



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

IVYLIN GIOVANNA TAFARELLO

PROCESSAMENTO DE PEÇAS EM MATERIAS COMPÓSITOS
PARA O PROJETO BAJA SAE

Guaratinguetá
2013

IVYLIN GIOVANNA TAFARELLO

**PROCESSAMENTO DE PEÇAS EM MATERIAS COMPÓSITOS
PARA O PROJETO BAJA SAE**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia de Materiais da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Angelo Caporalli Filho

Guaratinguetá
2013

Tafarello, Ivylin Giovanna
T124p Processamento de peças em materiais compósitos para o projeto BAJA
SAE / Ivylin Giovanna Tafarello – Guaratinguetá : [s.n], 2013.
56 f. : il.

Bibliografia: f. 45-46

Trabalho de Graduação em Engenharia de Materiais – Universidade
Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2013.

Orientador: Prof. Dr. Angelo Caporalli Filho

Coorientador: Prof. Dr. Edson Cocchieri Botelho

1. Materiais compostos 2. Indústria automobilística 3. Fibras de
carbono I. Título

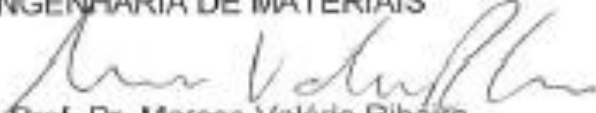
CDU 620.1

**PROCESSAMENTO DE PEÇAS DE MATERÍAS COMPÓSITOS PARA O
PROJETO BAJA SAE**


IVYLIN GIOVANNA TAFARELLO

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
"GRADUADO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS"


APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS



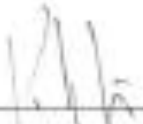
Prof. Dr. Marcos Valério Ribeiro
Coordenador



Prof. Dr. ANGELO CAPORALLI FILHO
Orientador/UNESP-FEG



Prof. Dr. EDSON COCCHIERI BOTELHO
UNESP-FEG



Prof. Dr. PETERSON LUIZ FERRANDINI
UNESP-FEG

Dezembro de 2013

DADOS CURRICULARES

IVYLIN GIOVANNA TAFARELLO

NASCIMENTO	01.08.1989 – SÃO PAULO / SP
FILIAÇÃO	Dalton Tafarello Elisabete Aparecida Rodrigues Antonio
2009/2013	Curso de Graduação Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá – Universidade Estadual Paulista

De modo especial à minha família por me apoiarem em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

Meu primeiro agradecimento vai para minha família, que durante todos estes anos me deram suporte financeiro, me instruíram a honestidade, humildade e dedicação ao que faço,

ao meu orientador e amigo, Prof. Dr. Angelo Caporalli Filho, por acreditar em meu potencial, por me orientar no desenvolvimento deste trabalho e por todo cuidado e dedicação à equipe Piratas do Vale Bardahl,

a todos meus mestres que, com muita dedicação e paixão compartilharam seus valiosos conhecimentos e amizade,

a todos os funcionários da FEG, que estavam sempre presentes e nos ajudando quando necessário,

a todos os amigos que fizeram parte desta etapa da minha vida, em especial à Aline Emídio de Paula e Camila Omodei Coelho Gomes que dividiram momentos de alegria e dificuldades,

aos meus amigos da equipe Piratas do Vale Bardahl com quem passei incontáveis horas compartilhando o aprendizado e adquiri valiosos conhecimentos para minha vida profissional e pessoal, formando uma nova família e levando estas amizades para o restante de nossas vidas,

às amigas da República Tomara que Caia, que estiveram presente integralmente nesta etapa da minha vida, tornando-se verdadeiras amigas, que dividiram comigo angustias, lágrimas e risos,

à Equipe de Piratas do Vale Bardahl de Baja SAE pelos momentos orgulhosamente vividos representando esta faculdade.

"É aquilo que fazemos do que temos, e não o que nos
foi dado, que distingue uma pessoa de outra."

Nelson Mandela

Tafarello, I. G. **Processamento de peças em materiais compósitos para o projeto Baja SAE**. 2013. 56p. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia de Materiais) – Faculdade de Engenharia, Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá 2013.

RESUMO

O peso de um veículo sempre foi considerado um fator de extrema importância, pois influencia no desempenho, dirigibilidade, consumo, impacto ambiental, desgaste de componentes, entre outros. Com as novas exigências, metas de redução de consumo e de emissões de gases aumentaram a necessidade de fabricarem-se veículos mais leves, garantindo o cumprimento das legislações internacionais de emissões. Além das exigências legais, o baixo peso certamente será fundamental para a competitividade das próximas gerações de veículos. É com essa mentalidade que os materiais compósitos têm sido introduzidos na indústria automobilística, pois apresentam excelente relação resistência/peso, significando conseqüentemente uma redução de consumo e aumento da capacidade de carga. Esses fatores justificam o crescente interesse demonstrado pela indústria e a necessidade de otimização desses materiais e de seus processos. Para este trabalho, o campo de aplicação será o projeto Baja SAE, que é um projeto totalmente desenvolvido por estudantes de engenharia, onde constroem um protótipo monoposto, na categoria fora de estrada, para a utilização em pistas acidentadas, com obstáculo. Esta pesquisa visa o estudo de duas peças fundamentais do protótipo que são feitas de materiais compósitos, analisando todo o processamento. Além disso, tem-se a análise da viabilidade de aplicação desse sistema de produção de peças a um veículo Baja SAE, com a finalidade de aumentar seu desempenho e reduzir seu peso, sem reduzir a segurança e a robustez do protótipo. Foi possível alcançar a redução de peso do subsistema de direção com a fabricação do volante em compósito híbrido (carbono/vidro) e a substituição do Aço SAE 1010 pelo compósito híbrido (carbono/aramida) na caixa de proteção do CVT. A importância desse estudo está na obtenção de um bom projeto para o veículo de forma técnica e científica, contribuindo para um know-how para a equipe e servindo como base para a otimização para os próximos projetos.

PALAVRAS-CHAVE: Baja SAE. Processamento de materiais compósitos. Indústria automobilística. Fibra de carbono. Compósito híbrido.

Tafarello, I. G. **Processing of components in composite materials for Baja SAE Project.** 2013. 56p. Graduate work (Graduate in Mechanical Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

ABSTRACT

The weight of a vehicle has always been considered an extremely important factor, because it interferes in the performance, steering, consume, environmental impact, wear of components, among the others. Because of the new demand, consume reduction aim and gases emission increased the necessity to manufacture lighter vehicles, guaranteeing the complying with the gas emission international law. Besides the legal demand, the low weight will certainly be essential for the competitiveness for the next generation of vehicles. It is with this thinking the composite materials have been introduced in the automobilist industry, because those materials show an excellent relation of strength/weight, providing a reduction of consume and the increase of load capacity. Those factors justify the increase of interest of industry and the necessity of optimization of those materials and of their process. For this research, the field of application will be the Baja SAE Project, a project that is fully developed by engineering students, where they build a prototype single seat, off-road category, for use on hilly slopes with obstacle. This research aims to study two key components of the prototype are made of composite materials, analyzing all the processing. In addition, there is the analysis of the viability of this production parts to a Baja SAE vehicle, in order to increase their performance and reduce their weight without reducing the safety and robustness of the prototype. It was possible to achieve weight reduction of the steering subsystem with manufacturing the flywheel hybrid composite (carbon/glass) and the replacement of SAE 1010 steel by hybrid composite (carbon/aramid) in CVT box. The importance of this study is to obtain a good project for the vehicle of technical and scientific manner, contributing to the know-how to the team and providing a basis for optimization for upcoming projects.

KEYWORDS: Baja SAE. Processing of composite materials. Automotive industry. Carbon fiber. Hybrid composite.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Protótipo Acará da Equipe Piratas do Vale Bardahl, da UNESP Guaratinguetá...	16
Figura 2 – Classificação dos compósitos (CALLISTER, 2002).....	19
Figura 3 – Projeto MB 1012 – Guará.....	25
Figura 4 – Gráfico do ensaio de DSC da resina Araldite LY5052.	28
Figura 5 – Gráfico parcial do ensaio de DSC da resina Araldite LY5052.....	29
Figura 6 – Gráfico do ensaio de DSC da resina Epocast 50-A1.....	30
Figura 7 – Gráfico do ensaio de DSC da resina Hysol EA9396	31
Figura 8 – Gráfico de análise viscosimétrica da resina Araldite LY5052	33
Figura 9 – Gráfico de análise viscosimétrica da resina EPOCAST 50-A1.....	33
Figura 10 – Gráfico de análise viscosimétrica da resina Hysol EA9396.....	34
Figura 11 – Tecido <i>HexTow AS2C – Plain wave</i>	35
Figura 12 – Preparação do molde do volante.....	36
Figura 13 – Processo de laminação manual na parte inferior do molde do volante.....	37
Figura 14 – Volante posicionado no protótipo.....	38
Figura 15 – Tecido de fibra de aramida.....	39
Figura 16.a – Máquina de ensaio.....	40
Figura 16.b – Dispositivo para ensaio de impacto.....	40
Figura 17.a – Energia de impacto absorvida pelo compósito.....	41
Figura 17.b – Energia de impacto absorvida pelo aço.....	41
Figura 18 – Comparação entre as médias de energia absorvida pelos materiais.....	42
Figura 19 – Caixa de proteção do CVT.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados da equipe na Competição Baja SAE Brasil.....	17
Tabela 2 – Energia absorvida pelos materiais.....	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASTM *American Society for Testing and Materials*

BS *British Standard*

CDP Corpo-de-Prova

CPS *Centipoises*

CVT *Continuously variable transmission*

DB *Decibéis*

DCTA Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial

DMT Departamento de Materiais e Tecnologia

DSC Calorimetria Exploratória Diferencial

DV *Digital Viscosity*

FAPESP Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo

FEG Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá

ISO *International Organization for Standardization*

LV *Low Viscosity*

RH Recursos Humanos

SAE *Society of Automobile Engineers*

TA *Thermal Analysis*

TG Transição Vítrea

TGA Análise Termogravimétrica

UNESP Universidade Estadual Paulista

LISTA DE SÍMBOLOS

Mg Miligramas

°C Grau Celsius

g Gramas

mm Milímetros

kg Kilograma

J Joule

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 PROJETO BAJA SAE.....	15
1.2 EQUIPE PIRATAS DO VALE BARDAHL.....	16
2 OBJETIVO	17
3 JUSTIFICATIVA	18
4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
4.1 MATERIAIS COMPÓSITOS.....	18
4.2 REFORÇO.....	19
4.2.1 Fibra de Vidro.....	20
4.2.2 Fibra de Carbono.....	20
4.2.3 Fibra de Aramida.....	20
4.3 MATRIZ.....	21
4.3.1 Matriz Epóxi.....	21
4.4 PROCESSO DE LAMINAÇÃO.....	22
4.4.1 Laminação Manual.....	22
4.5 DEFEITOS PÓS LAMINAÇÃO.....	23
4.5.1 Furo.....	23
4.5.2 Corte.....	23
4.5.3 Impacto em Compósitos.....	24
4.5.4 Uniões em Materiais Compósitos.....	24
5 METODOLOGIA	25
5.1 SELEÇÃO DE MATERIAIS.....	26
5.1.1 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC).....	26
5.1.2 Análise Viscosimétrica.....	26
5.2 ESCOLHA DO MATERIAL.....	27
5.2.1 Matriz.....	27
5.2.1.1 DSC: Araldite LY5052.....	28
5.2.1.2 DSC: EPOCAST 50-A1 Resin.....	30
5.2.1.3 DSC: Hysol EA9396.....	31
5.2.1.4 Viscosimetria: Araldite LY5052.....	32
5.2.1.5 Viscosimetria: EPOCAST 50-A1 Resin.....	33
5.2.1.6 Viscosimetria: Hysol EA9396.....	34

5.3 REFORÇO.....	34
6 ESTUDO DE CASO.....	35
6.1 ESTUDO DE CASO 1: VOLANTE.....	35
6.1.1 Materiais utilizados.....	35
6.1.2 Metodologia.....	36
6.1.3 Resultados.....	37
6.1.4 Conclusão.....	38
6.2 ESTUDO DE CASO 2: PROTEÇÃO DO CVT.....	39
6.2.1 Materiais utilizados.....	39
6.2.2 Metodologia de ensaio.....	40
6.2.3 Resultados.....	41
6.2.4 Conclusão do estudo de caso 2.....	43
7 CONCLUSÃO.....	43
8 CORRELAÇÃO ACADÊMICA.....	44
9 TRABALHOS FUTUROS.....	44
BIBLIOGRAFIA.....	45
APÊNDICE A - ARALDITE LY 5052.....	47
APÊNDICE B - HYSOL EA9396.....	52
APÊNDICE C - EPOCAST 50-A1.....	55
APÊNDICE D - FIBRA DE CARBONO.....	56

1 INTRODUÇÃO

Na história recente da indústria automobilística, duas abordagens de redução de peso se destacam. A primeira delas é baseada no desenvolvimento e aplicação de materiais alternativos. A segunda abordagem baseia-se na otimização dos componentes e utiliza-se, principalmente, de simulações computacionais. Especialistas em diferentes materiais apresentam as novas tecnologias para o futuro dos veículos, sempre buscando baixa densidade e aumentando sua competitividade, com o grande objetivo de desenvolvê-los e torná-los cada vez mais resistentes.

Os fabricantes brasileiros de materiais compósitos têm muitas novidades em se tratando de materiais, técnicas e produtos, além de contar com uma completa gama de produtos e processos com certificações internacionais para as o nosso mercado automobilístico (STEENKAMER, 1994).

