros:

Dependendo das propriedades necessárias para um uso específico, o polipropileno pode se destacar em relação a outros polímeros como o polietileno(PET), poliestireno(PS), ou policloreto de vinila(PVC). Existem algumas estimativas que prevêem que dois terços do crescimento da demanda de polipropileno se dará com o deslocamento de outras resinas termoplásticas concorrentes. Nos últimos oito anos o polipropileno aumentou a sua participação no mercado mundial de polímeros de grande consumo, em detrimento do PET, PS, PVC e PE.

2.3 CONCLUSÃO SOBRE O MATERIAL UTILIZADO:

O Polipropileno foi adotado neste trabalho como material constituinte do núcleo da estrutura Sanduíche, pois o polipropileno continua sendo o termopolímero que mais se enquadra com este projeto devido as suas características mecânicas estudadas no item 8.5 deste trabalho, bem como suas características físicas estudadas no item 9.2 deste trabalho.

3. ESTRUTURA SANDUÍCHE

Uma configuração sanduíche de polipropileno, para este trabalho, seria uma estrutura com três chapas sobrepostas, uma chapa de aço 1010 de 0,2mm de espessura, sobreposta a uma chapa de 0,6mm de espessura de polipropileno (que seria a primeira proposta) sobreposta a uma chapa de aço 1010 de 0,2mm de espessura. Este tipo de estrutura proporciona uma eficaz combinação de alta rigidez à flexão e baixo peso. As estruturas sanduíche normalmente são compostos por folhas de rosto que absorvem esforços de flexão e um núcleo de baixa densidade que reduz a massa do produto. A alta absorção da energia durante o impacto faz com que essas estruturas sanduíche chamem a atenção de designers e projetistas. Nos veículos de transporte, estruturas sanduíche têm sido usadas em estruturas de locomotivas e ônibus, como cabines e painéis interiores, e para este trabalho está sendo implementada no teto de um veículo automotivo.

As paredes e o núcleo foram unidos utilizando o processo de calandragem com rolos aquecidos, e a pressão/calor exercidas neste processo garantem a união das três chapas, mostrado na figura 2 a seguir:

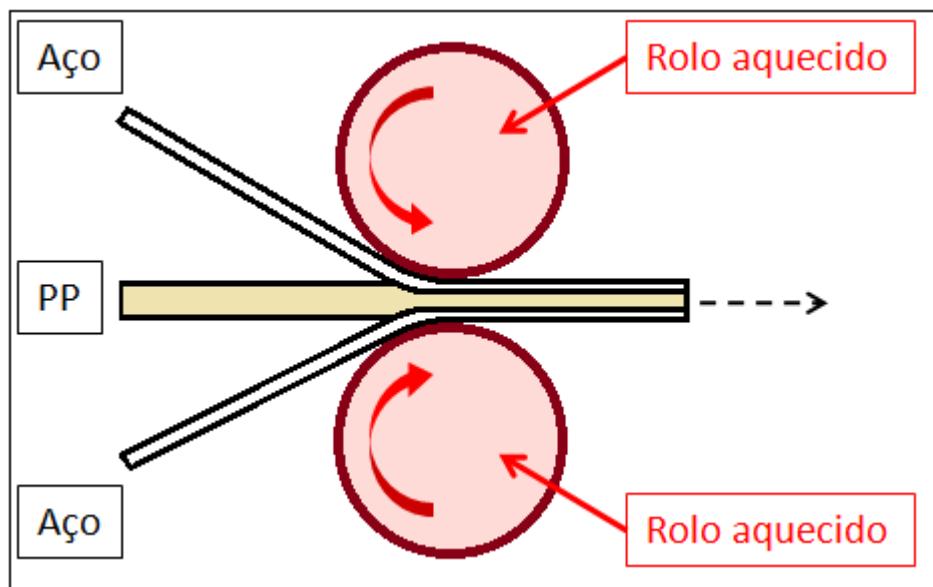


Figura 2: Processo de calandragem com rolos aquecidos

O resultado deste processo de calandragem é a estrutura sanduíche mostrado na figura 3 a seguir :

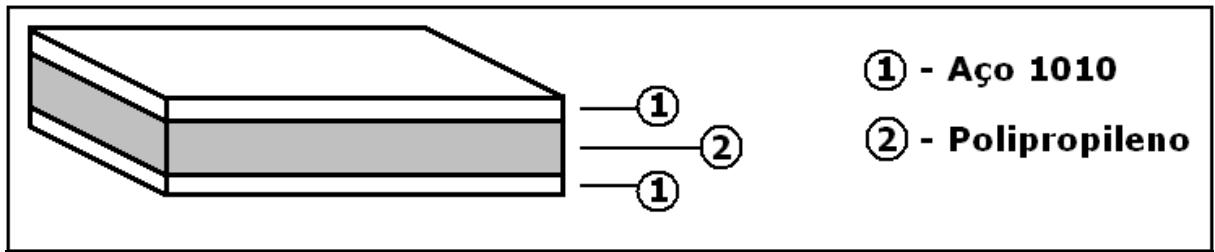


Figura 3: Estrutura sanduíche

3.1. PROJETO E MODELAGEM DE ELEMENTOS FINITOS

De acordo com as orientações de contratos padrões globais da General Motors, um critério de segurança lateral de carga estática deve ser atendidas conforme a seguir:

"Painéis Exteriores e seus elementos estruturais devem resistir a uma carga estática de 200 N (45 libras força) aplicada perpendicularmente no teto do veículo sem exceder deformações maiores que 3225,8 mm² (5 in²) internamente em qualquer posição. Esta carga não deve resultar na deformação que impeça a instalação de novos tetos exteriores para a restauração da aparência original do veículo". O conceito do teto e do corpo de prova de estrutura sanduíche é mostrado na figura 4 a seguir:

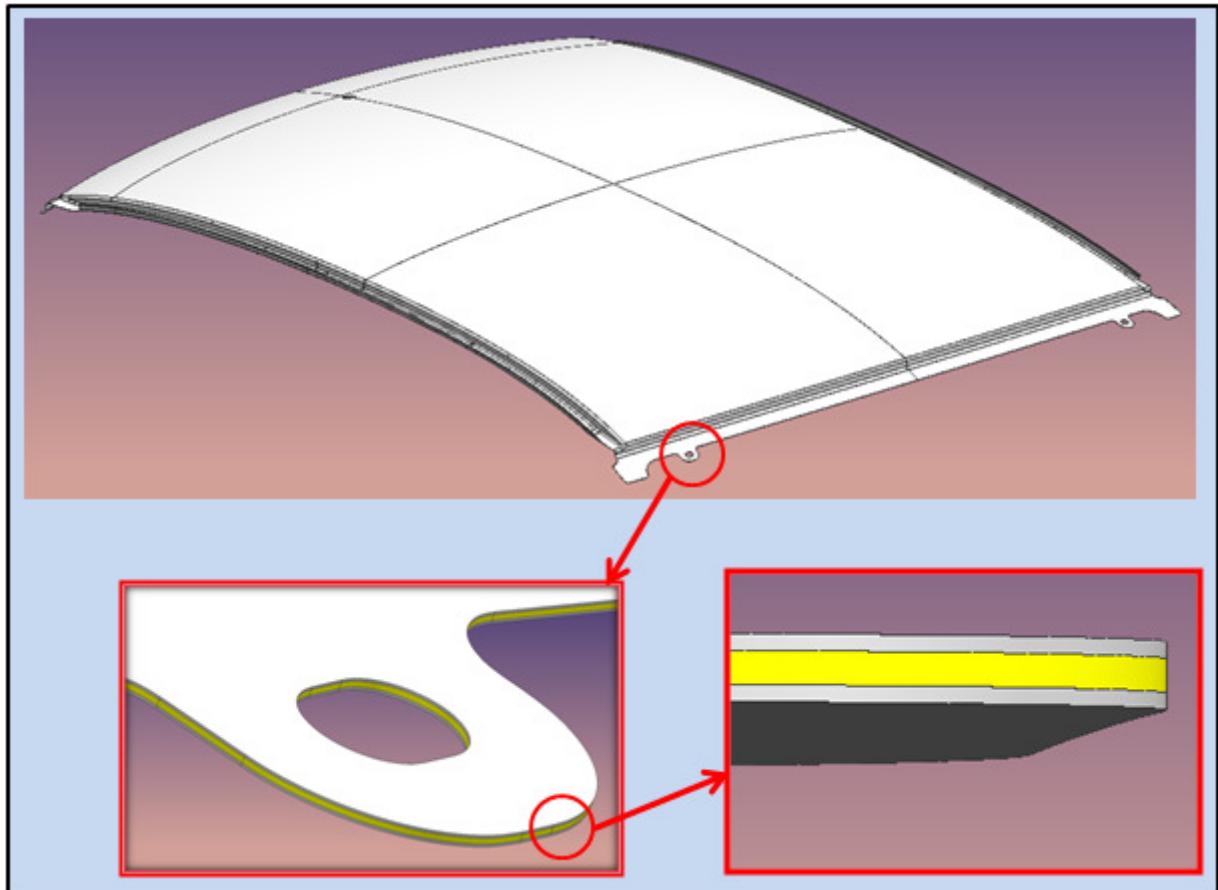


Figura 4: conceito do teto e do corpo de prova de estrutura sanduíche

Uma característica sanduíche foi escolhida como uma opção viável devido a sua alta resistência aos efeitos de impacto e de cargas estruturais. Uma configuração sanduíche possui alta resistência ao peso e dissipar a energia em uma colisão tanto no núcleo quanto nas paredes. Neste trabalho, o PP foi escolhido como o material do núcleo, devido à sua excelente capacidade de absorver energia, sua alta resistência na direção do comprimento celular (Resistência à compressão de 1,3 MPa), e de baixo peso (Densidade de 800 kg/m³).

A Vista explodida exibida na Figura 4 mostra a estrutura que é formada o teto, ou seja, as paredes de Aço e o núcleo de PP. A geometria do corpo de prova foi desenvolvida usando o Unigraphics 5.2. O modelo foi importado como um arquivo IGES em Hypermesh.

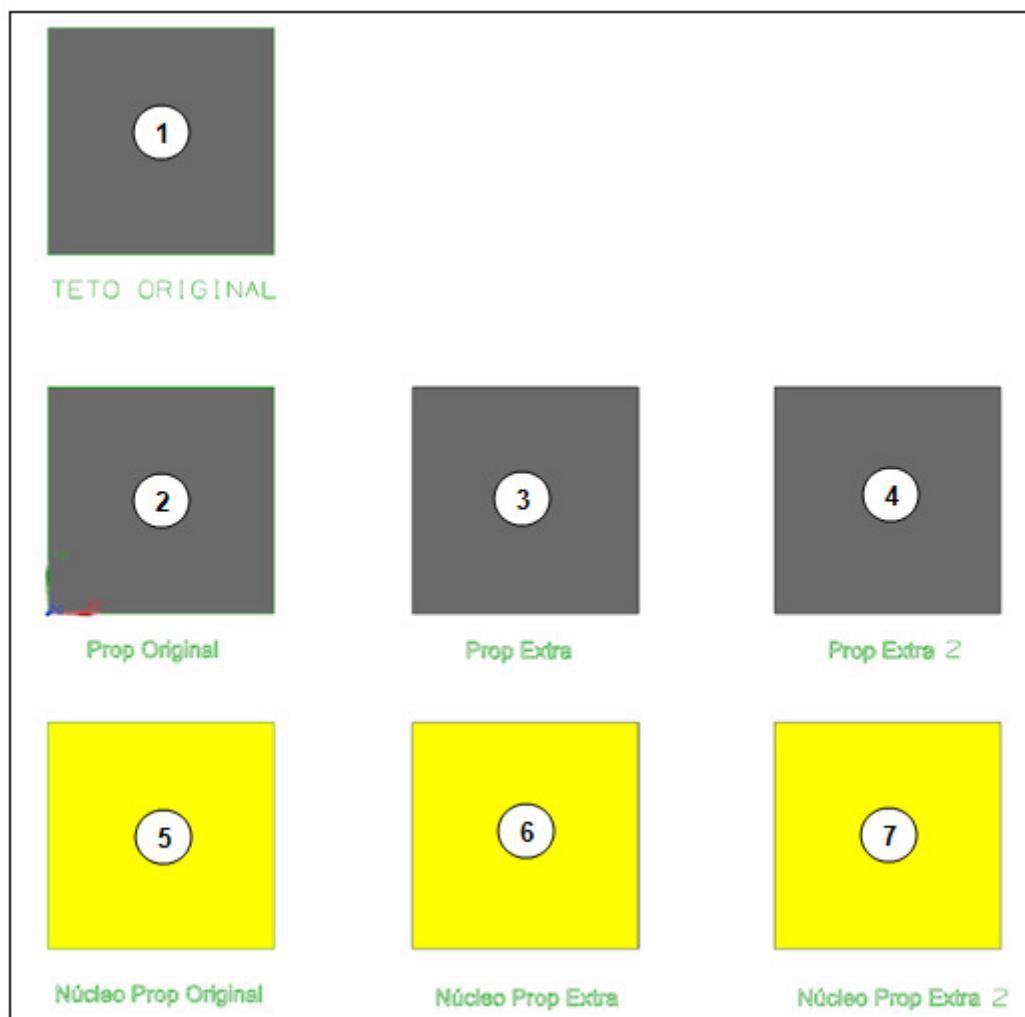
A malha gerada em Hypermesh foi importado ANSYS como um arquivo DOC.

- CORPOS DE PROVA:

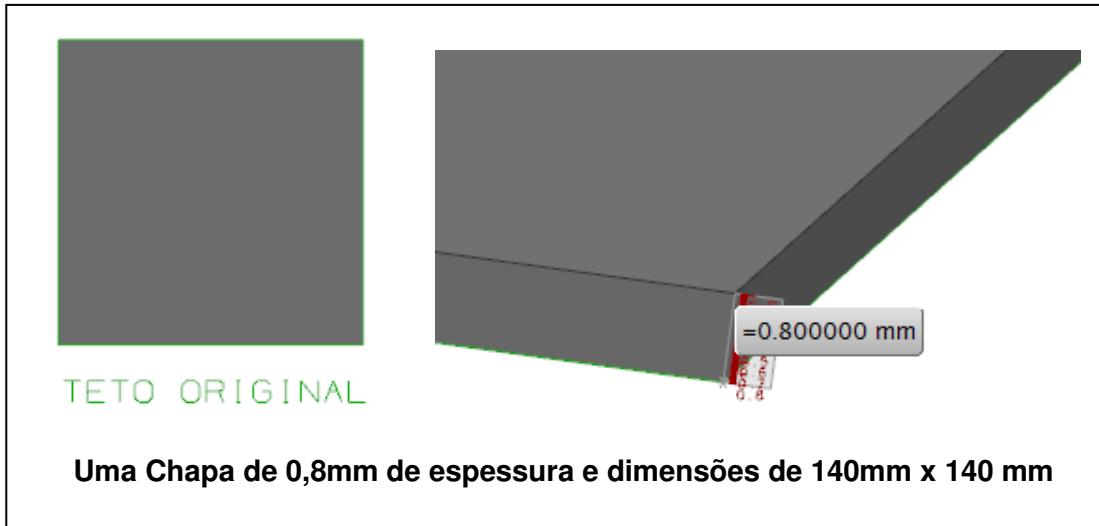
A análise estática foi realizada em corpos de prova. Uma carga de 200 N foi aplicado ao longo de três corpos de prova (área de 19.600 mm²). A espessura das paredes de aço é de 0,2 milímetros e a espessura do núcleo de PP é variável nos corpos de prova.

