

UNESP
Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá

Guaratinguetá

2014

KARINA AYUMI FUCUHARA

Aplicação De Adesivos Estruturais Em Painéis De Carros

Guaratinguetá

2014

Karina Ayumi Fucuhara

APLICAÇÃO DE ADESIVOS ESTRUTURAIS EM PAINÉIS DE CARRO

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

Orientador: Prof. Dr. Edson Cocchieri Botelho

Guaratinguetá
2014

F951a	Fucuhara, Karina Ayumi Aplicação de adesivos estruturais em painéis de carros / Karina Ayumi Fucuhara – Guaratinguetá : [s.n], 2014. 102 f. : il. Bibliografia: f. 87-91 Trabalho de Graduação em Engenharia de Materiais – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2014. Orientador: Prof. Dr. Edson Cocchieri Botelho 1. Acessórios para automóveis – indústria 2. Adesivos I. Título CDU 629.113
-------	--

Karina Ayumi Fucuhara

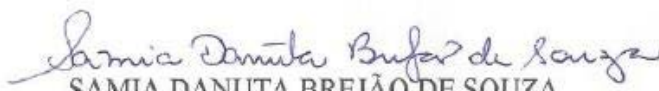
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
“GRADUADO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS”

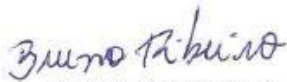
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS


Prof. Dr. MIGUEL ANGEL RAMÍREZ GIL
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. EDSON COCCHIERI BOTELHO
Orientador/UNESP-FEG


SAMIA DANUTA BREJÃO DE SOUZA
UNESP-FEG


BRUNO RIBEIRO
UNESP-FEG

Janeiro de 2015

Dedico especialmente este trabalho aos meus pais, que durante toda minha vida me apoiam, me encorajam e me aconselham muito. Aos familiares que sempre acreditam em meu potencial e me incentivam. E a todos os mestres com quem eu tive a honra de aprender.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer, em primeiro lugar, a Deus, pela força e coragem durante toda esta longa caminhada. Agradeço pela minha vida, meu esforço, minha dedicação e minha perseverança.

Aos meus pais pelo apoio e por todos os conselhos e valores que carrego comigo pela vida. Se não fossem suas orientações eu jamais teria chegado tão longe. Ao meu irmão *André*, uma das pessoas mais inteligentes que conheço, pelas alegrias, pelas discussões nerds e pelos doces que eu jamais recusarei.

Ao meu namorado *Guilherme* por todo amor, companheirismo e por sempre acreditar em mim. Esse trabalho jamais teria sido realizado se não fosse o seu incentivo e apoio. Você faz parte dessa conquista Gui!

Aos meus avós, *Jorge e Akiko Matuda*, pelo apoio constante e pela paciência para me ensinar Matemática, Física e Química. Acredito que eles foram a principal razão por estar me graduando em Engenharia.

Aos tios, primos, avós e familiares que sempre me deram suporte para alcançar meus objetivos.

Às minhas amigas Amanda, Má, May, Caps e Gabi por todo companheirismo na nossa casa e pelos momentos compartilhados durante a faculdade, uma amizade que vou levar por toda a vida.

Aos amigos próximos que diretamente ou indiretamente fizeram parte da minha formação, pela amizade verdadeira e pelo apoio constante.

Ao meu orientador, *Prof. Dr. Edson Cocchieri Botelho* pela paciência na orientação e incentivo que tornaram possível a conclusão desta monografia.

À FEG pela ótima base acadêmica. A todos os professores que cruzaram o meu caminho pelos diversos ensinamentos e lições.

À CAPES e a FEG que tornaram possível o meu intercâmbio na França e pelo apoio financeiro.

À Visteon Corporation, em particular meu tutor na França, o engenheiro *Marc Saelen*, por acreditar em mim e por me dar a oportunidade de realizar este projeto. E também a todos os colegas da Visteon Corporation pela hospitalidade, pela paciência para compreender o meu francês e a disposição em me ajudar.

“O insucesso é apenas uma grande oportunidade para
recomeçar de novo com mais inteligência.”

Henry Ford

FUCUHARA, K. A. **Aplicação de adesivo estruturais em painéis de carro**. 2014. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia de Materiais) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2014.