1.1 Projeto Baja SAE

A SAE (Society of Automobile Engineers) foi fundada nos Estados Unidos em 1905 para a união de profissionais do ramo automobilístico e estudantes de engenharia. Porém, somente em 1976 foi criada a competição Baja SAE, com a finalidade de ser uma atividade extracurricular para futuros engenheiros. E em 1997, a SAE Brasil trouxe essa categoria ao país, com o nome de Mini-Baja Brasil (SAE Brasil, 2013).

O objetivo do Baja SAE é projetar e construir um veículo monoposto, fora de estrada, robusto e principalmente seguro (figura 1). As equipes, compostas por estudantes de engenharia, trabalham como se fossem empresas, se dividindo em subáreas administrativas e técnicas, e sob a orientação de um professor desenvolvem os veículos com os quais irão competir representando a sua instituição de ensino.

Nas competições, os alunos são responsáveis pelo desenvolvimento do projeto, utilizando o conhecimento obtido em aulas e adquirindo novas habilidades, sempre em busca de melhores soluções. Além disso, também precisam levantar fundos e patrocínios, que são essenciais para a construção do veículo e participação nos eventos (Piratas do Vale Bardahl Baja SAE, 2013).

Figura 1: Protótipo Acará da Equipe Piratas do Vale Bardahl, da UNESP Guaratinguetá.



Fonte: (Autora,2013).

Atualmente na competição Baja SAE Brasil participam também outros países da América do Sul, como Uruguai e Argentina, e conta com, aproximadamente, 80 carros, 70 instituições de ensino e 1800 estudantes de graduação em engenharia (SAE Brasil, 2013).

1.2 Equipe Piratas do Vale Bardahl

Fundada 1997 por alunos da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, a Equipe Piratas do Vale Bardahl teve sua primeira participação na competição Baja SAE Brasil em 1998 e desde então participa das competições Nacional e Regional organizadas pela SAE Brasil.

Sua estrutura organizacional é o conjunto ordenado de responsabilidades administrativas, como os setores de finanças, RH, marketing, processos, construção; e na área de projeto, para cada subsistema do protótipo, onde os próprios alunos são os responsáveis.

Tabela 1: Resultados da equipe na Competição Baja SAE Brasil.

ANO	COLOCAÇÃO GERAL
1998	41° lugar
1999	39° lugar
2000	24° lugar
2001	22° lugar
2002	23° lugar
2003	51° lugar
2004	33° lugar
2006	22° lugar
2007	46° lugar
2008	22° lugar
2009	44° lugar
2010	14° lugar
2011	13° lugar
2012	37° lugar
2013	6° lugar

A partir de 2009, a equipe teve um notável crescimento, o que resultou nas posições apresentadas na tabela 1. Além dos resultados gerais a equipe recebeu, em 2011 o 3° lugar no prêmio FIAT de inovação e, em 2012, o prêmio pelo melhor sistema de reabastecimento de combustível. Atualmente em seu 14° protótipo, a equipe conquistou o 6° lugar na 19ª Competição Baja SAE Brasil. (Piratas do Vale Bardahl Baja SAE, 2013).

2 OBJETIVO

Como o objetivo específico de analisar a produção, aplicação e desempenho de materiais compósitos no projeto Baja SAE, foi estudado o processo de fabricação visando adquirir dados para uma análise detalhada que permita a aplicação do componente produzido para o protótipo, garantindo os padrões e requisitos de projeto exigidos. Com isso, estudar a aplicação de compósitos termorrígidos na indústria automobilística.

3 JUSTIFICATIVA

Atualmente as tecnologias modernas exigem materiais com propriedades que não podem ser alcançadas pelas ligas metálicas, cerâmicos e materiais poliméricos convencionais, e essencialmente quando se trata de materiais que serão aplicados nas áreas aeroespaciais, subaquáticas e de transporte (CALLISTER, 2002).

Na indústria automobilística o custo do produto é um fator limitante da produção, para que o componente seja competitivo ele deve ser produzido em grande escala e baixo custo. Os materiais que mais atendem esses requisitos são a matriz poliéster e o reforço de fibra de vidro. (MOURA; MORAIS; MAGALHÃES, 2005).

O presente trabalho pretende alinhar as ideologias da indústria automobilística com o projeto Baja SAE desenvolvido na universidade. Assim, com os resultados, será possível discutir qual material, dentre os estudados, proporciona melhor desempenho e resistência, aumentando a eficiência do veículo carro como um todo, reduzindo peso, proporcionando melhor resposta aos esforços envolvidos.

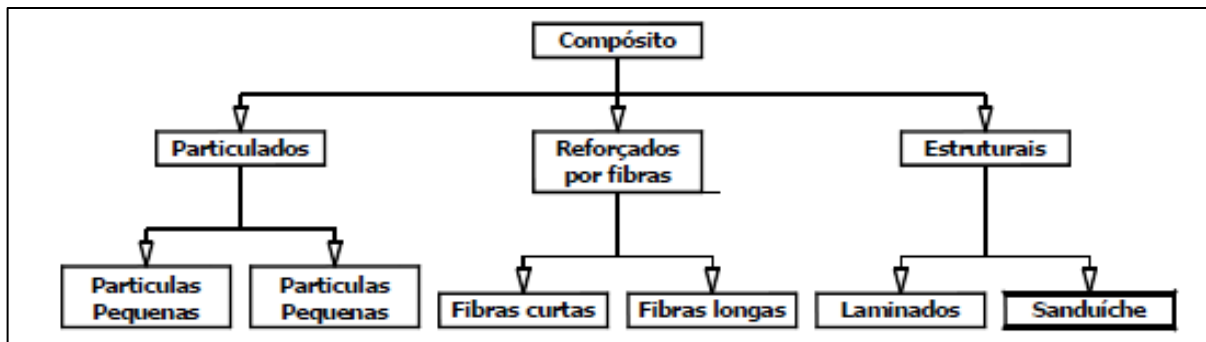
4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 Materiais Compósitos

Um material compósito pode ser qualquer material multifásico, que apresente propriedades de ambas as fases constituintes, obtendo a melhor combinação entre elas (CALLISTER, 2002).

A maioria destes materiais são compostos por duas fases: a denominada matriz, ou fase dispersa, e a denominada reforço, de modo tal que é obtida uma melhor combinação de propriedades. Esta combinação, matriz e reforço, pode ser definida de diversas maneiras, como pode se observar na figura 2 (CALLISTER, 2002).

Figura 2: Classificação dos compósitos.



Fonte: (CALLISTER, 2002).

São materiais heterogêneos, multifásicos, resultante da combinação racional de um reforço e de uma matriz, surgindo uma sinergia desses materiais, de modo a maximizar algumas propriedades no produto final. Pode-se destacar como características principais a redução de peso e melhor desempenho estrutural, resistência à fadiga e à corrosão, alta rigidez, baixo coeficiente de expansão térmica e a possibilidade de manufatura de peças com geometria complexa (NETO; PARDINI, 2006).

As vantagens dos compósitos em termos de desempenho e de campo de aplicação, devem-se à facilidade de processamento e à baixa densidade dos polímeros (MOURA; MORAIS; MAGALHÃES, 2005).

Outro fator importante, considerando os materiais compósitos, é a interface entre o reforço e a matriz. No caso estudado, de compósitos poliméricos, uma ótima interface, ou seja, a adesão reforço-matriz é essencial para que ocorra a transferência de esforços no laminado, principalmente as tensões de cisalhamento de modo a garantir boas propriedades fora do plano do laminado (REZENDE; COSTA; BOTELHO, 2011).

4.2 Reforço

O reforço aparece, geralmente, na forma de fibras ou filamentos, para reduzir o número de defeitos em relação à sua forma mássica. Com essa configuração o reforço constitui um meio mais efetivo e suporta os carregamentos mecânicos que são destinados a ele, quando aglutinados com a matriz, caso contrário não tem função estrutural. As fibras apresentam propriedades mecânicas superiores às dos materiais na forma maciça, o que justifica as excelentes propriedades dos compósitos (NETO; PARDINI, 2006).

Além de fornecer a principal resistência ao esforço, pode melhorar as propriedades físico-químicas, a processabilidade, fornecer a coloração desejada e reduzir custo do

compósito. Segundo o diâmetro, as fibras podem ser agrupadas em *whiskers*, fibras e fios (POUZADA; BERNARDO, 1983; WIEBECK; HARADA, 2005).

Os objetivos de projeto dos compósitos reforçados com fibras incluem resistência e rigidez elevada em relação ao peso do material. (CALLISTER, 2002). As fibras cerâmicas, como fibras de carbono, são os reforços mais utilizados em aplicações nobres e podem ser combinadas tanto com resinas termoplásticas quanto termofixas nas formas de fibras contínuas ou como tecidos (WIEBECK; HARADA, 2005; KUMAR; ALAGAR; RAO, 2002).

Os reforços podem ser particulados, quando as partículas de várias formas e tamanhos estão dispersas aleatoriamente na matriz; de fibra curta, pode ser encontrado na forma de manta de fibras picadas; fibra longas, na forma de tecidos. O comprimento da fibra deve ser considerado, pois interfere na resistência e rigidez de um material compósito (CALLISTER, 2002).

4.2.1 Fibra de Vidro

As fibras de vidro são os reforços mais utilizados. Essas fibras são produzidas a partir do estiramento do vidro fundido através de uma fieira, seguidos de tratamento superficiais com a finalidade de aumentar a adesão matriz/reforço. São identificadas e classificadas por normas BS/ISO (CALLISTER, 2002).

4.2.2 Fibra de Carbono

São fibras com 82 e 95% de carbono e as fibras de grafite chegam a 99%, estas são aplicadas em compósitos de elevado desempenho mecânico (MOURA; MORAIS; MAGALHÃES, 2005).

A produção da fibra de carbono é baseada na decomposição térmica de vários precursores orgânicos, sendo eles: celulose, PAN e o Piche. A diferença entre os precursores se dá nas características mecânicas da fibra resultante. É possível fabricar com fibra de carbono e matriz um composto com coeficiente de dilatação nulo, o que garante as dimensões finais conforme o projeto (NETO; PARDINI, 2006).

4.2.3 Fibra de Aramida

As fibras Aramídicas são produzidas a partir de poliamidas aromáticas. Estas apresentam excelentes resistências química, mecânica e relação rigidez-peso, além de resistências à fadiga e ao impacto, da capacidade de amortecimento de vibrações, características dielétricas e possui elevada resistência a solventes, lubrificantes, ácidos e

combustíveis. Assemelha-se à fibra de carbono pelo comportamento de dilatação térmica. A principal desvantagem é a baixa resistência à flexão, compressão e elevado custo (MOURA; MORAIS; MAGALHÃES, 2005; NETO; PARDINI, 2006).

4.3 Matriz

A matriz proporciona forma estável ao composto e garante a distribuição de carga pelo reforço. Para os materiais compostos reforçados com fibra a fase matriz une as fibras e atua como meio através do qual uma tensão aplicada externamente é transmitida e distribuída para as fibras (POUZADA; BERNARDO, 1983).

As matrizes podem ser de metal, polímero ou cerâmico, tem como função proteger as fibras individuais contra danos superficiais em decorrência da abrasão mecânica ou de reações químicas com o ambiente, além de prevenir a propagação de trincas frágeis de uma fibra para a outra. Essa barreira à propagação de fissuras é resultado de sua relativa maciez e plasticidade (CALLISTER, 2002).

É fundamental uma ligação adequada para maximizar a transmissão da tensão de uma matriz de baixa resistência para as fibras mais resistentes, ser dúctil e que a força de adesão entre a fibra e a matriz seja elevada, para que as fibras não sejam arrancadas (WIEBECK; HARADA, 2005).

As matrizes poliméricas podem ser de duas categorias: termoplásticas e termorrígidas. Neste trabalho foi abordado as termorrígidas, que formam estruturas tridimensionais bastante rígidas, num processo de cura e impregnam com facilidade no reforço. Geralmente são fornecidas para processamento sob forma de uma mistura de dois ou três componentes (resina, catalisador e acelerador). Podem-se encontrar resinas com cura à temperatura ambiente e outras que requerem a aplicação adicional de calor e pressão para efetuar a cura (POUZADA; BERNARDO, 1983).

4.3.1 Matriz Epóxi

As resinas poliméricas epóxi, são muito utilizadas como matriz, classificadas como termorrígidas de alto desempenho, com boa tenacidade e plasticidade, podendo reduzir a propagação de trincas frágeis de uma fibra pra outra. Destaca-se pela excelente compatibilidade com diversos substratos, facilitando a adesão. Apresentam bom grau de molhabilidade e fator de contração desprezível, podendo ser curadas a frio (Temperatura Ambiente) ou a quente (Estufa) (BECKWITH; HYLAND, 1999; SANTOS; SCHÖE, 2006).

Apresentam grande variedade de formulação química. A cura acontece com a adição de um agente endurecedor apropriado, como poliamidas, aminas alifáticas e aromáticas. A desvantagem é o elevado custo, sendo quatro vezes maior que a resina de poliéster. Por outro lado, possui elevada resistência mecânica, à abrasão e química, boa propriedade de adesão à fibra. Seu processo de cura ocorre um período superior á 4 horas, apresenta ótima processabilidade, baixa contração (2 a 3%) e baixa absorção de água. (SANTOS; SCHÖE, 2006; BAUER, 1989).

Ao utilizar matrizes termorrígidas os ciclos de aquecimento e arrefecimento são utilizados para iniciar e controlar o processo de cura, assegurando a consolidação da peça (BAUER, 1989).

4.4 Processo de Laminação

O processamento de um compósito refere-se ao conjunto de técnicas que conduzem à obtenção de peças. Atualmente esses processos tiveram grande desenvolvimento, com objetivo de tornar a técnica economicamente mais competitiva. Assim esses materiais têm ganhado espaço nas indústrias aeronáutica, automobilística de componentes elétricos e eletrônicos, construção civil e náutica. Os processos podem ser classificados em dois tipos, sendo estes: molde aberto e molde fechado. Neste projeto será discutido o primeiro tipo (MAZUMAR, 2002).