O corpo de prova apresentou uma excelente economia de peso (43%) em relação ao teto convencional.

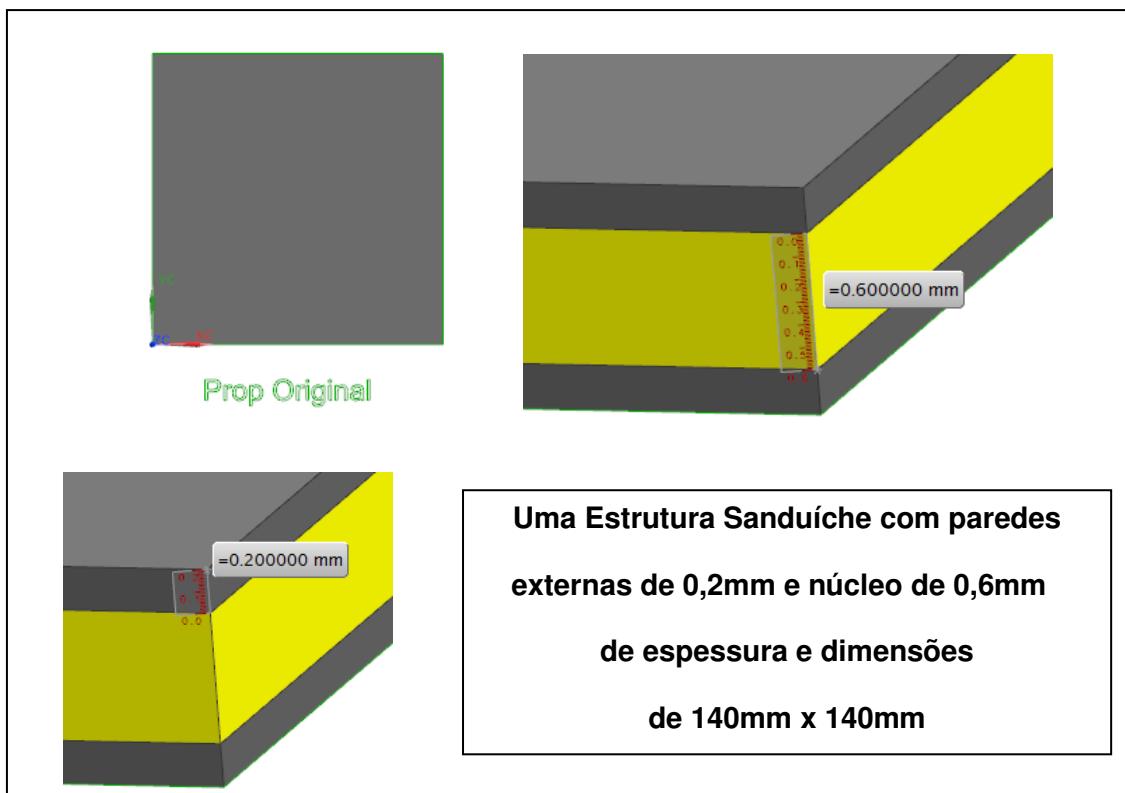
Foram usados 7 corpos de provas conforme a seguir:



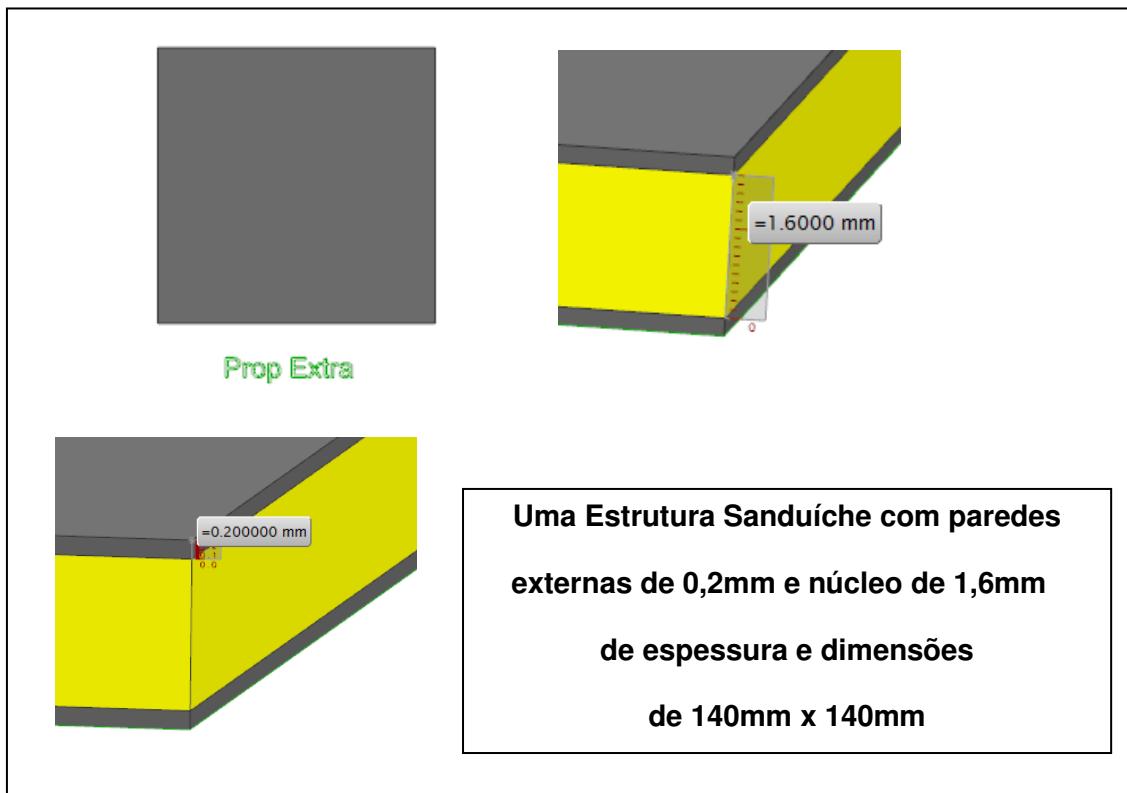
Corpo de Provas 1 (TETO ORIGINAL), Material Aço:



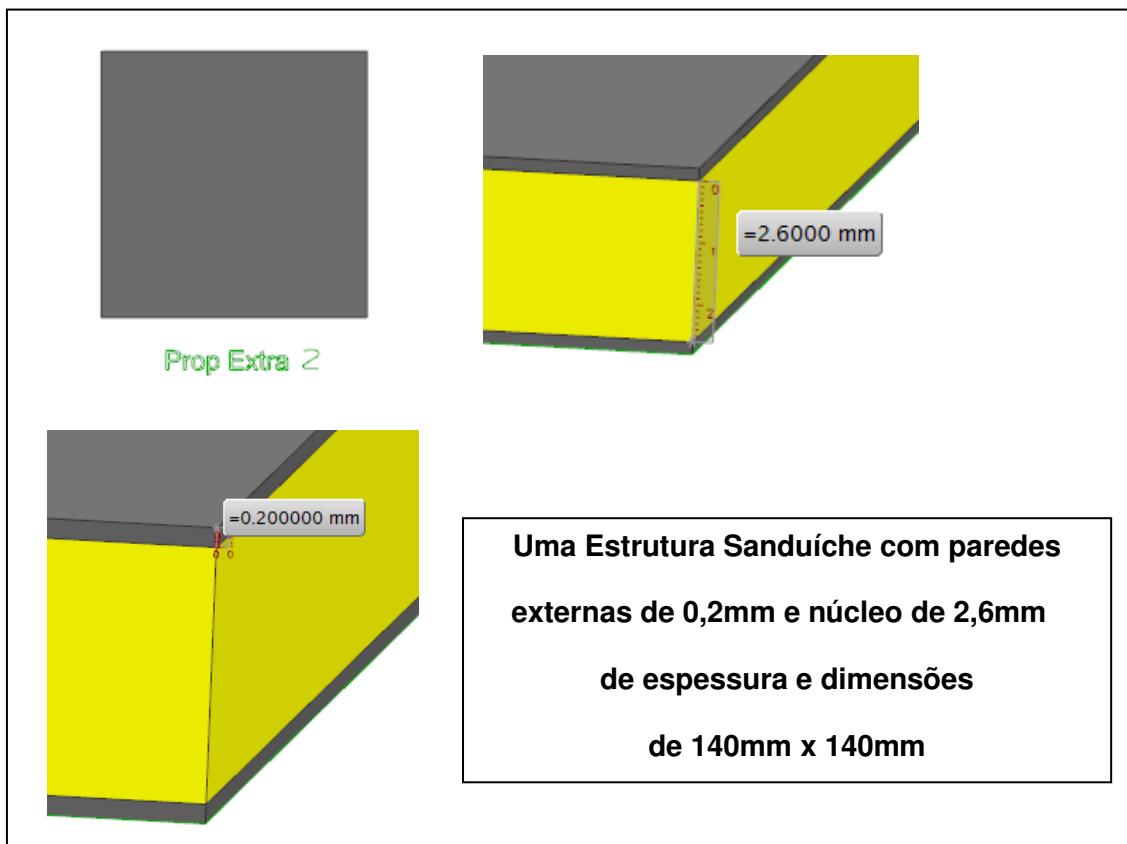
Corpo de Provas 2 (PROP ORIGINAL), Material Aço e núcleo de Polipropileno:



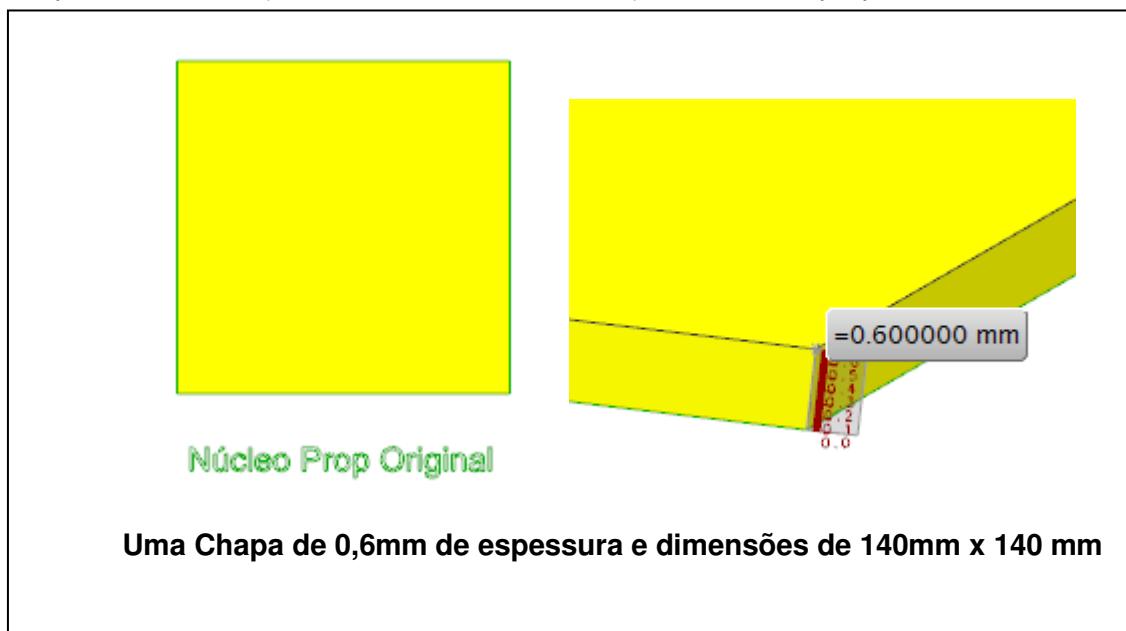
Corpo de Provas 3 (PROP EXTRA), Material Aço e núcleo de Polipropileno:



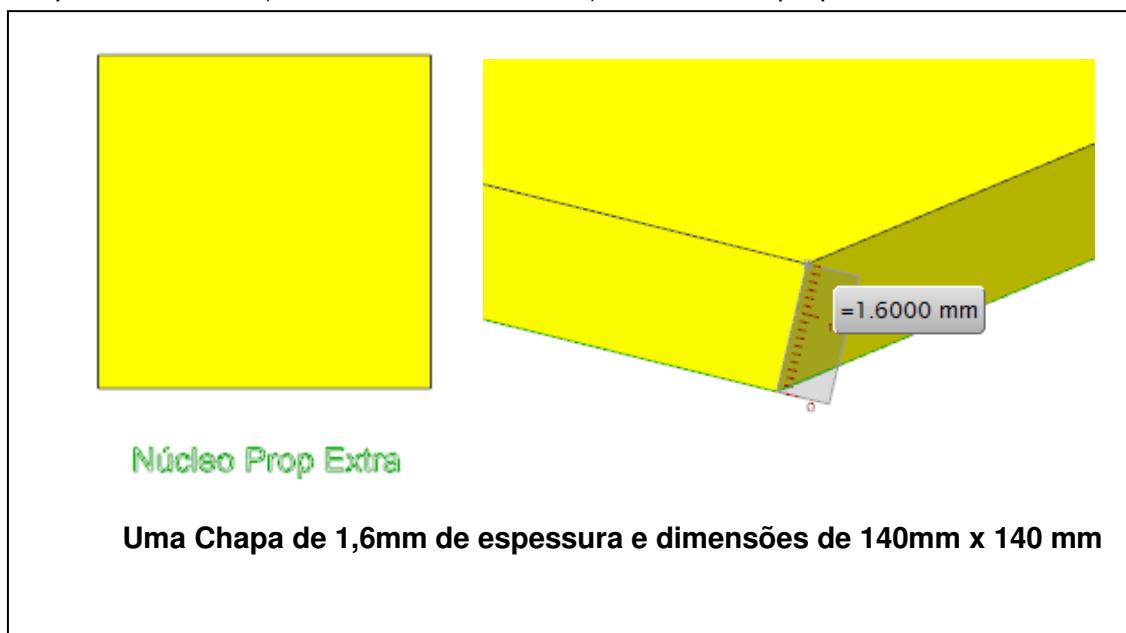
Corpo de Provas 4 (PROP EXTRA 2), Material Aço e núcleo de Polipropileno:



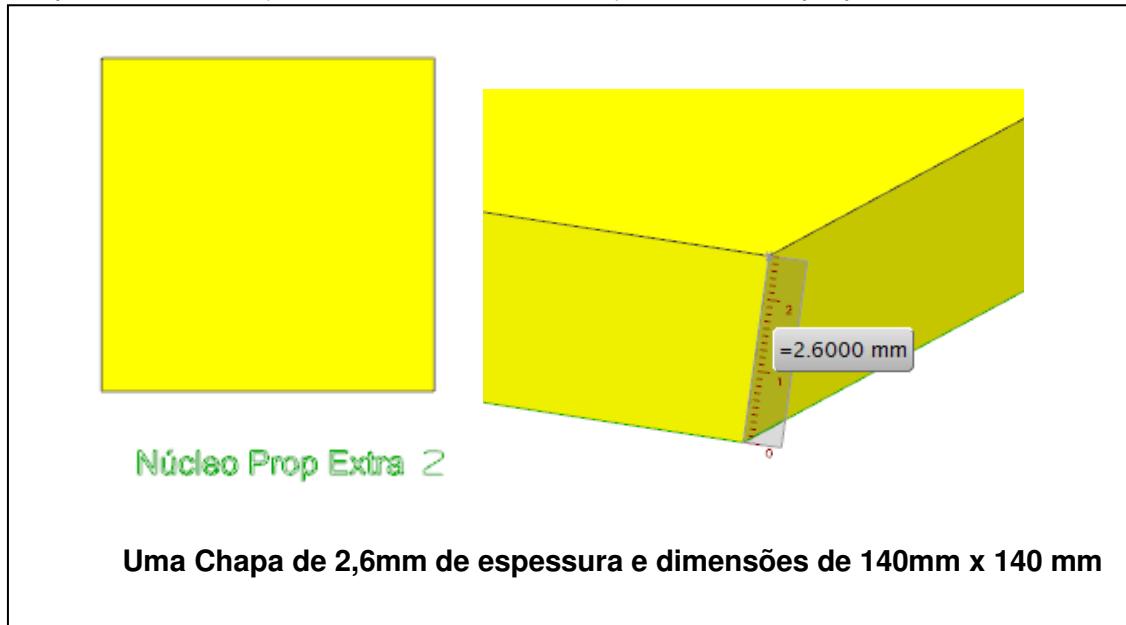
Corpo de Provas 5 (NÚCLEO PROP ORIGINAL), Material Polipropileno:



Corpo de Provas 6 (NÚCLEO PROP EXTRA), Material Polipropileno:

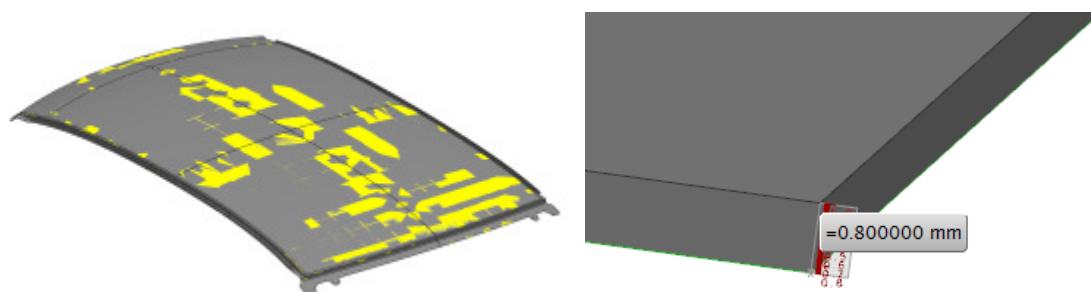


Corpo de Provas 7 (NÚCLEO PROP EXTRA 2), Material Polipropileno:



Uma Chapa de 2,6mm de espessura e dimensões de 140mm x 140 mm

E também o modelo de elementos finitos de um teto de um veículo automotivo de 0,8mm de espessura, Material Aço:



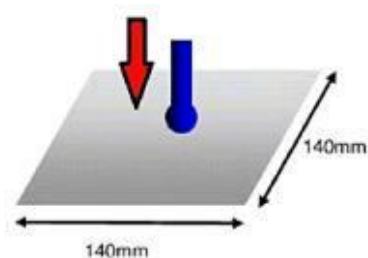
Além do Corpo de Provas 1 que tem as dimensões de um teto original do veículo, foi utilizado o modelo de elementos finitos do próprio Teto de um veículo automotivo para realizar os testes e ter uma base comparativa.

4. TESTES

Como se trata de um Teto de um Veículo Automotivo, realizará o teste de carga estática, pois é o único teste viável para esta peça, reforçando que este Teto em questão não está envolvido em itens de Segurança pois se trata da folha exterior do Teto Automotivo, ou seja, a cobertura onde é aplicada a tinta e o acabamento:

Teste de Carga Estática:

Carga estática de 200 N (45 libras força)
 $t = 60 \text{ min}$



Os Testes Foram realizados nos sete corpos de provas e no teto também, e a seguir será mostrado os Valores encontrados e o seu comparativo.

- EXECUÇÃO DO TESTE:



GMB VSAS TEST:

Problema: realizar uma análise estrutural de uma nova proposta de material para o teto de um veículo automotivo

Descrição da Análise: Executar análise estrutural de um teto automotivo substituindo chapa simples de aço por uma estrutura sanduíche de aço e polipropileno aplicando uma carga de 200N compressão. O objetivo de esforço a ser atingido é inferior a 10 MPa. Três propostas foram avaliadas diferenciadas pela espessura do núcleo de polipropileno:

- Externo: Chapas de aço de espessura de 0,2 milímetros;
- Interna: polipropileno, com espessuras da seguinte forma:
 - proposta1: 0.6mm
 - proposta2: 1.6mm
 - proposta3: 2.6mm

Nota: Todas as amostras foram avaliadas através de uma placa de 140mmx140mm. Uma vez que uma das propostas (Proposta 3) apresentaram resultados mais próximos do objetivo, um teto virtual foi avaliado considerando as propostas.