RESUMO

A indústria automobilística está cada vez mais interessada em reduzir o peso dos veículos para obter maior velocidade, menor consumo de combustíveis e emissão de poluentes, por meio da inovação de materiais e processos. Uma maneira para fazer isso é buscar a substituição dos processos convencionais pelo uso de adesivos estruturais.

Os adesivos estruturais são materiais de altíssima resistência que podem substituir rebites, parafusos e soldas permitindo que o conjunto substrato/adesivo seja mais resistente que o próprio substrato. Uma das maiores vantagens da colagem em relação à soldagem é sua aparência estética, uma vez que não deixa marcas. Por este motivo, as peças que serão soldadas precisam de uma espessura mínima para que as marcas não apareçam, já as peças provenientes da colagem não têm restrição quanto à espessura.

Ao substituir o processo de soldagem por vibração pelo processo de colagem das peças do painel de um automóvel, obtém-se a redução da espessura das peças e conseqüentemente, diminui-se o peso do automóvel. Este trabalho tem como objetivo estudar os diversos adesivos estruturais que já existem no mercado para serem aplicados no painel do carro.

O ensaio mecânico realizado para medir a resistência máxima dos adesivos foi o Lap Shear Test a temperatura ambiente, -35°C e 85°C. Os tipos de adesivos utilizados foram as *hot-melts* e as bi-componentes. Por meio dos resultados obtidos, mostra-se favorável utilizar a bi-componente para aplicação na união de peças do painel.

PALAVRAS-CHAVE: Adesivos estruturais, *hot-melt*, bi-componente, Lap Shear.

FUCUHARA, K. A. **Structural adhesive application in car instrument panel**. 2014. Graduate Work (Graduate in Materials Engineering) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2014.

ABSTRACT

The automobile industry is increasingly interested in reducing vehicle weight for greater speed, lower fuel consumption and emissions, through innovation of materials and processes. One way to do this is to seek the replacement of conventional processes by the use of structural adhesives.

Structural adhesives are highly resistant materials, which can replace rivets, bolts and welds allowing the substrate / adhesive assemble is stronger than the substrate itself. One of the major advantages of gluing with respect to welding is its esthetic appearance, since it does not leave marks. For this reason, parts to be soldered require a minimum thickness so that the marks do not appear, since the pieces from gluing have no restriction as to the thickness.

By replacing the vibration welding process for gluing process of the instrument panel parts of an automobile, one obtains a reduction of the thickness of the parts and therefore it decreases the weight of the car. This work aims to study the various structural adhesives that already exist on the market to be applied on the instrument panel.

The mechanical test performed to measure the maximum adhesive strength was the Lap Shear Test at 23°C (room temperature), -35°C and 85°C. The types of adhesives used were the hot-melt and the bi-component. By the results obtained, it is in favor using the bi-component for application to the union of instrument panel parts.