O processo de molde aberto resulta uma peça com apenas uma superfície com bom acabamento, esta limitação é compensada pela possibilidade de fabricar componentes de geometria complexa e de grande dimensão, devido ao fato da pressão no sistema ser reduzida ou ausente (OWENS CORNING, 2013).

4.4.1 Laminação Manual

Neste trabalho realizou-se o processo de laminação manual, onde o empilhamento e a impregnação de sucessivas camadas de reforço são feitos manualmente em molde aberto. A fim de facilitar a desmoldagem, é aplicado sobre o molde um agente desmoldante. Cada camada de reforço é impregnada com resina catalisada, com viscosidade entre 100 e 1500mPa.s e compactada com auxílio de rolos (POUZADA; BERNARDO, 1983).

Uma limitação é a sua baixa produção, sendo uma produção inferior de 1000 peças por ano. Quanto a mão de obra influi significativamente no custo, embora sendo pouco qualificada (NETO; PARDINI, 2006).

As principais vantagens são a simplicidade, baixo investimento inicial e a possibilidade de se fabricar peças com geometria complexa. Quanto às desvantagens estão associadas à necessidade de mão de obra com experiência, dependendo de sua habilidade, cuidado e produtividade. A peça apresenta teor de fibra heterogêneo, há a necessidade de retirar as rebarbas, acabamento e há emissão de estireno (MOURA; MORAIS; MAGALHÃES, 2005).

4.5 Defeitos pós laminação

4.5.1 Furo

Na furação dos compósitos são utilizadas ferramentas de corte revestidas com carboneto de tungstênio, nitreto de titânio ou diamante para aumentar seu tempo de vida útil. Há grande possibilidade de ocorrer defeitos na peça após essa operação, como delaminação, fissuras interlaminares, deslocamento fibra/matriz e danos de origem térmica (PIQUET et al., 2000).

Sendo a delaminação o defeito mais importante. A broca ao iniciar o contato com a peça promove o arranchamento das camadas superiores, provocado pelo filete de corte. A broca ao sair atua como um punção e a força de avanço promovem as delaminações entre as camadas inferiores.

Estudos realizados apontam que brocas mais pontiagudas reduzem a extensão das delaminações, por ter uma penetração mais gradual. E alguns resultados comprovaram que a força de avanço pode ser reduzida através da realização de um pré-furo de diâmetro menor (WILSON; MAEDE, 1978).

4.5.2 Corte

O corte nesses materiais pode ser realizado por serra, jato d'água ou a laser. O corte com serra mais adequado é utilizando-se a serra diamantada, para ter maior resistência ao desgaste. Visando uma melhor qualidade de corte a velocidade de corte deve ser a mais elevada, com objetivo de minimizar as forças de avanço e os defeitos induzidos por esse processo. A orientação das fibras de 90° à direção de corte origina superfícies de corte mais rugosas, pois causa flexão das fibras (MAZUMAR; 2002).

No corte com jato de água, esta é projetada em alta velocidade através de um orifício de pequena dimensão sobre a superfície a cortar. A vantagem é que não origina pó prejudicial à saúde do operador e nível de ruído baixo (inferior a 80db). Não se pode descartar a possibilidade da absorção de água por parte do laminado com delaminações.

Já no corte com laser é executado a partir de um feixe concentrado de luz monocromática focada na peça a cortar. O corte é executado por fusão, vaporização e degradação química. A desvantagem é que esse processo danifica a resina na zona de corte, devido ao aquecimento localizado. Há a necessidade de ventilação por causa dos voláteis liberados (WANG; ZHANG, 2003).

4.5.3 Impacto em Compósitos

Apesar de o laminado carbono epóxi ser considerado compósito de alto desempenho mecânico que apresenta fraca resistência a solicitações de impacto, o que resulta em uma redução da sua resistência residual à compressão. As solicitações de impacto podem-se dividir em duas categorias diferentes conforme o valor da velocidade. A de impacto de baixa velocidade, caracterizado por uma extensa zona danificada e por uma resposta global da estrutura (WANG; YEW, 1990).

Há a identificação da existência de delaminações entre as com orientações diferentes e ruptura transversal, e esta delaminação pode afetar a resistência residual da estrutura, quando submetida á solicitações de compressão. Outra preocupação é o dano não visível a olho nu, assim são necessárias técnicas de análise como ultrassons ou radiografia para detectar o dano no impacto.

Já o impacto de alta velocidade é caracterizado por uma solicitação transitória que ocasiona uma resposta de caráter localizado, havendo ou não perfuração (ABRATE; 1991).

4.5.4 Uniões em Materiais Compósitos

Com o aumento da utilização desses materiais, houve a necessidade de desenvolver tipos de uniões entre diferentes componentes, que podem ser de materiais compósitos ou metais. Para se obter uma ligação eficiente é necessário que haja transmissão de carga entre dois componentes, mantendo a sua integridade estrutural sob solicitações estáticas, dinâmicas ou ambientais (ERICKSON, 1989).

As desvantagens são que a junta acrescenta um peso na peça, induz zonas de potencial colapso da estrutura e aumentam o custo. Devido á esses fatores deve-se restringir o máximo de juntas (ERICKSON, 1989).

5 METODOLOGIA

Inicialmente foi feita uma pesquisa bibliográfica dentre livros, publicações e pesquisas na Internet de modo a catalogar os processos, materiais, aplicações e estudar o desempenho desses materiais (compósitos).

Foram analisados o processamento de dois componentes do veículo Baja SAE, sendo o primeiro o volante do protótipo e o segundo a Proteção do CVT (Continuously variable transmission). A execução do processamento foi realizada na empresa *ALLTEC Composites* e, em parte, na Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá – UNESP, e a validação das peças foi feita no protótipo Guará (Figura 3), que participou das competições regionais e nacionais dos anos de 2011 e 2012.

Figura 3: Projeto MB 1012 – Guará.



Fonte: (Equipe Piratas do Vale Bardahl, 2013).

5.1 Seleção de Materiais

A definição do projeto e material foi feita por meio de uma reunião em São José dos Campos com a empresa ALLTEC *Composites*, patrocinadora dos três projetos SAE da universidade. Nesta reunião foi apresentado este projeto de iniciação científica afim de estabelecer parceria com a empresa. Nessa ocasião foi discutido o material a ser fornecido, o projeto do componente do Baja SAE e o retorno da pesquisa ao patrocinador.

Dentre as matrizes disponibilizadas foi feita análise térmica e viscosimétrica para selecionar a resina mais adequada para o processamento em estudo.

5.1.1 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

Técnica na qual mede-se a diferença de energia fornecida à substância e a um material de referência, em função da temperatura enquanto estas estão sendo submetidas a uma programação controlada de temperatura. Procedimento onde a amostra proposta e o material de referência são aquecidas ou resfriadas em compartimentos separados individualmente, em condições isotérmicas (ao contrário da DTA) (IONASHIRO, 2004).

Com esse ensaio, pode-se identificar os efeitos de calor associados com alterações físicas ou químicas da amostra, tais como transições de fase (fusão ebulição, sublimação, congelação, inversões de estruturas cristalinas) ou reações de desidratação, de dissociação, de decomposição, de óxido-redução, etc. capazes de causar variações de calor. Em geral transições de fase, desidratações, reduções e certas reações de decomposição produzem efeitos endotérmicos, enquanto que cristalizações, oxidações, algumas reações de decomposição produzem efeitos exotérmicos (IONASHIRO, 2004).

As análises por calorimetria exploratória diferencial (DSC) da resina foram realizadas em um calorímetro TA *Instruments* modelo DSC Seiko, disponível no DMT/FEG/UNESP e adquirido no Processo FAPESP 08/00171-1, sob atmosfera de nitrogênio a uma razão de aquecimento 10°C.min⁻¹, aquecendo-se cerca de 5 mg de cada amostra de 0 a 100°C.

5.1.2 Análise Viscosimétrica

O estudo reológico dos materiais no estado sólido ou em solução nos permite obter informações muito importantes a respeito das propriedades de escoamento e deformação dos materiais, sendo a caracterização reológica dos polímeros no estado sólido ou no estado fundido importante para avaliar certas propriedades mecânicas, que estão associadas à

capacidade de processamento termomecânico de materiais poliméricos (injeção, extrusão, sopro, calandragem, etc.).

A viscosidade é a medida da fricção interna de um fluido que resiste ao escoamento e é mensurada em viscosímetros, os quais podem ser classificados em dois grupos: primário e secundário. No grupo primário estão os instrumentos que realizam medidas diretas da tensão e da taxa de deformação do fluido. Instrumentos com diversos arranjos podem ser concebidos para este fim: entre eles há o de disco, o de cone-disco e o de cilindro rotativo, todos eles visando a reprodução do escoamento entre placas planas paralelas.

Os viscosímetros do grupo secundário inferem a razão entre a tensão aplicada e a taxa de deformação por meios indiretos, isto é, sem medir a tensão e deformação diretamente. Nesta categoria estão o viscosímetro capilar, no qual a viscosidade é obtida por meio da medida do gradiente de pressão de um escoamento laminar em um tubo e o viscosímetro de Stokes, onde ela é determinada através de medições do tempo de queda livre de uma esfera através de um fluido estacionário.

Nessa pesquisa foi utilizado um viscosímetro do tipo primário modelo *Brookfield LV DV-II+ ProViscometer*, que é muito utilizado nos laboratórios pela sua facilidade de manuseio, com o fuso Fuso FSC4-27 para manter o trabalho do fuso entre 10% e 90% do torque. A velocidade foi de 70 rpm e as medidas de ponto foram coletadas a cada 10 segundos.

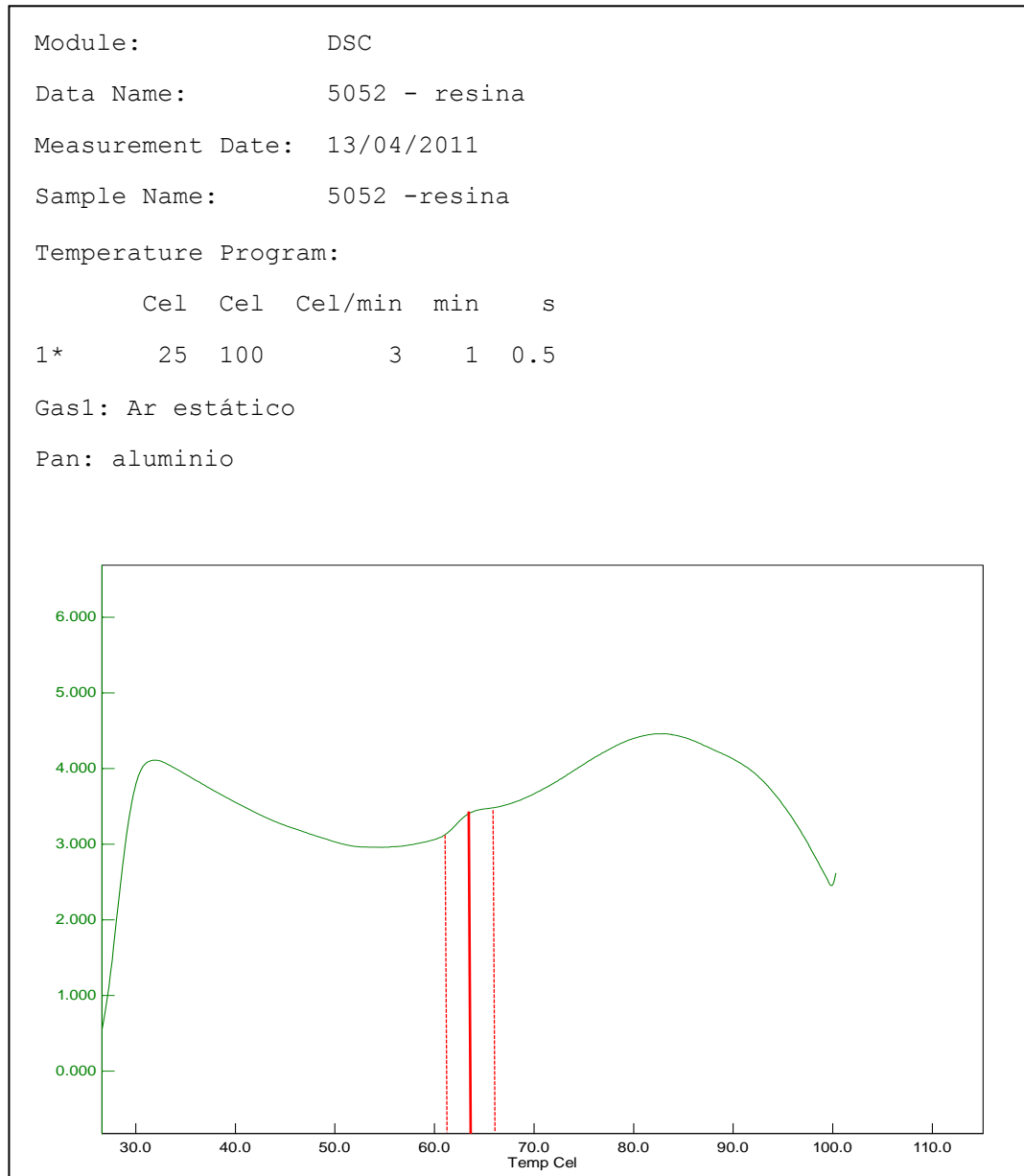
4.1.2 Escolha do material

4.2.1 Matriz

As resinas analisadas foram Araldite LY5052, EPOCAST 50-A1 e Hysol EA9396. O sistema epoxídico que apresentou em seu *datasheet* (apêndices A a C) melhores propriedades para o processamento foi Araldite LY5052, como alto tempo de manuseio, baixa viscosidade até 40°C, permitindo fácil processabilidade, e excelentes propriedades mecânicas e dinâmicas com cura de 60°C, considerada ainda uma cura à temperatura ambiente. A confirmação dos dados do *datasheet* do fabricante será realizada com ensaios de determinação de viscosidade, DSC de fluxo de calor, seguem resultados nas figuras 4 a 10:

5.2.1.1 DSC: Araldite LY5052

Figura 4: Gráfico do ensaio de DSC da resina Araldite LY5052.