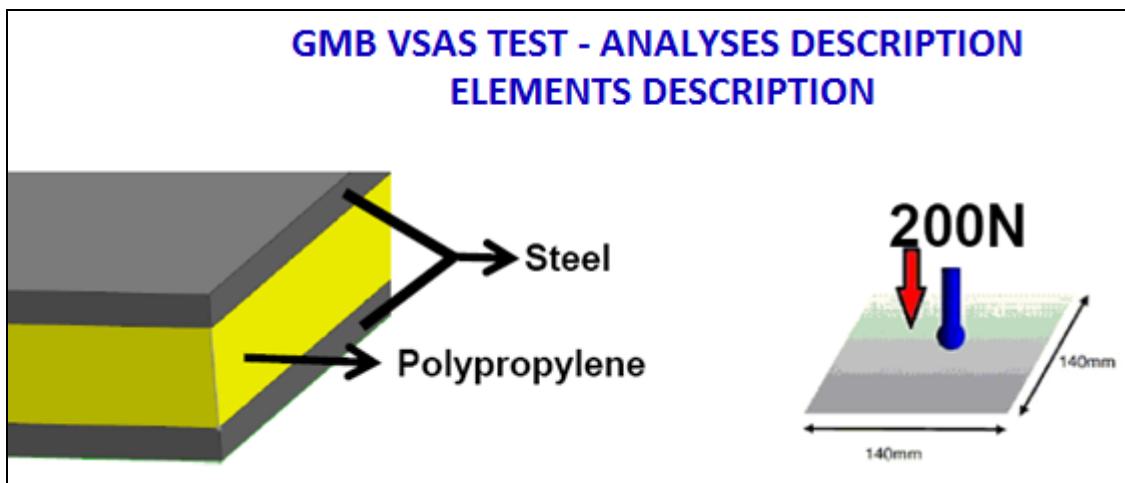


Figura 5: descrição dos elementos testados no teste de VSAS

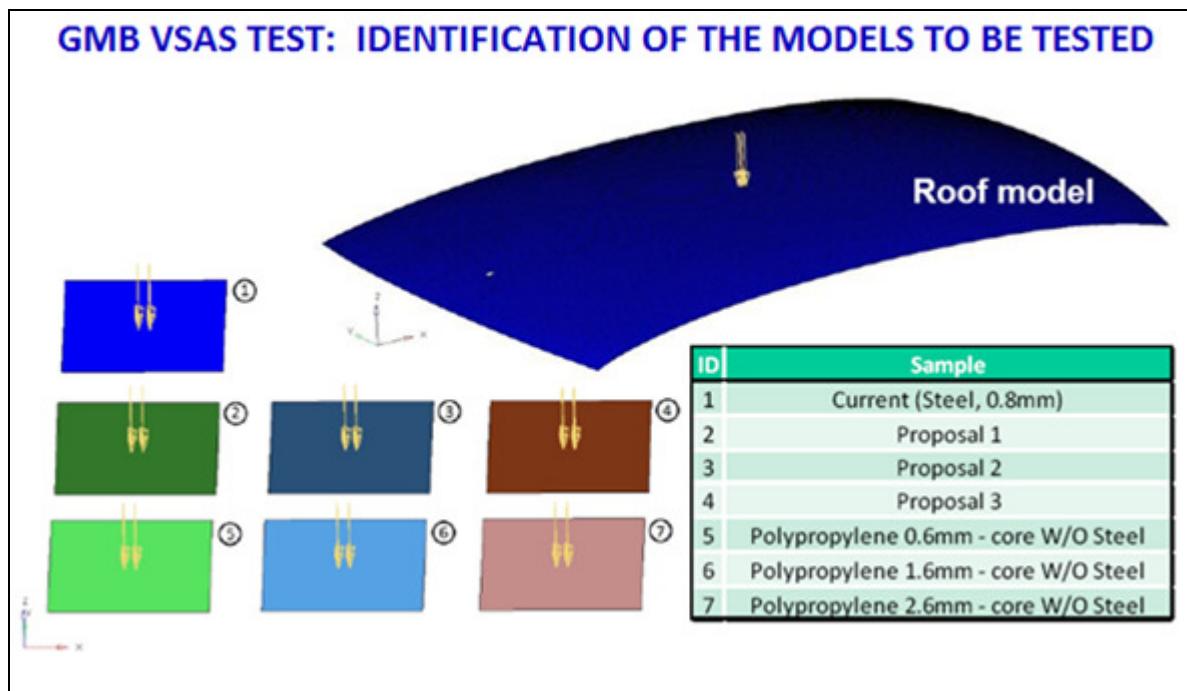


Figura 6: identificação dos elementos finitos no teste de VSAS

O teste foi executado nos sete corpos de prova que se comportaram de maneira distintas. A figura a seguir mostra o suposto deslocamento da face dos corpo de prova, é bem visível que não representa o ponto de ruptura e sim o deslocamento da face em relação a força de 200 N aplicada por cada espessura de corpo de prova, isto somente é possível virtualmente pois esta representação desconsidera que o material tenha uma tensão de ruptura:

GMB VSAS TEST: REPRESENTATION OF PRESSURE IN THE PROPOSALS

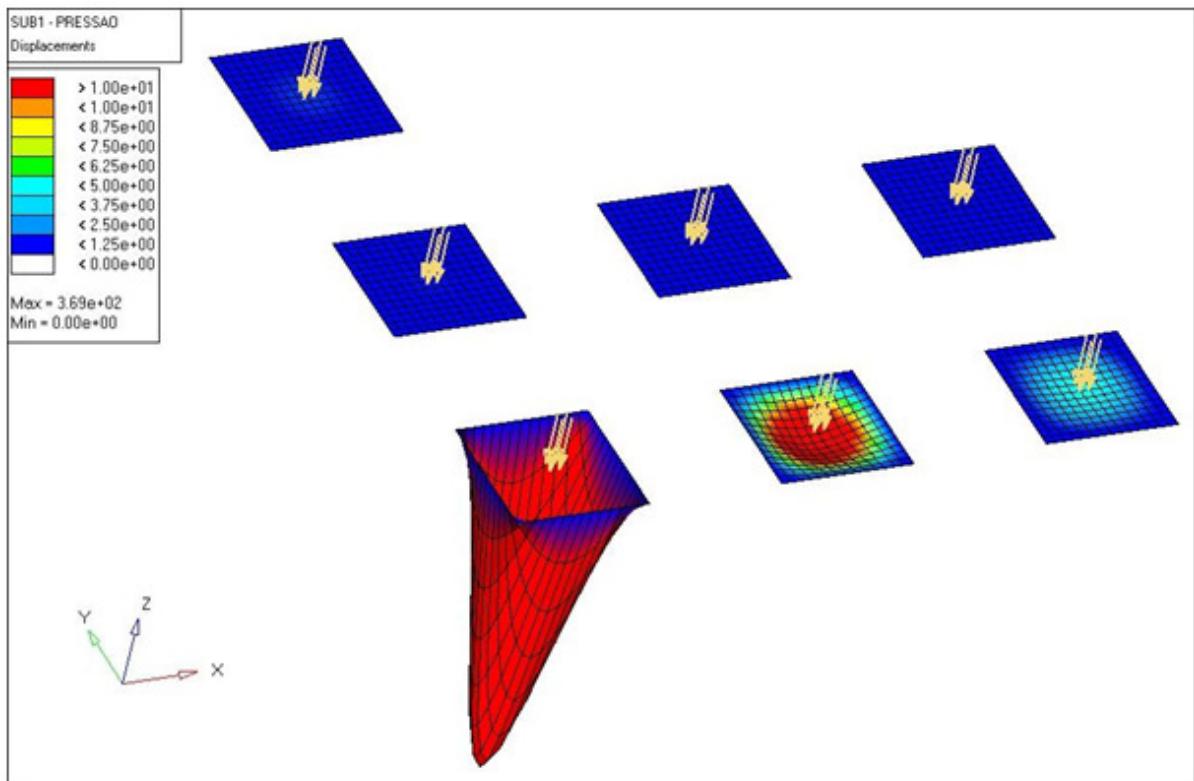


Figura 7: Representação da deformação pela pressão no teste de VSAS

Portanto, é nítido que o comportamento do Polipropileno sem a cobertura do aço é extremamente mais vulnerável e frágil,

- REULTADOS DOS TESTES (VON MISES STRESS TEST):

Segue agora o teste realizado de Von Mises Stress, Que gera a Relação da Força por deslocamento. Este teste tem como objetivo:

- Para aço o teste deve resultar um valor menor que 100MPa para ser aprovado
- Para o polipropileno o teste deve resultar um valor menor que 10MPa para ser aprovado

Segue os corpos de prova e seus respectivos resultados do teste:

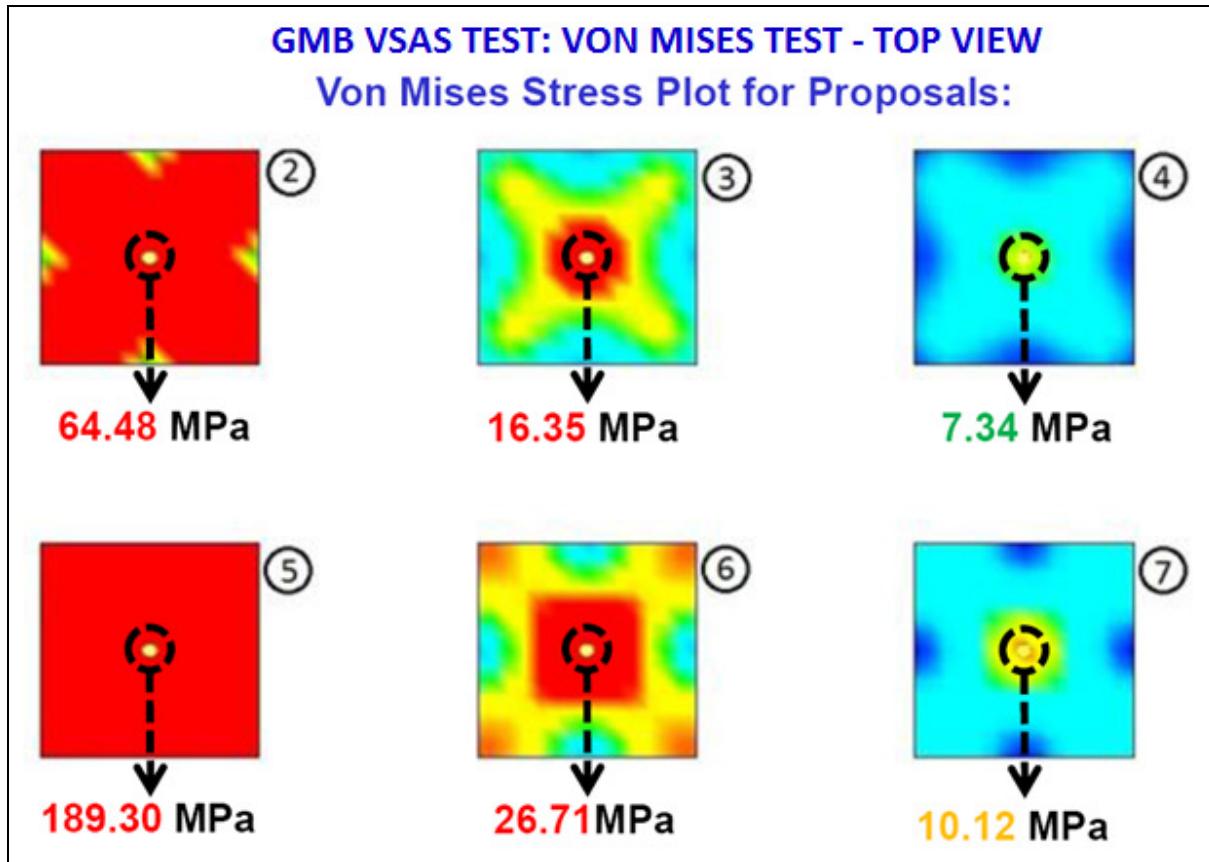


Figura 8: Vistas de Topo do Teste Von Mises

GMB VSAS TEST: RESULTS **Results Sumary (140mm x 140mm plates)**

Von Mises Stress (MPa)							
Steel (0.8mm)	Composite (Steel + Polypropylene)			Polypropylene			
Current	Proposal 1	Proposal 2	Proposal 3	0.6mm	1.6mm	2.6mm	Target
99.30							< 100 Mpa
	64.48	16.35	7.34	189.30	26.71	10.12	< 10 Mpa

Os dois corpos de prova que foram aprovados estão assinalados em verde, o atual de produção (aço 0,8mm) e a proposta 3 (sanduíche de 0,2 / 2,6 / 0,2).

Portanto repetiu-se o teste para o modelo matemático do Teto aplicando as duas estruturas de corpos de prova aprovados, seguem os testes:

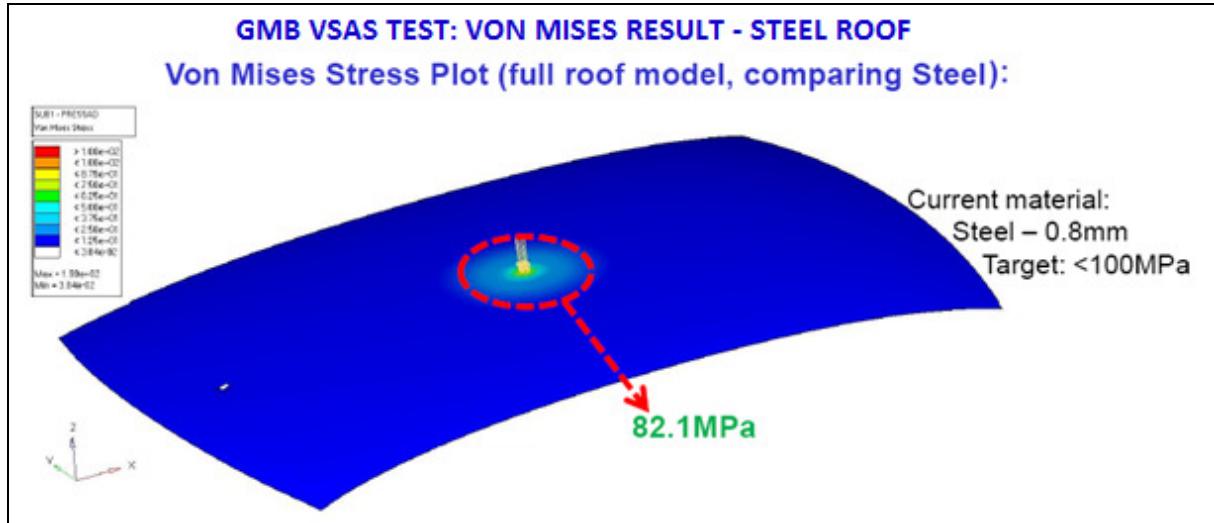


Figura 9: Resultado do Teste Von Mises no teto de aço

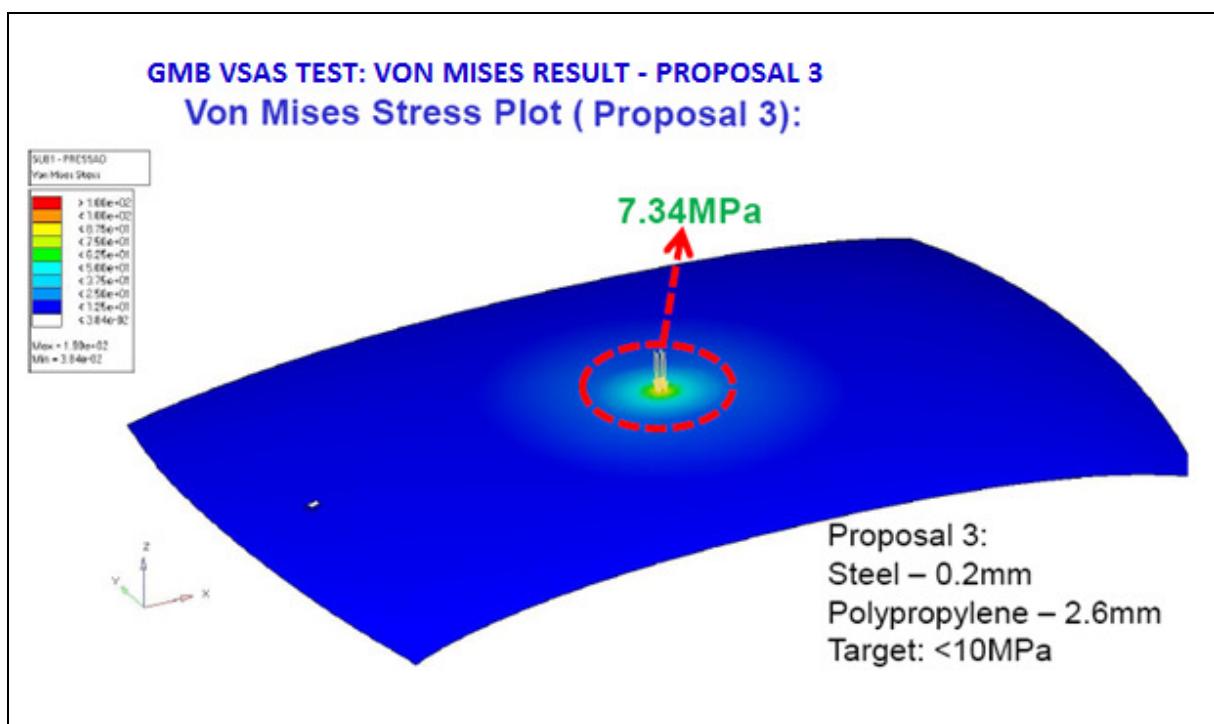


Figura 10: Resultado do Teste Von Misses no teto Proposta 3

Os dois objetivos foram atingidos, cada qual para o objetivo do teste Von Mises:

- Para o Teto de Aço de espessura de 0,8mm foi encontrado **82.1 MPa < 100 MPa**
- Para o Teto de Sanduíche de núcleo de 2,6mm foi encontrado **7.34 MPa < 10 MPa**

Pois o objetivo do teste Von Mises para o aço é <100MPa e para o polipropileno é <10 MPa

5. REDUÇÃO DA MASSA E DOS CUSTOS FINAIS

Com base nos dados dos modelos de elementos finitos e cálculos feito pelo software Unigraphics 5.2 foi possível fazer o levantamento das massas do teto automotivo de aço e as massas do teto da proposta 3:

Teto de Aço:

Type	Density (Kg/cu M)	Volume (cu M)	Area (sq M)	Mass (Kg)
Solid	787	0.001163758	2.89724	9.1262

Teto Proposta 3:

Type	Density (Kg/cu M)	Volume (cu M)	Area (sq M)	Mass (Kg)
Solid	787	0.000292177	2.89724	2.29126
Solid	903	0.000579404	2.89749	2.213123
Solid	787	0.000292177	2.89724	2.29126
massa total:				6.795643

Relacionando as massas do teto, estas duas massas assinaladas em verde, e verificando a redução de massa em porcentagem:

Porcentagem da massa :

74.463007 %

Economia em porcentagem :

25.5369924 %

Observação: Redução de massa: 9.1262 kg - 6.795643 kg = **2,33 kg**

Foi reduzido **25,5 %** da massa do Teto que representam uma redução de **2,33 Kg** no peso total do veículo.

Com Base nos preços tabelados de principais fornecedores de matéria prima para a indústria automotiva, foram feitos levantamentos de custos para os dois tetos automotivos, preços considerando os impostos de IPI e de ICMS.

Teto de Aço:

Material	Massa	Preço	Custo final
Aço (ABNT 1010)R\$ 3,16 KG	9.1262	x R\$ 3,16	28.838792

Teto de Polipropileno:

Polipropileno fornecido para a Engenharia Automotiva:

PP Branco (Polipropileno)	R\$3,90 KG
PP Cinza (Polipropileno)	R\$3,20 KG
PP Preto (Polipropileno)	R\$3,00 KG

Foi escolhido o Polipropileno Preto, por apresentar um custo menor:

Polipropileno Preto (PP)R\$ 3,00 KG

Material	Massa	Preço	Custo	Custo final (Σ)
Aço (0,2mm)	2.29126	x R\$ 3,16	7.2404	
PP (2,6mm)	2.213123	x R\$ 3,00	6.6394	21.12013
Aço (0,2mm)	2.29126	x R\$ 3,16	7.2404	

Relacionando os custos finais dos dois tetos, estes dois custos assinalados em verde, e verificando a redução de custo em porcentagem:

Porcentagem dos custos:

73.23515 %

Economia em porcentagem:

26.76485132 %

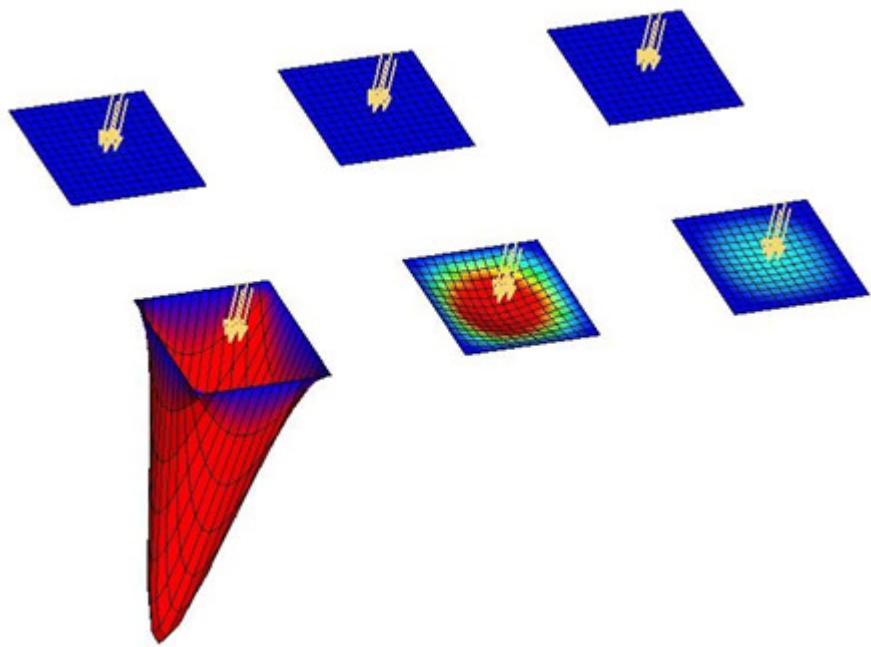
Observação: Redução de custos: R\$ 28.84 – R\$ 21,12 = **R\$ 7,72**

Foi reduzido **26,8 %** do custo do Teto que representam uma redução de **R\$ 7,72** no custo total do veículo.

6. CONCLUSÃO

A Estrutura Sanduíche viável é a de 0,2mm de espessura de aço com 2,6mm de espessura de polipropileno com 0,2mm de espessura de aço, pois atendeu os requizitos de durabilidade e resistência. Foi possível alcançar também a meta de redução de peso pois o teto apresentou uma economia de peso de 25,5 % e uma economia de Custo de produto de 26,8% em relação ao teto convencional.

Apenas como uma observação foi comprovado que estruturas sanduíches agregam uma melhor resposta em relação ao polímero, neste caso o polipropileno, visto que apenas duas finas camadas de aço (0,2mm) resultam uma exelente melhora no resultado final dos testes visto abaixo que a os três corpos de prova superiores são de estrutura Sanduíche e os inferiores são somente de polímero:



7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CANDIAN, L. M. (ZOOD). Estudo do polietileno de alta densidade reciclado para uso em elementos estruturais. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos-SP, Brasil. _2007

BOMTEMPO, J. V. - Innovation et organisation: le cas de l'industrie des polymeres, Tese de Doutorado, L' École Nationale Supérieure des Mines de Paris, Paris _1994

CALLISTER, W. D., Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução. John Wiley & Sons, Inc. _ 2002.

MANO, E.B. Polímeros como Materiais de Engenharia. Editora Edgard Blücher Ltda., São Paulo _ 1991.

Sites:

GM library
<http://econtent.gm.com/>

Matweb - polypropylene - PP
<http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=3fad3d1abcb54ed79df43ee103cb2327>

Características e aplicações do polipropileno:
<http://www.liderplas.pt/doc.php?co=48>

Polipropileno:

http://www.bnDES.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bnDES_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/polipr2a.pdf

<http://www.polibalbino.com.br/>

Aço:

<http://www.portaldoaco.com/>