KEYWORDS: Structural adhesives, hot-melt, bi-component, Lap Shear.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma de execução deste trabalho	19
Figura 2 - Nomenclatura da junta adesivada	20
Figura 3 - Diferentes taticidades do polipropileno devido ao posicionamento do grupamento metílico na cadeia principal	24
Figura 4 - Molhabilidade relacionada ao ângulo de contato	25
Figura 5 - Influência da rugosidade	26
Figura 6 - Molhabilidade nas cavidades: (a) garantida; (b) não garantida	26
Figura 7- Esquema de um dispositivo utilizado no tratamento por flambagem de plásticos ...	28
Figura 8 - Carro de fórmula 1 onde são utilizados adesivos de poliuretano na ligação de diferentes componentes	29
Figura 9 - Principais aplicações dos adesivos em viaturas	30
Figura 10 - Diferentes locais de aplicação dos adesivos nos automóveis: a) “Direct Glazing”; b) Exterior dos automóveis; c) Interior dos automóveis; d) União estrutural e vedação; e) Reforço estrutural; f) “Sound Damping”	31
Figura 11- Comparação dos esforços suportados pelas peças reunidas por: a) rebiteagem, b) soldagem c) colagem em escada	32
Figura 12 - Diagrama dos esforços submetidos em um determinado componente: a) Esforço em tração-cisalhamento; b) Esforço em tração e compressão; c) Esforço em flexão (tração-compressão); d) Esforço em torsão e cisalhamento; e) Esforço em compressão e cisalhamento	34
Figura 13- Esforços mecânicos desfavoráveis	35
Figura 14 - Teste Lap Shear	35
Figura 15 - Tensões mais importantes em uma junta adesiva: a) tração; b) cisalhamento; c) clivagem; d) arrancamento	36
Figura 16 - Os três tipos de ruptura da cola: a) Ruptura adesiva; b) Ruptura coesiva; c) Ruptura mista	39
Figura 17 - Diagrama de soldagem por vibração	40
Figura 18 - Vista explodida de um painel de instrumentos	41
Figura 19 - Corpo do painel de instrumento	42
Figura 20 - Canal de ar	42
Figura 21 - Reforço do airbag	43
Figura 22 - Peças soldadas no painel	43
Figura 23 - Fenômenos de adesão e coesão em uma zona de colagem	45
Figura 24 - Pistola aplicadora manual e cartuchos hot-melt	52
Figura 25 - Pistola aplicadora manual, bico misturador e cartucho bi-componente	53
Figura 26 - Queimador com o tanque de combustível	55
Figura 27 - Configuração: a) A+B; b) B+A	57
Figura 28 - Influência da exposição a chama na tensão superficial	62
Figura 29 - Corpos de prova após ensaio de tração (Sem, Pouco, Normal, Excessivo)	63
Figura 30 - Após ensaio de Lap Shear Sika 9185 (PP)	68
Figura 31 - Corpos de prova após ensaio de tração L922-0 (MMA)	70
Figura 32 - Amostras após ensaio de Lap Shear a 23°C	73
Figura 33 - Amostras após ensaio de Lap Shear das colas bi-componentes a 23°C	74
Figura 34 - Corpos de prova da soldagem por vibração ensaiados por Lap Shear a 23°C	75
Figura 35 - Amostras após ensaio de Lap Shear das colas hot-melt a -35°C	76
Figura 36 - Corpos de prova após ensaio de Lap Shear das colas bi-componentes a -35°C	77
Figura 37 - Corpos de prova da soldagem por vibração ensaiados por Lap Shear a 85°C	80
Figura 38 - Corpos de prova da hot-melt após ensaio de Shear a 85°C	80

Figura 39 - Após ensaio de Lap Shear das colas bi-componentes a 85°C	81
Figura 40 - Amostra após ensaio Lap Shear a 85°C com o adesivo Sika 9676 (PU)	83
Figura 41 - Corpos de prova após ensaio de Lap Shear a 85°C com o adesivo Sika 9185 (PP)	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação entre os vários adesivos estruturais quanto à sua resistência e tensões	37
Tabela 2 - Classificação dos mecanismos de adesão.....	47
Tabela 3 - Colas hot-melt utilizadas e seus principais parâmetros.....	53
Tabela 4 - Colas bi-componentes utilizadas e seus principais parâmetros.....	54
Tabela 5 - Tempo de cura	58
Tabela 6 - Energia superficial dos substratos tratados (sem, pouco, normal e excessivo).....	62
Tabela 7 – Resultados dos ensaios de Lap Shear de acordo com a intensidade da flambagem.....	63
Tabela 8 - Comparação entre a tensão superficial do substrato e a tensão máxima do adesivo	65
Tabela 9 - Resultados dos ensaios mecânico de Lap Shear do teste A+B/B+A.....	66
Tabela 10 - Valores da tensão máxima da Sika 9676 em ordem crescente.....	66
Tabela 11 - Valores da tensão máxima da Sika 9676 em ordem crescente independentemente da população	66
Tabela 12 - Resultados dos ensaios Lap Shear da Sika 9185.....	68
Tabela 13 - Resultados do ensaio de tração da L922-0 (MMA) a temperatura ambiente.....	69
Tabela 14 - Tempo de manuseio (handling time).....	71
Tabela 15 - Resultados do ensaio de Lap Shear a 23°C (hot-melt).....	72
Tabela 16 - Resultados do ensaio de Lap Shear a 23°C (bi-componente e soldagem por vibração)	72
Tabela 17 - Resultados do ensaio de Lap Shear a -35°C	76
Tabela 18 - Resultados do teste Lap Shear a 85°C (hot-melt).....	78
Tabela 19 - Resultados do teste Lap Shear a 85°C (bi-componente e soldagem por vibração)	79
Tabela 20 - Resultados do ensaio Lap Shear com as colas hot-melt a 85°C com maior tempo de cura.....	82