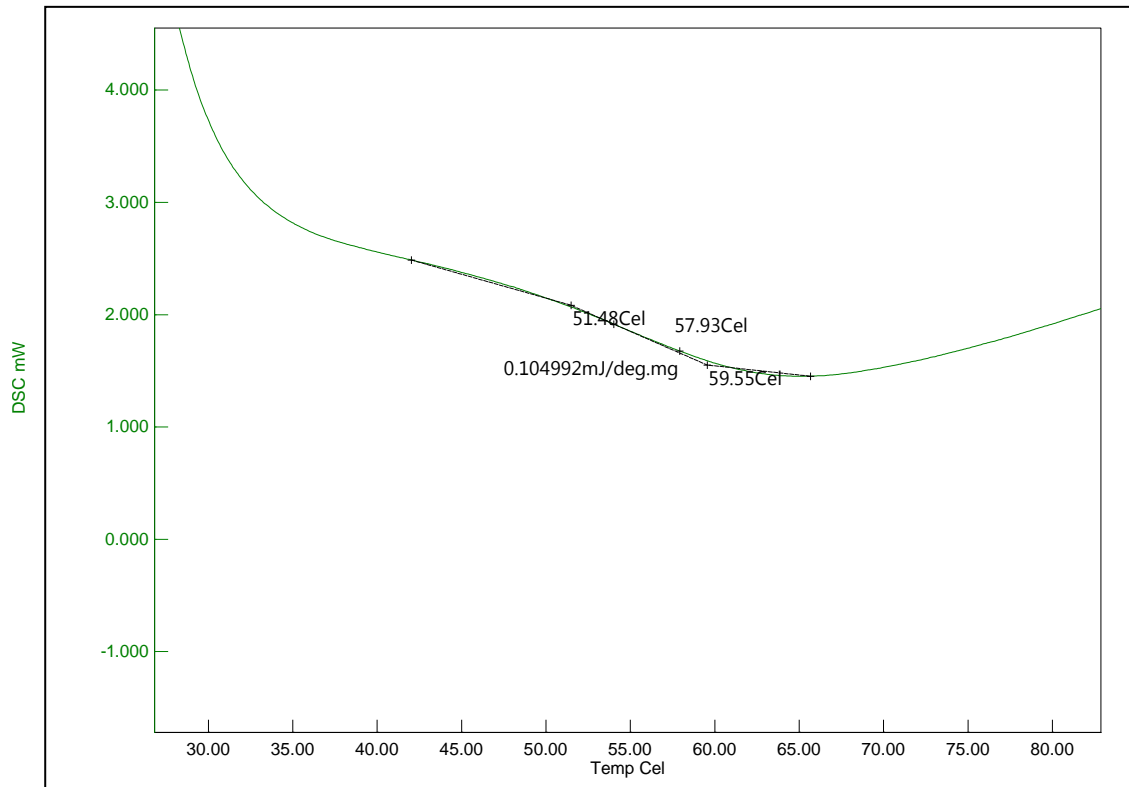


Fonte: (Autora, 2013).

A partir da análise DSC da cura de um composto de resina epóxi verificou-se que o aumento da temperatura na primeira passagem causa a cura da resina epóxi, criando um pico exotérmico no DSC, e alterando o calor específico do material.

A partir desta curva pôde-se identificar a temperatura de cura, ao traçar uma reta na vertical até atingir a reta abscissa no segundo pico observado, assim encontra-se a temperatura de 63,5°C, resultado bem próximo do valor fornecido de 60°C, no *datasheet* da matriz (apêndice A).

Figura 5: Gráfico parcial do ensaio de DSC da resina Araldite LY5052.

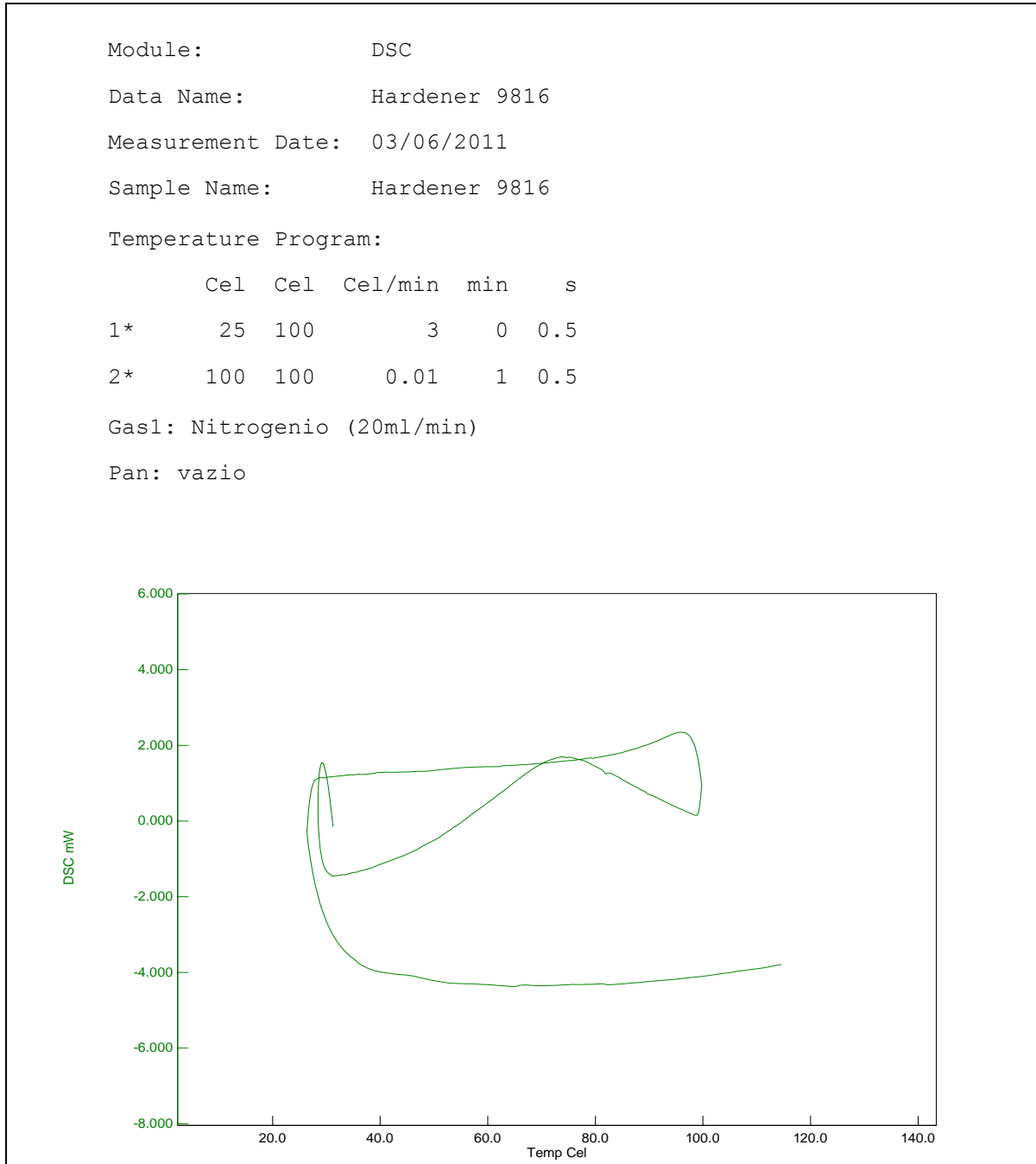


Fonte: (Autora, 2013).

A partir desta curva pôde-se identificar a temperatura de Tg de 57,93°C, ao traçar as tangentes conforme demonstrado na figura 5. Esse resultado se aproxima ao tabelado de 52-55°C, no apêndice A. Esta temperatura é o valor médio da faixa de temperatura que, durante o aquecimento de um material polimérico de uma temperatura muito baixa para valores mais altos, permite que as cadeias poliméricas da fase amorfa adquiram mobilidade, ou seja, adquiram possibilidade de mudança de conformação. Abaixo da Tg o polímero não tem energia interna suficiente para permitir o deslocamento de uma cadeia com relação a outra por mudanças conformacionais.

5.2.1.2 DSC: EPOCAST 50-A1 Resin

Figura 6: Gráfico do ensaio de DSC da resina Epocast 50-A1.



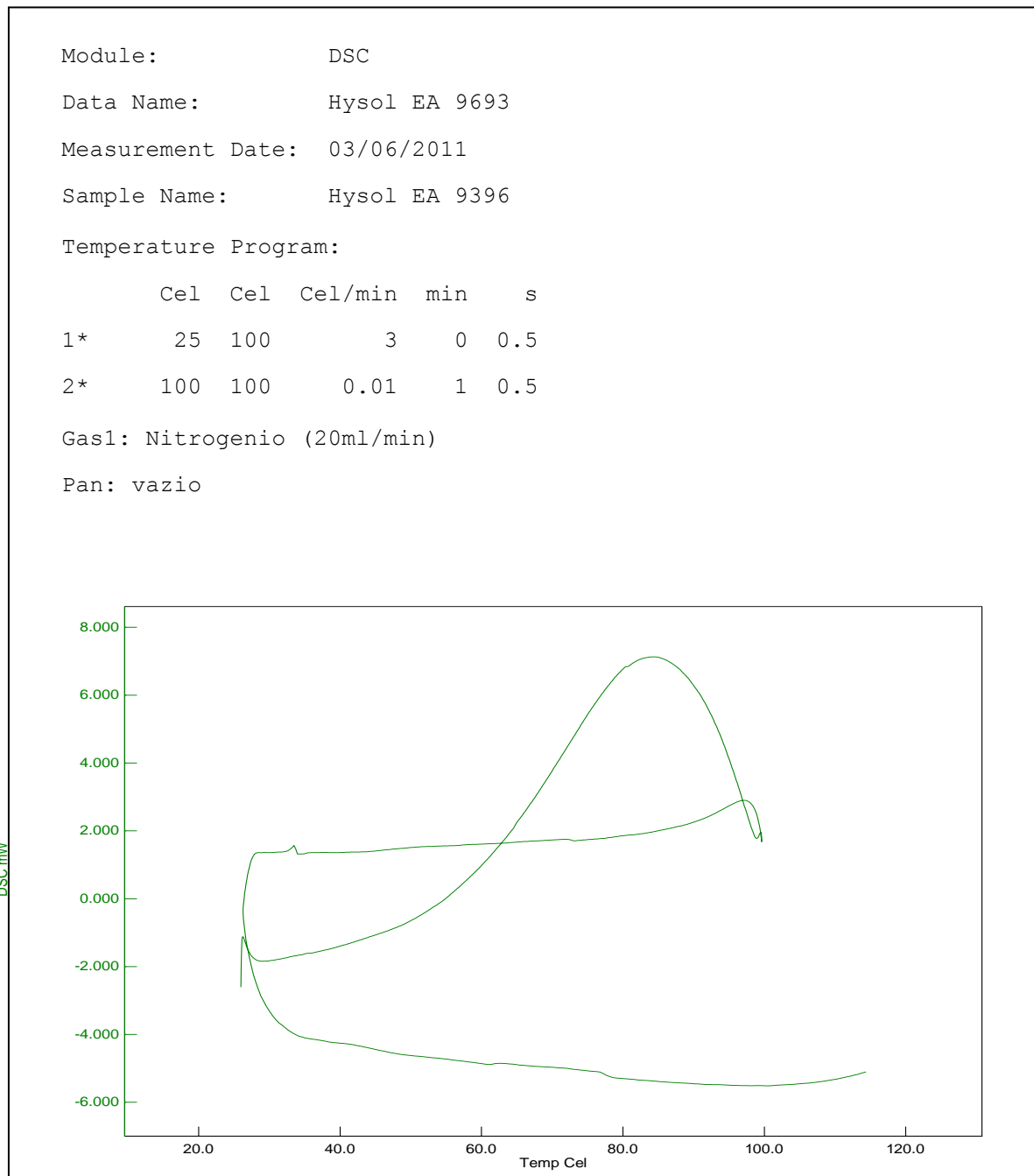
Fonte: (Autora, 2013).

Nesta corrida dinâmica realizou-se o primeiro aquecimento, resfriou o equipamento até a temperatura ambiente e iniciou-se o segundo aquecimento. A partir da curva pode-se identificar que no início do ensaio houve um erro operacional, iniciando a corrida antes do equipamento atingir a temperatura ambiente.

Considerando que a segunda corrida é a mais importante por não mascarar os dados, não foi possível identificar as mudanças da linha base na curva da figura 6. Assim não foi possível comparar os dados obtidos pelo ensaio com o os dados do *datasheet* da resina Epocast 50-A1 (apêndice B).

5.2.1.3 DSC: Hysol EA9396

Figura 7: Gráfico do ensaio de DSC da resina Hysol EA9396.



Fonte: (Autora, 2013).

Novamente repetiu-se o procedimento para a amostra Hysol EA9396, realizando o primeiro aquecimento, seguido do resfriamento do equipamento até a temperatura ambiente e por último o segundo aquecimento. Pode-se observar que no início do ensaio houve a interferência de ruídos, o que acarretou o primeiro desvio.

As corridas dinâmicas e isotermas das resinas Epocast 50-A1 e Hysol EA9396 não apresentaram resultados satisfatórios, pois não foi possível identificar a linha base, ou seja, a porção linear da Curva DSC não exibe desvio, Exotérmico ou Endotérmico, significativo na presença da amostra.