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Vantagens e desvantagens da colagem.....	44
Quadro 2 - Vantagens e desvantagens da soldagem.....	45
Quadro 3 - Adesivos utilizados para a realização dos ensaios em cada temperatura.....	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
c.d.p	Corpo de prova
CT	Com tratamento superficial
MMA	Metil metacrilato
PP	Polipropileno
PU	Poliuretano
ST	Sem tratamento superficial

LISTA DE SÍMBOLOS

θ	Ângulo de contato relacionado a molhabilidade
W_a	Trabalho de adesão
γ_1	Tensão superficial do material 1
γ_2	Tensão superficial do material 2
γ_{12}	Componente interfacial entre dois materiais
Tap	Temperatura de aplicação do adesivo
te	Tempo de espera entre adicionar a cola no substrato e colocar o outro substrato sobre a cola
tp	Tempo de pressão
tcura	Tempo para ser realizada a cura do sistema adesivo
Teste U	Teste de Mann-Whitney
α	Nível de significância
N	Quantidade de corpos de prova
σ	Desvio padrão

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 APRESENTAÇÃO	16
1.2 OBJETIVO	18
1.3 METODOLOGIA UTILIZADA	18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1 DEFINIÇÕES	20
2.2 ADESIVOS ESTRUTURAIS	21
2.2.1 Adesivos à base de Poliuretano (PU)	22
2.2.2 Adesivos à base de Metil metacrilato (MMA)	23
2.2.3 Adesivos à base de Polipropileno (PP)	23
2.3. SUPERFÍCIE DO SUBSTRATO	25
2.3.1 Molhabilidade	25
2.3.2 Rugosidade	26
2.3.3 Tratamento por chama (flambagem)	27
2.4 COLAGEM	28
2.4.1 Aplicações automobilísticas	28
2.4.2 Vantagens e desvantagens	32
2.4.3 Cálculo e otimização dos conjuntos colados	33
2.4.4. Esforços mecânicos	34
2.4.5 Tipos de ruptura	37
2.5 SOLDAGEM POR VIBRAÇÃO	39
2.5.1 Aplicações no painel de instrumento	41
2.5.2 Comparações entre os processos de colagem e a soldagem	43
2.6 PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS ADESIVOS	45
2.6.1 Adesão	46
2.6.1.1 Teoria da adsorção	48
2.6.1.2 Teoria mecânica	49
2.6.1.3 Teoria da difusão	49
3. MATERIAIS E MÉTODOS	51
3.1 PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVAS	51
3.1.1 Substrato	51
3.1.2. Processo <i>Hot-melt</i>	51
3.1.3. Sistema bi-componente	53
3.1.4. Processo de Soldagem	54
3.2 TRATAMENTO SUPERFICIAL	55

3.2.1 Tratamento por chama (flambagem)	55
3.2.2 Estudo da tensão superficial	55
3.3 ENSAIOS DE LAP SHEAR	56
3.3.1 Teste A+B/B+A	56
3.3.2 Teste CT/ST	57
3.3.3 Influência do tempo de cura	58
3.3.4 Análise do tempo de endurecimento	58
3.3.5 Testes de Lap Shear a 23°C, -35°C e 85°C	59
3.4 TESTE ESTATÍSTICO MANN-WHITNEY (U)	60
4. RESULTADOS	62
4.1. ESTUDO DA TENSÃO SUPERFICIAL	62
4.2. TESTE A+B/B+A	65
4.3 TESTE CT/ST	67
4.3.1 Hot-melt	67
4.3.2 Bi-componente	69
4.4 ANÁLISE DO TEMPO DE ENDURECIMENTO	70
4.5 ENSAIO DE LAP SHEAR A 23°C (TEMPERATURA AMBIENTE)	71
4.6. ENSAIO DE LAP SHEAR A -35°C	75
4.7. ENSAIO DE LAP SHEAR A 85°C	78
4.8. INFLUÊNCIA DO TEMPO DE CURA	82
5. CONCLUSÕES	85
REFERÊNCIAS	87
ANEXO A – Teste de Mann Whitney (U)	92
ANEXO B – Ficha técnica Sika 9676	93
ANEXO C – Ficha técnica Sika 9185	95
ANEXO D – Ficha técnica Swift Lock	97
ANEXO E – Ficha técnica Swift Therm	99
ANEXO F – Ficha técnica Pur-Fect 310	101

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

O processo de colagem é considerado como sendo uma das primeiras técnicas a ser utilizada com o propósito de unir peças de diferentes naturezas. Evidências arqueológicas indicam que os adesivos têm sido utilizados por mais de seis mil anos e que muitos objetos atualmente disponíveis em museus ainda encontram-se colados com adesivos (em alguns casos com datas de mais de três mil anos) (COSTA, 2012).

A arte de formular, que foi desenvolvida por volta de 1950, consistia basicamente em utilizar certos polímeros naturais como meio de colar um determinado material em outro. Foi utilizado cola de origem animal, material asfáltico, resina de árvores entre outros materiais, tudo isso muito antes da introdução das técnicas modernas, baseadas no emprego de amido vegetal ou polímeros sintéticos (COSTA, 2012).

O adesivo é um produto obtido por meio de uma mistura de substâncias capaz de unir materiais através de um processo de cura mediante ligações químicas na superfície, apresentando uma consistência adequada para sua aplicação seja manual, seja automatizada (COSTA, 2012).

Os adesivos apresentam adesão, um fenômeno complexo em que os materiais são unidos por meio de uma colagem que está relacionada com as tensões entre o adesivo e o material (substrato) e as interações na superfície (COSTA, 2012).

Nos últimos anos, foram desenvolvidos adesivos estruturais que apresentam propriedades idênticas (senão melhores) aos materiais, transformando a antiga arte numa técnica aprimorada de aplicação (COSTA, 2012).

O conceito de adesivo estrutural surgiu na indústria de construção mecânica devido a necessidade de se assegurar a transmissão de esforços de uma peça para a outra, esforços estes da ordem de grandeza dos envolvidos nas ligações soldadas, rebitadas ou parafusadas. Nestas ligações o adesivo pode e deve apresentar uma resistência equivalente aos materiais constituintes da estrutura a ser colada, tornando-o como parte integrante da estrutura, originando o aparecimento da designação de adesivos estruturais para os quais são capazes de suportarem a transmissão de esforços de grandeza considerável (ESTEVES, 1990).

Atualmente existem várias técnicas para se efetuar uma ligação permanente entre diferentes componentes. Dentre estas, a colagem estrutural de componentes é a técnica que tem apresentado maior evolução nos últimos anos (BATALHA et al. 2010).

A realização de juntas de ligação simples é um processo simples e econômico. Tal fato, proporciona um aumento significativo de aplicações de tecnologia de ligação, contribuindo para que as diversas aplicações tenham propriedades mais interessantes que as outras técnicas de ligação (BATALHA et al. 2010).

Os adesivos estruturais estão cada vez mais presentes no nosso cotidiano, sendo estes uma opção sólida, segura e leve para unir diferentes materiais em uma estrutura de forma coerente e versátil. Na indústria aeronáutica, assim como na automobilística, principalmente em estruturas onde deve ser levada em conta a segurança dos passageiros, é de grande importância a segurança, bem como a redução da massa da estrutura e facilidade de aplicação de ligações entre partes integrantes da mesma (BATALHA et al. 2010).

A escolha de novos materiais e técnicas associados a aplicação automobilística deve ser realizada com três preocupações principais: maior velocidade de um veículo, menor consumo de combustível e menores emissões de poluentes (BRANDÃO et al. 2010).

Desta forma, vem se observando na indústria automobilística, a utilização de materiais leves como o alumínio ou ligas de alumínio, o magnésio, os plásticos ou plásticos reforçados com fibras (compósitos). Entretanto, a união destes materiais a partir dos métodos convencionais é de difícil execução, sendo mais recomendada a utilização de adesivos estruturais (BRANDÃO et al. 2010).