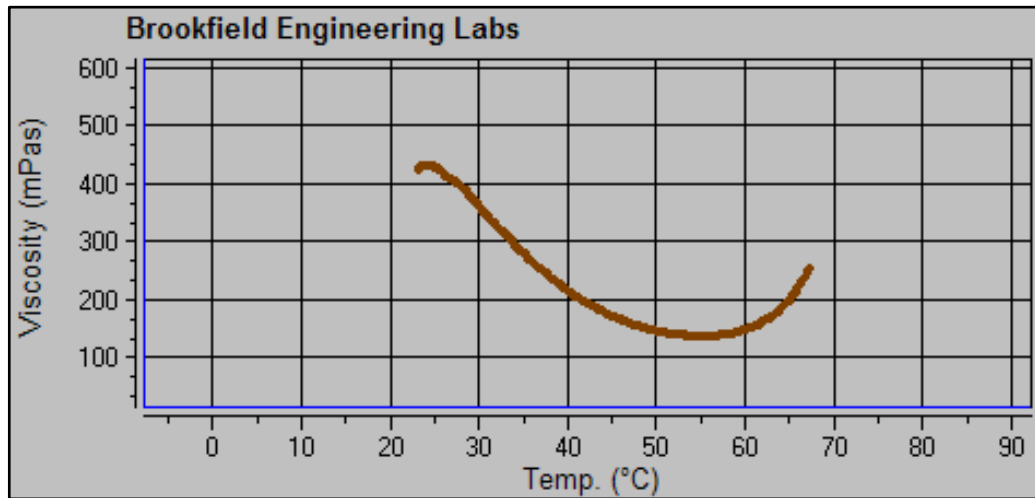
Os fatores que influenciam a curva DSC podem ser por causa do nível de ruído, quantidade traços de resíduos de experimentos prévios pode ter atacado o sistema, como também o resíduo de material decomposto ou sublimado pode ter condensado no sistema e a não utilização de Regulador de voltagem, ou regulador de Voltagem ineficiente. Além da razão de aquecimento do forno, suporte de amostra, atmosfera do forno, sensibilidade do mecanismo de registro e a localização do termopar na amostra.

5.2.1.4 Viscosimetria: Araldite LY5052

As amostras pesadas e catalisadas foram levadas ao viscosímetro a fim de se encontrar o valor da viscosidade de cada amostra realizada quando essa sofre uma taxa de cisalhamento realizada pela rotação do fuso.

Nos ensaios de viscosidade utilizou-se o Viscosímetro de Brookfield LV DV-II+ ProViscometer e o fuso FSC4-27. A escolha do fuso foi correta para esses materiais, com a porcentagem de torque acima de 10%, o que permitiu a análise de resistência, com o giro do fuso no material.

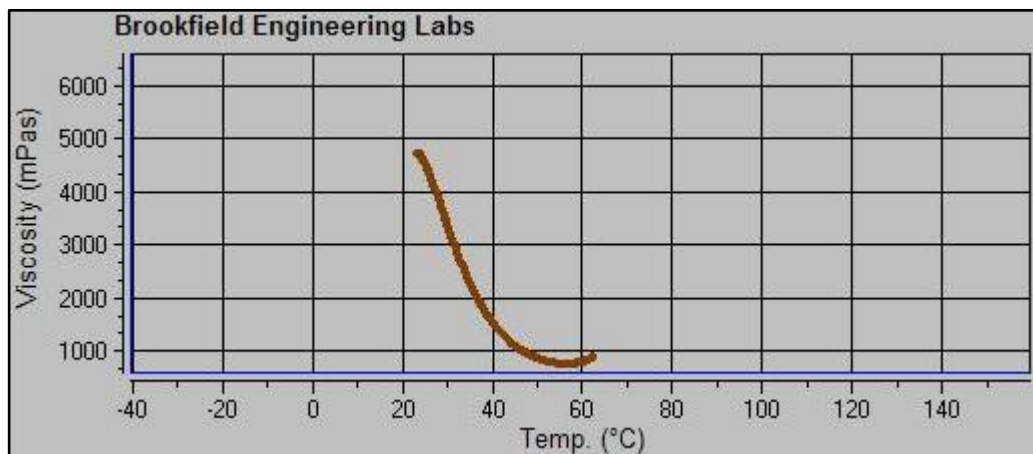
Figura 8: Gráfico de análise viscosimétrica da resina Araldite LY5052.



Fonte: (Autora, 2013).

5.2.1.5 Viscosimetria: EPOCAST 50-A1 Resin

Figura 9: Gráfico de análise viscosimétrica da resina EPOCAST 50-A1.

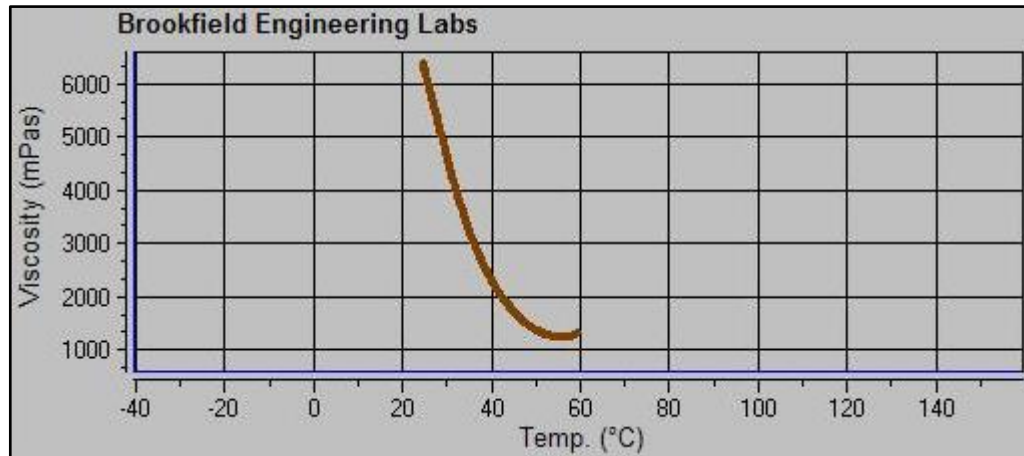


Fonte: (Autora, 2013).

As resinas Epocast 50-A1 e Hysol EA9396 apresentaram alta viscosidade, o que é um agravante para processos de moldagem líquida, que se tornam inviáveis em baixas temperaturas.

5.2.1.6 Viscosimetria: Hysol EA9396

Figura 10: Gráfico de análise viscosimétrica da resina Hysol EA9396.



Fonte: (Autora, 2013).

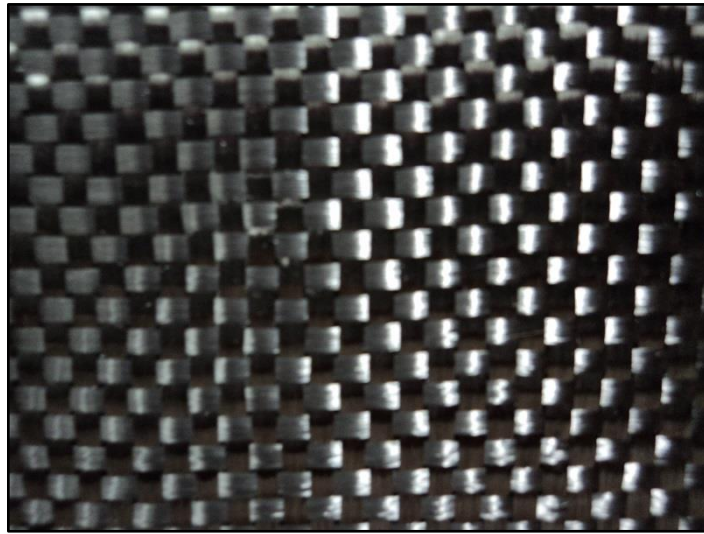
Nesta prática, determina que a viscosidade de um fluido, pode ser realizada através de método simples, com o equipamento Viscosímetro de *Brookfield*, onde os procedimentos também são bastante simples e práticos que podem facilmente serem aplicados em processos para controle de viscosidade.

Através das análises das figuras 8, 9 e 10, nota-se que a viscosidade do polímero degradado em relação ao polímero inicial diminuiu, confirmando que a quebra das moléculas ocorreu de forma eficiente, considerando o ensaio de caráter qualitativo, ou seja, ele apenas qualifica, referencia a natureza do composto. E apenas a resina Araldite 5052 apresentou propriedades apropriadas para o processo de laminação manual com bolsa de vácuo.

5.3 Reforço

O tecido de fibra de carbono utilizado (figura 11) produzido pela *HEXEL Composites*, o *HexTow AS2C - Plain wave* apresenta 3K de filamentos, densidade de 1,80 g/cm³ e teor de carbono de 94%. Com fibras contínuas de alto desempenho, com boa resistência ao cisalhamento e indicado para aplicações estruturais (*dataSheet em Apêndice D*).

Figura 11: Tecido *HexTow AS2C – Plain wave*.



Fonte: (Autora, 2013).

6 ESTUDOS DE CASO

6.1 Estudo de caso 1: Volante

O objetivo desse estudo é apresentar o processamento de um volante de compósito híbrido carbono/aramida confeccionado pela técnica de “saco de vácuo” para ser aplicado no projeto Baja SAE. Os requisitos do projeto do subsistema de direção eram reduzir a massa em 20%, alta relação resistência/peso, ergonomia, proporcionar maior desempenho e controle direcional.

6.1.1 Materiais utilizados

O compósito foi laminado utilizando 20% de fibras de vidro e 80% de fibras de carbono, deixando sempre duas camadas de carbono na superfície exterior, unidas por uma resina de sistema epoxídico comercialmente denominada Araldite 5052.

Como material de núcleo utilizou-se espuma expansiva de poliuretano, que é fornecida em dois componentes, e é usada na isolação de ambientes refrigerados, preenchimento de cavidades, canalizações térmicas, entre outras aplicações. Esse material apresenta baixo fator de condutibilidade térmica, como também ótima estabilidade dimensional às variações de temperaturas e umidade, baixa densidade, e é aplicado em diversos aspectos industriais.

6.1.2 Metodologia

O processo se iniciou na fabricação do molde fêmea da peça, e para facilitar a laminação, foi feito em duas partes, sendo uma superior e outra inferior. O laminado foi confeccionado pelo processo de laminação manual em bolsa de vácuo para permitir impregnação adequada da resina e a cura de 4 hora á 60°C em uma estufa para materiais compósitos.

Figura 12: Preparação do molde do volante.



Fonte: (Autora, 2013).

Após as duas partes curadas e devidamente rebarbadas, preencheu-se a cavidade de cada uma delas, com espuma de poliuretano, limitando seu crescimento até tangenciar a fronteira da peça.

Figura 13: Processo de laminação manual na parte inferior do molde do volante.



Fonte: (Autora, 2013).

A junção das partes foi feita com tecido de fibra de carbono desfiado, para realizar esse método fez-se um chanfro no poliuretano em todo contorno da metade e em seguida preencheu com os fios de carbono retirados da trama umedecidos com a mesma matriz utilizada na laminação. Se repetiu esse processo para as duas partes e posteriormente, as metades, posicionadas novamente no molde, foram pressionadas adequando sua geometria para formar a peça final, e foi levado para a estufa para a cura da resina inserida.

Assim, com o volante montado, o conjunto foi rebarbado e lixado na água para ter um bom acabamento superficial antes da aplicação de verniz. Por último, foram inseridos três recortes de borracha nas áreas de apoio das mãos, para melhorar o conforto do piloto.

Na parte de montagem do volante no protótipo, houve a necessidade de realizar furos para a sua fixação no cubo de direção, e para inserir equipamentos da parte elétrica. Para esses furos, foram utilizadas brocas pontiagudas com penetração gradual, além do pré-furo, para reduzir as delaminações e deslocamento fibra/matriz.

6.1.3 Resultados

O processo de fabricação se mostrou eficiente, dentro dos recursos disponíveis para a equipe e o produto final atingiu seu objetivo de ergonomia, desempenho mecânico e redução de massa de 318,0g do volante anterior, que era modelo comercial fabricado em alumínio.

Figura 14: Volante posicionado no protótipo.



Fonte: (Autora, 2013).

Em um próximo trabalho, há a necessidade de melhorar o acabamento dos moldes para reduzir as etapas de retrabalho pós-laminação, o que irá otimizar o processo de fabricação e reduzir custos de produção.

6.1.4 Conclusão

O compósito híbrido vidro/carbono (20%/80%) apresentou resultados satisfatórios atendendo às necessidades de projeto. A peça foi validada em 4 competições do protótipo Guará, somando mais de 14 horas de enduro, onde há constante solicitações de esforço. Após uma análise do componente, não foi possível encontrar trincas e delaminações no corpo do volante. Apenas apresentou delaminações nas zonas afetadas pela furação, contudo esse defeito não comprometeu a peça. Portanto, pode-se concluir que o material compósito pode ser usado em veículos fora de estrada.

6.2 Estudo de caso 2: Proteção do CVT

O objetivo desse estudo é mostrar que o compósito híbrido carbono/aramida confeccionado pela técnica de saco de vácuo pode substituir peças metálicas confeccionadas em AÇO SAE 1010 em situações de solicitação em impacto, visto que os resultados de absorção de energia são similares e reproduzíveis.

Será analisado a Proteção do CVT (Continuously variable transmission), que é um tipo de transmissão que simula uma quantidade infinita de relações de marcha, uma vez que funciona com um sistema de duas polias de tamanhos diferentes interligadas por uma correia metálica de alta resistência.

A caixa protetora envolve o sistema de câmbio do veículo, com a função de impedir a entrada de impurezas que possam comprometer o funcionamento do CVT e pela segurança, devido à alta temperatura que esse sistema atinge e rompimento da correia que conecta as polias.

6.2.1 Materiais utilizados

Foram confeccionados 8 corpos de prova para cada material, com as seguintes características:

Figura 15: Tecido de fibra de aramida.



Fonte: (Autora, 2013).

Material compósito: O compósito foi laminado utilizando 50% de fibras de aramida (Kevlar) e 50% de fibras de carbono, sendo 5 lâminas de cada reforço intercalados, unidas por uma resina de sistema epoxídico comercialmente denominada ARALDITE 5052. O laminado foi confeccionado em bolsa de vácuo para permitir impregnação adequada da resina e espessura final de 3,0 mm.

Material metálico: Os corpos de prova de aço 1010 foram retirados de uma chapa metálica como fornecida, com espessura de 1,5 mm.

Os corpos de prova foram cortados nas dimensões de 100 X 150 mm, de acordo com a Norma ASTM D 7136. O ensaio foi realizado no DCTA, utilizando uma torre para ensaio de impacto construída por eles, com penetrador esférico e 1,5 Kg de carga. Este ensaio também obedeceu as solicitações da norma ASTM D 7136.

6.2.2 Metodologia de ensaio

Os corpos de prova foram laminados na indústria Alltec, em São José dos Campos, utilizando saco de vácuo para dispersão uniforme da resina entre as fibras e eliminação de vazios. Os corpos de prova de compósito foram curados por aproximadamente 1 hora em temperatura ambiente e mais 1 hora em estufa a 60°C. Após curados os corpos de prova foram cortados nas dimensões requeridas pela norma citada acima.

O ensaio de impacto foi realizado no Departamento de Engenharia Mecânica do ITA/DCTA, utilizando uma torre para ensaio de impacto, com penetrador esférico e 1,5 Kg de carga. Este ensaio obedeceu às solicitações da norma ASTM D 7136, sendo ensaiados 5 corpos de prova para cada material, que foram posicionados no dispositivo indicado na foto da Figura 16.b.

Figura 16: a) máquina de ensaio; b) dispositivo para ensaio de impacto.

a) FOTO DA MÁQUINA



b) FOTO DO DISPOSITIVO



Fonte: (Autora, 2013).

O ensaio consiste em soltar um dispositivo, com carga, de uma altura que promova o impacto com a energia desejada no material. E o penetrador recebeu uma carga de 1,5 Kg e foi ajustado a uma altura suficiente para impactar o material com 25J de energia.

6.2.3 Resultados

Os dados de absorção de energia determinados no ensaio estão descritos na Tabela 2 e também foram plotados nos gráficos a seguir.

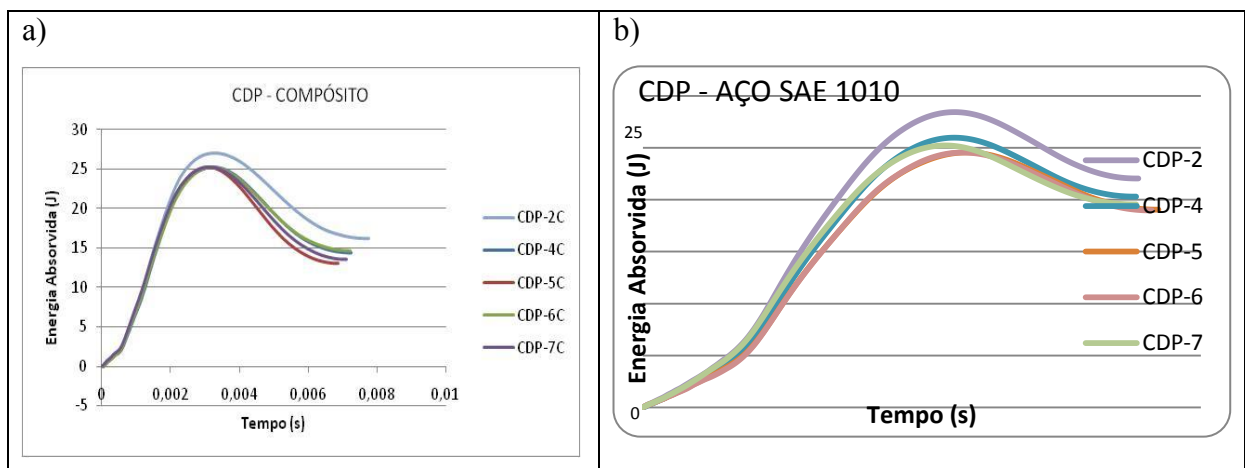
Tabela 2: Energia absorvida pelos materiais.

CDP Compósito		CDP Aço SAE 1010	
CDP	Energia Absorvida (J)	CDP	Energia Absorvida (J)
2	22,29	2	21,00
4	21,52	4	22,65
5	20,67	5	21,82
6	21,65	6	22,63
7	20,42	7	22,40
Média	21,52	Média	22,40
Desv. Pad.	0,761872693	Desv. Pad.	0,700321355

Os valores da tabela mostram a similaridade na quantidade de energia absorvida pelos materiais.

As avaliações da absorção de energia determinadas no ensaio estão apresentadas nas figuras 17 e 18. A figura 17.a mostra as curvas de Energia Absorvida por tempo de impacto para os cdps de compósito, a figura 17.b mostra os mesmos dados para os cdps de aço 1010. Os gráficos mostram um perfil de absorção semelhante e resultados pouco dispersos.

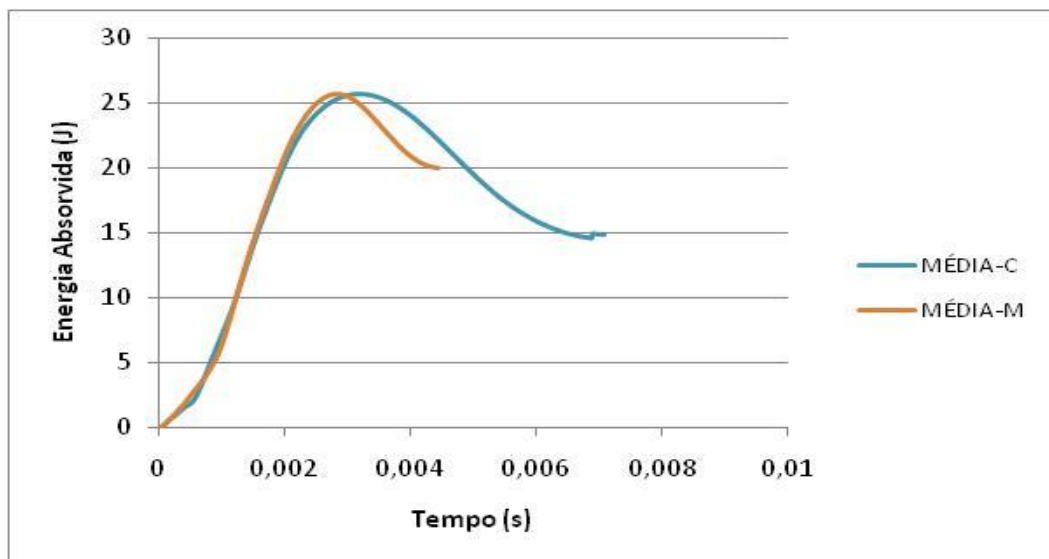
Figura 17: a) Energia de impacto absorvida pelo compósito; b) Energia de impacto absorvida pelo aço.



As curvas apresentadas nesta figura mostram um perfil de absorção bastante semelhante e com baixa dispersão.

Verifica-se na figura 18 apresenta uma comparação entre os valores médios de absorção de energia dos dois materiais. Considerando que o penetrador toca as amostras com mesma energia, cerca de 25J, a curva do compósito mais prolongada indica que o penetrador esférico ficou menos tempo em contato com o material, portanto a energia absorvida é inferior a absorvida pelo aço. No entanto, a diferença entre os valores é baixa o suficiente para permitir a substituição do material em componentes não estruturais, considerando a efetiva redução do peso que a substituição trará.

Figura 18: Comparação entre as médias de energia absorvida pelos materiais.

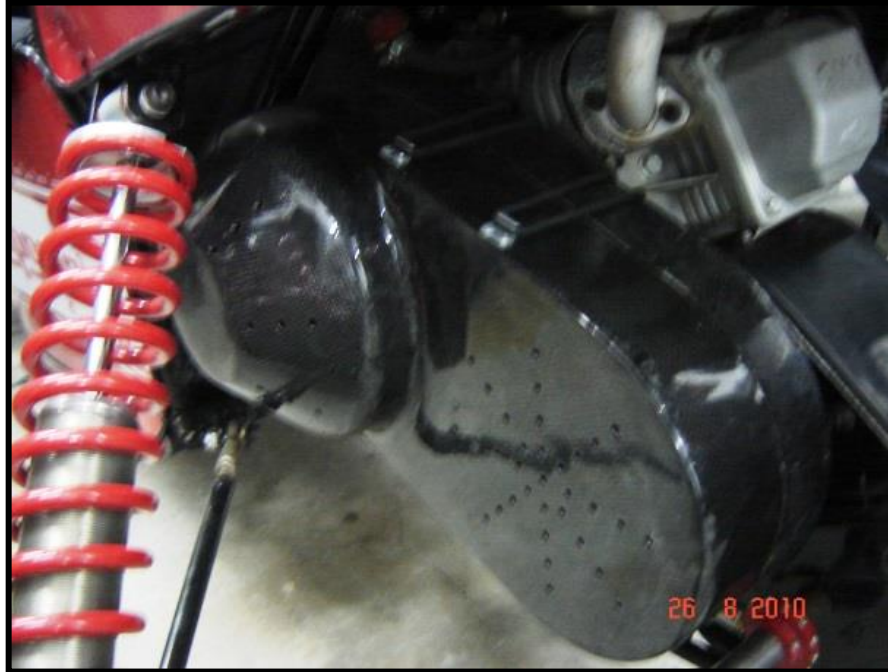


Fonte: (Autora, 2013).

A energia média absorvida pelo compósito híbrido foi de 21,31 J enquanto a do aço SAE 1010 foi de 22,1J, uma diferença menor que 1J.

O compósito descrito neste estudo foi aplicado, com função mecânica e de segurança, na confecção da caixa de proteção do CVT do Baja SAE do campus da Faculdade de Engenharia – Guaratinguetá, e parte dele pode ser vista na fotografia mostrada na figura 19.

Figura 19: Caixa de proteção do CVT.



Fonte: (Autora, 2013).

6.2.4 Conclusão

O compósito híbrido aramida/carbono (50%/50%) com 3,0mm de espessura apresenta nível similar de absorção de energia, considerando uma chapa de aço SAE 1010 de 1,5mm. Portanto, pode-se concluir que o material compósito pode ser usado para substituir peças metálicas confeccionadas em aço SAE 1010 desde que tenham o dobro da espessura do material metálico.

7 CONCLUSÃO

O presente trabalho está orientado para o processamento de compósitos para aplicação no projeto Baja SAE e, portanto, comparando os resultados com os critérios apresentados conclui-se que o projeto proposto é adequado para o uso em um protótipo.

Pode-se concluir que o processo de fabricação descrito é viável para o projeto, considerando a produção de peças atende a demanda da equipe e o baixo custo de fabricação do molde e de laminação.

A metodologia do processo de laminação estabelecida nos estudos de caso foi validada e contribuiu para o desenvolvimento científico e tecnológico da equipe de Baja SAE da UNESP Guaratinguetá, o que auxiliou no melhor desempenho nas competições.

8 CORRELAÇÃO ACADÊMICA

Ao longo da pesquisa foi possível adequar à prática, vários conteúdos acadêmicos, conforme a lista abaixo:

- Introdução à Metodologia Científica;
- Estrutura dos Materiais;
- Estática e Introdução à Resistência dos Materiais;
- Microscopia e Caracterização de Estruturas;
- Análises Térmicas;
- Processamento de Polímeros;
- Propriedades dos Materiais;
- Introdução à Reologia;
- Processamento de Compósitos;
- Usinagem e Metrologia.
- Pesquisa e Desenvolvimento em Ciência dos Materiais;
- Pesquisa e Desenvolvimento em Processamento dos Materiais;
- Pesquisa e Desenvolvimento em Caracterização dos Materiais;
- Trabalho de Conclusão de Curso.

9 TRABALHOS FUTUROS

Há a necessidade para trabalhos futuros de se estudar o desgaste e a degradação das peças estudadas nesse presente trabalho, principalmente após o endurecimento de 4h onde o protótipo está sujeito a solicitações de impacto constante.

A análise térmica aplicada à resina para se obter parâmetros de estabilidade térmica e estágios de degradação, essas análises serão realizadas em uma termobalança Seiko (modelo TGA-50), disponível no DMT/FEG/UNESP e adquirida no processo FAPESP 08/00171-1. Em acréscimo, tem-se a análise mecânica, através do ensaio de fadiga no corpo-de-prova e a caracterização microscópica.

BIBLIOGRAFIA

ABRATE, S. **Impact on Laminated Composites Materials**, *Applied Mechanics Review*, 44: 155-190 (1991).

BAUER, R. S. **Application of epoxy resins in advanced composites**. In: **Internacional Sampe Symposium**. Tomorrow's Materials: Today. Vol. 34-II, (1989), 1889-1900.

BECKWITH, S. W., HYLAND, C. R. **Resin transfer molding: a decade of technology advances**. In: Resin Transfer Molding, SAMPE Monograph n. 3, 1999.

CALLISTER, W.D., Jr. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma introdução**, 5 ed., 2002.
ERICKSON, L. I., **Contact Stress in Bolted Joints of Composite Laminates**. *Composite Structures*, : 57-75 (1989).

IONASHIRO, M. **Princípios Básicos da Termogravimetria e Análise Térmica Diferencial/ Calorimetria Exploratória Diferencial**. Giz Editorial, 1ed. 2004.

KUMAR, A. A., ALAGAR, M., RAO, R. M. V. G. K. **Synthesis and characterization of siliconized epoxy-1,3bis(maleimido)benzene intercrosslinked matrix materials**. *Polymer*. 43(2002) 693-702.