Nos automóveis o uso de adesivos começou há décadas, com a colagem do pára-brisas, para fins de projeto. Posteriormente, o vidro traseiro torna-se parte estrutural dos carros a partir do uso de adesivos. Mais tarde começam a ser usados no preenchimento de lacunas e depois disso (graças à observação de um efeito colateral do aumento da resistência à corrosão provocada por estes adesivos) começam a ser utilizados para melhorar a torção da rigidez dos carros (BRANDÃO et al. 2010).

Já nos anos 90 adesivos de elevada força e absorção de energia (excelentes em caso de acidente) passam a ser utilizados como elementos estruturais da carroçaria. Um exemplo desta aplicação pode ser verificado em um BMW série 7, onde existem cerca de 10 kg de adesivos estruturais (BRANDÃO et al. 2010).

Em função de diminuir o peso das viaturas no setor automobilístico, visando principalmente a diminuição do peso do painel do carro, este trabalho busca encontrar a possibilidade de substituir a soldagem que atualmente é utilizada para unir as peças do painel do carro pela colagem. Substituindo a soldagem pela colagem, é possível diminuir a espessura do “coiffe” (peça externa) e assim diminuir 27% do peso do painel do carro, pois a soldagem,

diferente da colagem, deixa marcas e assim é preciso aumentar a espessura do coiffe para escondê-las.

Os adesivos estruturais estão sendo cada vez mais aplicados no setor automobilístico para suportar esforços de elevadas grandezas. A maior preocupação do painel é a estrutura em que se encontra o airbag, pois, quando este é acionado, o adesivo deve ser resistente o suficiente para suportar este tipo de esforço.

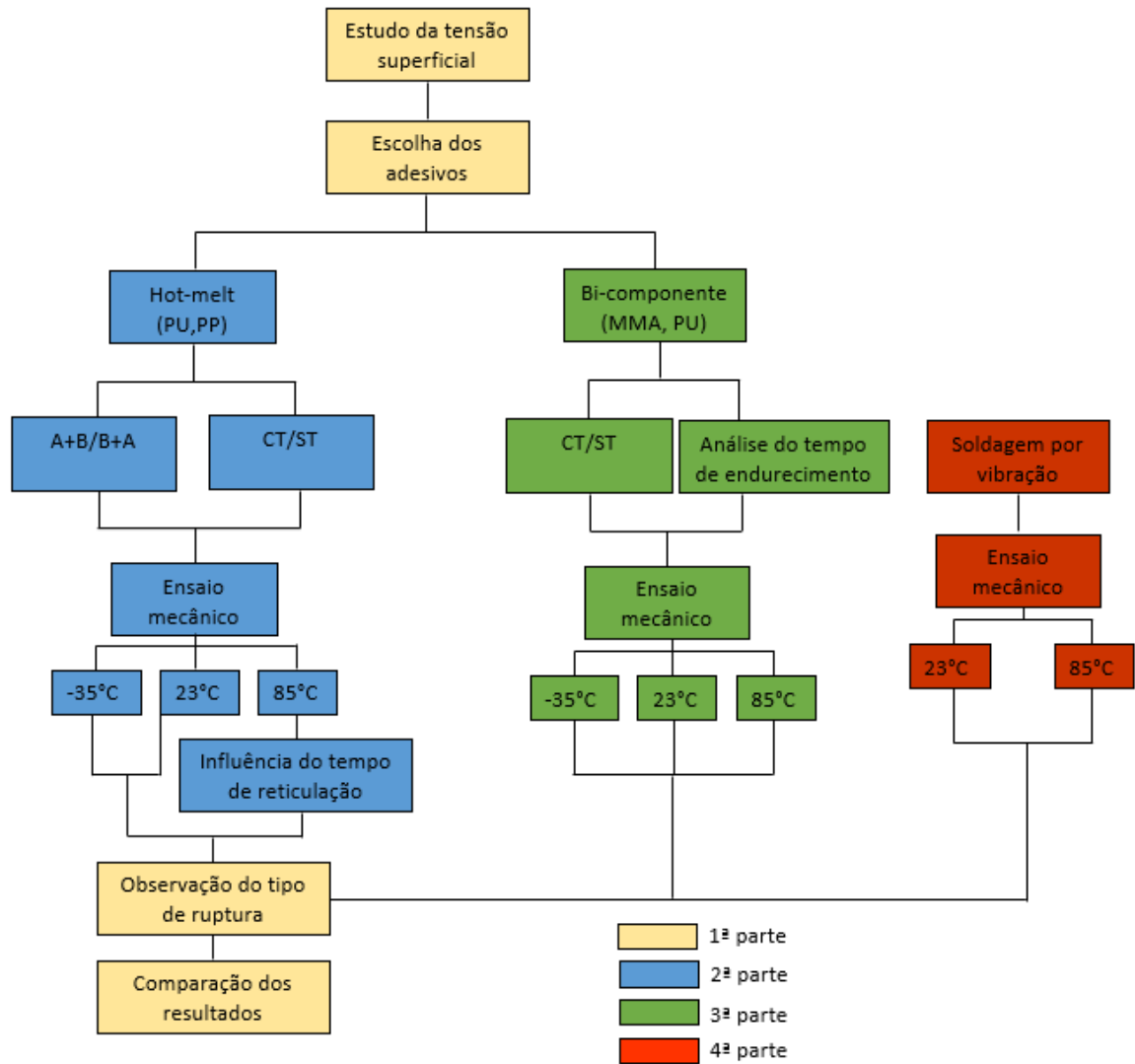
1.2 OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo principal selecionar o adesivo mais apropriado para unir peças de um painel de carro e, desta forma, substituir a soldagem por vibração, método atualmente utilizado para esta finalidade, pela colagem, visando uma diminuição do peso em 27% do painel do carro. Para esta finalidade foram realizados vários testes (A+B/B+A, CT/ST) para avaliar qual deve ser o melhor processamento para ser aplicado ao realizar a colagem, assim como o estudo da tensão superficial, da flambagem (tratamento superficial aplicado neste trabalho), bem como o uso de um método estatístico (Mann-Whitney) para comparar os resultados obtidos a partir do ensaio mecânico de tração. Este ensaio mecânico foi feito em diferentes temperaturas (-35°C e 85°C), além da temperatura ambiente (23°C), visando simular uma aplicação real.