MAZUMAR,S.K. **Composites Manufacturing – Materials, Product and Process Engineering**. CRC Press, 2002.

MOURA, M. F. S.F., MORAIS, A. B, MAGALHÃES, A. G. **Materiais Compósitos: Materiais, Fabrico e Comportamento Mecânico**. Publindústria, 2ed. 2005.

NETO, F. L., PARDINI, L.C. **Compósitos Estruturais: Ciência e Tecnologia**. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2006.

OWENS CORNING. Disponível em: www.owenscorning.net. Acessado em 02/09/2013.
PIQUET,R., B. FERRET, F. LACHAUD, P. SWIDER. **Experimental Analysis of Drilling in Thin Carbon/Epoxy Plate using Special Drills**. *Composites: Part A*, 31: 1107-1115 (2000).

PIRATAS DO VALE BAJA SAE. Disponível em: <http://bajapiratas.Wordpress.com/>. Acessado em 18/07/2013.

POUSADA, A.S.; Bernardo, C. A. **Introdução à engenharia dos polímeros**, Área de Engenharia de Polímeros, Universidade do Minho, 1983.

REZENDE, M.C., COSTA, M.L., BOTELHO, E.C. **Compósitos Estruturais: Tecnologia e Prática**. Artliber, 2011.

SAE BRASIL. Disponível em: www.saebrasil.org.br/eventos/ProgramasEstudantis/site/baja2011/index.html - acessado em 15/07/2013.

SANTOS, A.F.; C.G SCHÖE, **Determinação das Propriedades Mecânicas de um Adesivo Estrutural Epóxi**. 17° CBECIMat , (2006), 8799-8808.

STEENKAMER, D. A., **The influence of preform design and manufacturing issues on the processing and performance of resin transfer molded composites**. Dissertation, CCM Report 94-09, Center Composite Materials, University of Delaware, Newark, Delaware, USA, 1994.

WANG, C.Y., YEW, C.H. **Impact Damage in Composite Laminates**, *Computers & Structures*, 37:6, 976-982, 1990.

WANG, X.M., ZHANG L.C. **An Experimental Investigation into the Orthogonal Cutting of Unidirectional Fibre Reinforced Plastics**. *International Journal of Machine Tools &Manufacture*, 43: 1015-1022 (2003).

WIEBECK, H., HARADA, J. **Plásticos de Engenharia: tecnologia e aplicações**. São Paulo, Artliber Editora, 2005.

WILSON, R. MAEDE L. E. **Maching, Assembly and Assembly forms**. *Engineered Materials Handbook*, vol 1 Composites. ASTM International, 9: 667-672 (1978).

APÊNDICES

APÊNDICE A: ARALDITE LY 5052

Cold-curing epoxy system based on Araldite LY 5052 / Aradur 5052

Advanced Materials
Structural Composites

HUNTSMAN

MATRIX SYSTEMS FOR AEROSPACE COMPOSITES
MATRIX SYSTEMS FOR INDUSTRIAL COMPOSITES

DATA SHEET

Cold-curing epoxy system based on Araldite® LY 5052* / Aradur® 5052*

Araldite LY 5052 is a low-viscosity epoxy resin
Aradur 5052 is a mixture of polyamines

Applications	Aerospace and industrial composites, tooling, aircraft repair.																																															
Properties	<ul style="list-style-type: none"> • Low viscosity, easy impregnation of reinforcement materials. • Long potlife (2 hours for 100 ml at ambient), ample processing time allows production of big objects. • High temperature resistance (glass transition temperature) after ambient cure: 60 °C, after post-cure at 100:120 °C. • Excellent mechanical and dynamic properties after ambient cure with potential for even higher properties after post-cure at elevated temperatures. • Also laminates show outstanding mechanical and dynamic properties. This system is qualified by the Luftfahrtbundesamt (German Aircraft Authority) for the production of gliders. <p>Adequate skin protection is indispensable.</p>																																															
Processing	<ul style="list-style-type: none"> • Wet lay-up • Resin Transfer Moulding (RTM) • Pressure Moulding • Filament Winding 																																															
Key data	<table border="1"> <tr> <td colspan="4">Araldite LY 5052</td> </tr> <tr> <td>Aspect (visual)</td> <td colspan="3">clear liquid</td> </tr> <tr> <td>Colour (Gardner, ISO 4630)</td> <td colspan="3">≤ 2</td> </tr> <tr> <td colspan="4"><i>(see expiry date on original container)</i></td> </tr> <tr> <td colspan="4">Aradur 5052</td> </tr> <tr> <td>Aspect (visual)</td> <td colspan="3">clear liquid</td> </tr> <tr> <td>Colour (Gardner, ISO 4630)</td> <td colspan="3">≤ 4</td> </tr> <tr> <td>Viscosity at 25 °C (ISO 12058-1)</td> <td>40 - 60</td> <td>[mPa s]</td> <td rowspan="5">nPa s] g/cm³ C] C]</td> </tr> <tr> <td>Density at 25 °C (ISO 1675)</td> <td>0.94</td> <td>[g/cm³]</td> </tr> <tr> <td>Flash point (ISO 2719)</td> <td>≥ 110</td> <td>[°C]</td> </tr> <tr> <td>Storage temperature</td> <td>2 - 40</td> <td>[°C]</td> </tr> <tr> <td colspan="4"><i>(see expiry date on original container)</i></td> </tr> </table>			Araldite LY 5052				Aspect (visual)	clear liquid			Colour (Gardner, ISO 4630)	≤ 2			<i>(see expiry date on original container)</i>				Aradur 5052				Aspect (visual)	clear liquid			Colour (Gardner, ISO 4630)	≤ 4			Viscosity at 25 °C (ISO 12058-1)	40 - 60	[mPa s]	nPa s] g/cm ³ C] C]	Density at 25 °C (ISO 1675)	0.94	[g/cm ³]	Flash point (ISO 2719)	≥ 110	[°C]	Storage temperature	2 - 40	[°C]	<i>(see expiry date on original container)</i>			
Araldite LY 5052																																																
Aspect (visual)	clear liquid																																															
Colour (Gardner, ISO 4630)	≤ 2																																															
<i>(see expiry date on original container)</i>																																																
Aradur 5052																																																
Aspect (visual)	clear liquid																																															
Colour (Gardner, ISO 4630)	≤ 4																																															
Viscosity at 25 °C (ISO 12058-1)	40 - 60	[mPa s]	nPa s] g/cm ³ C] C]																																													
Density at 25 °C (ISO 1675)	0.94	[g/cm ³]																																														
Flash point (ISO 2719)	≥ 110	[°C]																																														
Storage temperature	2 - 40	[°C]																																														
<i>(see expiry date on original container)</i>																																																
Storage	<p>Provided that the products described above are stored in a dry place in their original, properly closed containers at the above mentioned storage temperatures they will have the shelf lives indicated on the labels. Partly emptied containers should be closed immediately after use.</p>																																															

* In addition to the brand name product denomination may show different appendices, which allows us to differentiate between our production sites: e.g., BD = Germany, US = United States, IN = India, CI = China, etc.. These appendices are in use on packaging, transport and invoicing documents. Generally the same specifications apply for all versions. Please address any additional need for clarification to the appropriate Huntsman contact.

Cold-curing epoxy system based on Araldite LY 5052 / Aradur 5052

Processing data

Mix ratio	Components	Parts by weight	Parts by volume
	Araldite LY 5052	100	100
	Aradur 5052	38	47
The components must be weighed accurately and mixed thoroughly to obtain optimal properties. The sides and bottom of mixing vessels must be included in the mixing process. Large mix quantities will show considerable exotherm, leading to short potlives. Preferably mix smaller quantities or divide large mixes into smaller containers.			
Initial mix viscosity (ISO 12058-1)	[°C]		[mPa s]
	at 18		1150 - 1350
	at 25		500 - 700
	at 40		200 - 250
Viscosity build-up (ISO 12058-1)	[°C]	[mPa s]	[min]
	at 25	to 1500	50 - 60
	at 25	to 3000	90 - 110
	at 40	to 1500	40 - 45
	at 40	to 3000	50 - 60
	at 60	to 1500	15 - 18
	at 60	to 3000	18 - 22
Pot life (Tecam, 100 ml, 65 % RH) Long potlife means ample time to produce even big objects.	[°C]		[min]
	at 18		280 - 320
	at 25		110 - 160
	at 40		45 - 55
Gel time (Hot plate)	[°C]		[min]
	at 25		420 - 500
	at 40		150 - 170
	at 60		40 - 55
	at 80		14 - 17
	at 100		4 - 6
	at 120		2 - 3
The values shown are for small amounts of pure resin/hardener mix. In practice, fibre content and laminate thickness may modify the gel time to a very significant extent. In composite structures the gel time can differ significantly from the given values depending on the fibre content and the laminate thickness.			
Gelation at 23 °C (in thin layers:			[h]
	Start		5 - 6.5

Gel time (Hot plate)	[°C]	[min]
	at 25	420 - 500
	at 40	150 - 170
	at 60	40 - 55
	at 80	14 - 17
	at 100	4 - 6
	at 120	2 - 3

The values shown are for small amounts of pure resin/hardener mix. In practice, fibre content and laminate thickness may modify the gel time to a very significant extent. In composite structures the gel time can differ significantly from the given values depending on the fibre content and the laminate thickness.

Gelation at 23 °C (in thin layers: 0.4 - 0.7 mm)		[h]
	Start	5 - 6.5
	End	7 - 8

Typical cure cycles	1 day 23 °C + 15 h 50 °C or 1 day 23 °C + 4 h 100 °C
---------------------	---

The optimum cure cycle has to be determined case by case, depending on the processing and the economic requirements.

Properties of the cured, neat formulation

Glass transition temperature (IEC 1006, DSC, 10 K/min)	Cure:	$T_{g \text{ onset}} [^{\circ}\text{C}]$	$T_g [^{\circ}\text{C}]$			
	2 days 25 °C	50 - 52	52 - 55			
	8 days 25 °C	60 - 64	62 - 66			
	4 month 23 °C	64 - 68	67 - 71			
	1 day 23 °C + 10 h 40 °C	68 - 72	70 - 76			
	1 day 23 °C + 20 h 40 °C	72 - 76	74 - 80			
	1 day 23 °C + 10 h 50 °C	78 - 82	80 - 85			
	1 day 23 °C + 15 h 50 °C	81 - 85	82 - 88			
	1 day 23 °C + 10 h 60 °C	92 - 96	94 - 104			
	1 day 23 °C + 15 h 60 °C	94 - 98	96 - 106			
	1 day 23 °C + 2 h 80 °C	106 - 110	108 - 114			
	1 day 23 °C + 8 h 80 °C	112 - 116	114 - 122			
	1 day 23 °C + 1 h 90 °C	104 - 108	108 - 118			
	1 day 23 °C + 4 h 90 °C	112 - 116	116 - 126			
	1 day 23 °C + 1 h 100 °C	116 - 120	118 - 130			
	1 day 23 °C + 4 h 100 °C	118 - 124	120 - 134			
	Even if post-cured at elevated temperature <u>after</u> a prolonged cure at ambient, a good increase of the glass transition temperature is obtained as follows :					
	4 months 23 °C + 4 h 130 °C	106 - 112	120 - 132			
	The maximum attainable glass – transition temperature for this system is in the range of 130 °C					
Tensile test (ISO 527)	Cure:	<i>7 days RT</i>	<i>15 h 50 °C</i>	<i>8 h 80 °C</i>		
	Tensile strength [MPa]	49 - 71	82 - 86	84 - 86		
	Elongation at tensile strength [%]	1.5 - 2.5	3.1 - 3.7	5.7 - 5.9		
	Ultimate strength [MPa]	49 - 71	80 - 83	80 - 84		
	Ultimate elongation [%]	1.5 - 2.5	3.5 - 5.5	7.0 - 8.5		
	Tensile modulus [MPa]	3350 - 3550	3450 - 3650	3000 - 3200		
Flexural test (ISO 178)	Cure:	<i>15 h 50 °C</i>	<i>8 h 80 °C</i>			
	Flexural strength [MPa]		130 - 140	116 - 122		
	Elongation at flexural strength [%]		5.8 - 6.3	6.5 - 7.2		
	Ultimate strength [MPa]		90 - 115	87 - 113		
	Ultimate elongation [%]		8.0 - 9.5	8.5 - 13.4		
	Flexural modulus [MPa]		3000 - 3300	2700 - 3000		
Fracture properties	Cure:			<i>8 h 80 °C</i>		
Bend notch test (PM 258-0/90)	Fracture toughness K_{1C} [MPa $\sqrt{\text{m}}$]			0.77-0.83		
	Fracture energy G_{1C} [J/m 2]			192 - 212		
Water absorption (ISO 62)	<i>Immersion:</i>	Cure:	<i>7 days RT</i>	<i>8 h 80 °C</i>		
	4 days H $_2$ O 23 °C [%]		0.45 - 0.50	0.40 - 0.45		
	10 days H $_2$ O 23 °C [%]		0.70 - 0.80	0.65 - 0.70		
	30 min H $_2$ O 100 °C [%]		0.55 - 0.60	0.45 - 0.50		
	60 min H $_2$ O 100 °C [%]		0.70 - 0.80	0.60 - 0.70		
Coefficient of linear thermal expansion (DIN 53 752)	<i>Mean value:</i>	Cure:	<i>7 d RT</i>	<i>15 h 50 °C</i>	<i>8 h 80 °C</i>	
	α from 20 - 50 °C [10 $^{-6}$ /K]		97	-	-	
	α from 20 - 90 °C [10 $^{-6}$ /K]		-	71	-	
	α from 20 - 120 °C [10 $^{-6}$ /K]		-	-	71	
Poisson's Ratio					[]	0.35

Cold-curing epoxy system based on Araldite LY 5052 / Aradur 5052

Properties of the cured, reinforced formulation

Flexural test (ISO 178)	Samples:		
	16 layers (4 mm) E-glass fabric 1:1, 280-300 g/m ²		
	Fibre volume content: 45 - 46 %		
	Cure: 10 h 80 °C		
	<i>Unconditioned</i>		
	Flexural strength	[MPa]	440 - 490
	Elongation at flexural strength	[%]	2.7 - 3.0
	Ultimate strength	[MPa]	420 - 460
	Ultimate elongation	[%]	2.9 - 3.2
	Flexural modulus	[MPa]	20000 - 22000
<i>After 30 days in H₂O 23 °C</i>			
Flexural strength	[MPa]	380 - 400	
Elongation at flexural strength	[%]	2.7 - 3.0	
Ultimate strength	[MPa]	340 - 370	
Ultimate elongation	[%]	1.9 - 3.4	
Flexural modulus	[MPa]	19000 - 21000	
Tensile test (ISO 527)	Samples:		
	16 layers (4 mm) E-glass fabric 1:1, 280-300 g/m ²		
	Fibre volume content : 45 - 46 %		
	Cure: 10 h 80 °C		
	Tensile strength	[MPa]	360 - 390
Ultimate elongation	[%]	1.6 - 1.9	
Tensile modulus	[MPa]	33100 - 39100	
Interlaminar shear strength (ASTM D 2344)	Short beam: E-glass unidirectional specimen, thickness t = 3.2 mm		
	Fibre volume content: 60 %		
		<i>Cure:</i>	<i>7 days RT</i> <i>8 h 80 °C</i>
	Unconditioned	[MPa]	57 - 61 60 - 65
	After 1 h in H ₂ O 100 °C	[MPa]	55 - 60 58 - 62

APÊNDICE B: HYSOL EA9396



Hysol® EA 9396

Epoxy Paste Adhesive

Henkel Corporation
Aerospace Group
2850 Willow Pass Road
P.O. Box 312
Bay Point, CA 94565 USA
925.458.8000
Fax: 925.458.8030
www.aerospace.henkel.com

Description

Hysol EA 9396 is a low viscosity, room temperature curing adhesive system with excellent strength properties at temperatures from -67°F to 350°F (-55°C to 177°C). Hysol EA 9396 has a shelf life of one year when stored @ 77°F/25°C for separate components. Qualified to MMM-A-132, Rev A, Type 1, Class 3.

Features

Low Viscosity
Room Temperature Cure
Room Temperature Storage
High Strength at Low and High Temperatures

Uncured Adhesive Properties

	<u>Part A</u>	<u>Part B</u>	<u>Mixed</u>
Color	Aqua-Blue	Light Amber Red - Purple (Gardner color 17+)	Green to Dark Purple
Viscosity @ 77°F Brookfield, HBT	400 - 1,400 Poise Spdl 4 @ 10 rpm	0.7 - 1.1 Poise Spdl 1 @ 100 rpm	35 Poise Spdl 1 @ 20 rpm
Viscosity @ 25°C Brookfield, HBT	80 Pa·S Spdl 4 @ 2.1 rad/s	0.1 Pa·S Spdl 1 @ 10.5 rad/s	3.5 Pa·S Spdl 1 @ 2.1 rad/s
Density (g/ml)	1.19	1.00	1.14
Shelf life			
@ <40°F/4°C	1 year	1 year	
@ <77°F/25°C	1 year	1 year	

This material will normally be shipped at ambient conditions, which will not alter our standard warranty, provided that the material is placed into its intended storage upon receipt. Premium shipment is available upon request.

Handling

Mixing - This product requires mixing two components together just prior to application to the parts to be bonded. Complete mixing is necessary. The temperature of the separate components prior to mixing is not critical, but should be close to room temperature (77°F/25°C).

<u>Mix Ratio</u>	<u>Part A</u>	<u>Part B</u>
By Weight	100	30

Note: Volume measurement is not recommended for structural applications unless special precautions are taken to assure proper ratios.

Hysol EA 9396
Henkel Corporation
Aerospace Group
Page 2 of 4

Pot Life (450 g mass) 75 - 90 minutes
Method - ASTM D2471 in water bath.

Application

Mixing - Combine Part A and Part B in the correct ratio and mix thoroughly. **THIS IS IMPORTANT!** Heat buildup during or after mixing is normal. Do not mix quantities greater than 450 grams as dangerous heat buildup can occur causing uncontrolled decomposition of the mixed adhesive. **TOXIC FUMES CAN OCCUR, RESULTING IN PERSONAL INJURY.** Mixing smaller quantities will minimize the heat buildup.

Applying - Bonding surfaces should be clean, dry and properly prepared. For optimum surface preparation consult the Hysol Surface Preparation Guide. The bonded parts should be held in contact until the adhesive is set. Handling strength for this adhesive will occur in 24 hours @ 77°F/25°C, after which the support tooling or pressure used during cure may be removed. Since full bond strength has not yet been attained, load application should be small at this time.

Curing - This adhesive may be cured for 3 to 5 days @ 77°F/25°C to achieve normal performance. Accelerated cures of 1 hour @ 150°F/66°C may be used.

Cleanup - It is important to remove excess adhesive from the work area and application equipment before it hardens. Denatured alcohol and many common industrial solvents are suitable for removing uncured adhesive. Consult your supplier's information pertaining to the safe and proper use of solvents.

Bond Strength Performance

Tensile Lap Shear Strength

Tensile lap shear strength tested per ASTM D1002 after curing as shown below.

Adherends are 2024-T3 bare aluminum treated with phosphoric acid anodized per ASTM D3933.

Test Temperature °F/°C	Typical Results					
	Cure		Cure		Cure	
	5 days @ 77°F/25°C		1 hour @ 150°F/66°C		30 min @ 180°F/82°C	
	psi	MPa	psi	MPa	psi	MPa
-67/-55	3,300	22.8	3,300	22.8	3,500	24.1
77/25	3,500	24.1	4,000	27.6	4,000	27.6
180/82	3,200	22.0	3,300	22.8	3,300	22.8
300/149	1,800	12.4	1,800	12.4	1,900	13.1
350/177	1,250	8.6	1,200	8.3	1,200	8.3

Peel Strength

Bell Peel strength tested per ASTM D3167 after curing for 5 days @ 77°F/25°C.

Adherends are 2024-T3 bare aluminum treated with phosphoric acid anodized per ASTM D3933.

Test Temperature °F/°C	Typical Results	
	lb/in	N/25mm
77/25	25	111
180/82	20	89

Specifications

The above values are typical results under ideal conditions. To establish certification values, please refer to the Henkel Aerospace Specification which defines quality control test values, methods and procedures. For a copy of the Henkel Aerospace Specification, contact Henkel's Literature Desk at (925) 458-8000.

Hysol EA 9396
Henkel Corporation
Aerospace Group
Page 3 of 4

Service Temperature

Service temperature is defined as that temperature at which this adhesive still retains 1000 psi/6.9 MPa using test method ASTM D1002 and is approximately 350°F/177°C.

Henkel QC Acceptance Testing

This data sheet provides users with typical properties obtained from this adhesive. These values are not meant to be used to develop aerospace QC acceptance testing. Users interested in establishing values and tests for routine QC acceptance should request the Henkel Aerospace Specification (LAS) which provides detail test methods and values used to certify this adhesive.

Bulk Resin Properties

	<u>psi</u>	<u>MPa</u>
<i>Tensile Strength @ 77°F/25°C</i>	8,000	35.2
<i>Tensile Modulus @ 77°F/25°C</i>	400,000	2,750
	<u>%</u>	
<i>Elongation at Break @ 77°F/25°C</i>	3.4	

Electrical Properties - tested per ASTM D149, D150.

	<u>0.1 KHz</u>	<u>1.0 KHz</u>	<u>10.0 KHz</u>
Dielectric Constant	4.17	4.12	3.97
Dissipation Factor	0.006	0.017	0.031
Volume Resistivity	2.14 x 10 ¹⁵ (ohm-cm)		
Surface Resistivity	3.17 x 10 ¹⁴ (ohm)		
Thermal Conductivity	5.01 x 10 ⁻⁴ (cal/sec x cm x deg C)		
Coefficient of Thermal Expansion (Alpha)	70.7 µm/m°C @ 40°C		
	108.0 µm/m°C @ 100°C		
Shore D Hardness, @77°F/25°C	80		

Handling Precautions

Do not handle or use until the Material Safety Data Sheet has been read and understood.
For industrial use only.

General:

As with most epoxy based systems, use this product with adequate ventilation. Do not get in eyes or on skin. Avoid breathing the vapors. Wash thoroughly with soap and water after handling. Empty containers retain product residue and vapors, so obey all precautions when handling empty containers.

Hysol EA 9396
Henkel Corporation
Aerospace Group
Page 4 of 4

PART A

CAUTION! This material may cause eye and skin irritation or allergic dermatitis. It contains epoxy resins.

PART B

WARNING! This material causes eye and skin irritation or allergic dermatitis. It contains amines.

Hysol® is a registered trademark of Henkel Corporation.

Rev. 6/02

APÊNDICE C: EPOCAST 50-A1

Huntsman Advanced Materials Americas Inc.
5121 San Fernando Road West
Los Angeles, CA 90039
818.247.6210

Customer Service Hotline: 800.367.8793
Customer Service FaxLine: 517.351.6255
Technical Inquiries: 800.617.6260



website: www.araldite.com
e-mail: adhesives_group@huntsmann.com

Product Data

EPOCAST® 50-A1 Resin Hardener 9816 EPOXY LAMINATING SYSTEM

- High Strength
- Self Extinguishing
- Short Work Life

DESCRIPTION

Epocast 50-A1 resin/Hardener 9816 epoxy laminating system is an unfilled, solvent-free, easy-to-handle material for the manufacture or repair of composite structures as well as for filament winding. Epocast 50-A1 resin/Hardener 9816 epoxy laminating system is self extinguishing and is qualified to BMS 8-201. This product is also available in a shorter work life version - Epocast 50-A1 resin/Hardener 946 epoxy laminating system.

TYPICAL PROPERTIES AS RECEIVED

Property	50-A1 Resin	9816 Hardener	50-A1/9816 System	Test Method
Color	Amber	Straw	Amber	Visual
Density, g/cc.	1.21	1.05	1.18	ASTM-D-792
Viscosity, at 77°F (25°C), cP	7,770	250	2,400	ASTM-D-2196
Gel time, at 77°F (25°C), 100 gms, minutes	—	—	65	ASTM-D-2471
Shelf life, at 77°F (25°C), unopened, months	12	12	—	—

MIX RATIO

To 100 parts by weight of Epocast 50-A1 resin, add 14 parts by weight of Hardener 9816. Mix both components thoroughly for several minutes to insure a complete and uniform mixture. Mix only that quantity which can be applied within several minutes after mixing to avoid excessive exotherm.

CURE SCHEDULE: Five days at 77°F (25°C) or two hours at 170-200°F (77-93°C) after room temperature gel. Handling and machining may be done after 16-24 hours at room temperature.

TYPICAL CURED PROPERTIES (Not for specification purposes)

Test	Results			Test Method
	Cure 7 days at 77°F*	Cure 27 days at 77°F*	Cure 1 day at 77°F + 2 hr. at 170°F*	
12-ply laminate using #1581 or 7781 glass				
Compressive strength, Ksi (MPa) at 77°F (25°C)	45.86 (316)	49.00 (338)	46.24 (319)	ASTM-D-790
Compressive modulus, Msi (MPa)	3.52 (24.3)	3.13 (21.6)	4.16 (28.7)	ASTM-D-790
Flammability, 60 second vertical test				
self extinguishing time, sec.	0		0	
drip extinguishing time, sec.	0		0	
burn length, in. (cm)	<6 (<15)		<6 (<15)	FAR 25.853A

* 77°F=25°C; 170°F=77°C

APENDICE D: FIBRA DE CARBONO



HexTow® AS2C carbon fiber is a continuous, high strength, high strain, PAN based fiber available in 3,000 (3k) filament count tows. This fiber has been surface treated and can be sized to improve its interlaminar shear properties, handling characteristics, and structural properties, and is suggested for use in weaving.

Typical Fiber Properties	U.S. Units	SI Units
Tensile Strength	644 ksi	4,440 MPa
Tensile Modulus (Chord 6000-1000)	32 Msi	221 GPa
Ultimate Elongation at Failure	1.9%	1.9%
Density	0.0650 lb/in ³	1.80 g/cm ³
Weight/length 3k	11.2 x 10 ⁻⁶ lb/in	0.200 g/m
Approximate yield 3k	7,442 ft/lb	5.00 m/g
Tow cross-sectional area 3k	1.72 x 10 ⁻⁴ in ²	0.11 mm ²
Filament Diameter	0.270 mil	6.9 microns
Carbon Content	94.0%	94.0%
Twist	Never Twisted	Never Twisted

Carbon Fiber Certification

This carbon fiber is manufactured to Hexcel industrial grade specification HS-CP-3000. A copy of this specification is available upon request. A Certificate of Conformance will be provided with each shipment.

Available Sizing

Sizing compatible with various resin systems, based on application are available to improve handling characteristics and structural properties. Please see additional information on available sizes on our website or contact our technical team for additional information.

Packaging

Standard packaging of HexTow® AS2C is as follows:

Filament Count	Nominal Weight		Nominal Length	
	(lb)	(kg)	(ft)	(m)
3k	4.0	1.8	29,770	9,070

Other package sizes may be available on request. The fiber is wound on a 3-inch ID by 11-inch long cardboard tube and overwrapped with plastic film.

Safety Information

Obtain, read, and understand the Material Safety Data Sheet (MSDS) before use of this product.

®HexTow, Hexcel and the Hexcel logos are registered trademarks of Hexcel Corporation, Stamford, Connecticut.