1.3 METODOLOGIA UTILIZADA

Este trabalho foi realizado de forma sistemática, abordando as etapas apresentadas no fluxograma da Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma de execução deste trabalho



Fonte: (AUTORA, 2014).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 DEFINIÇÕES

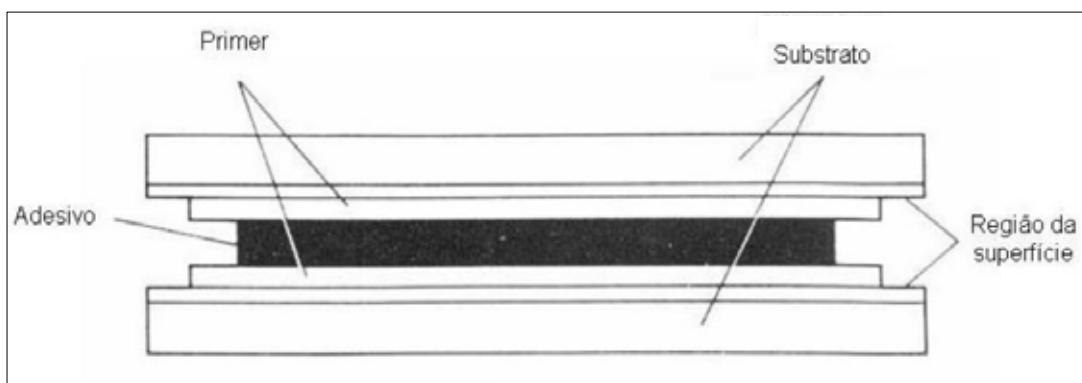
Um material adesivo, conforme definição da ASTM D907-89 (American Society for Testing and Materials) é a substância capaz de reter materiais juntos pela superfície de contato.

Ainda, conforme a norma ABNT NBR 9239 (2011) o termo adesivo é a substância ou matéria capaz de manter materiais unidos, mediante ligações de superfícies.

A ASTM D907-89 apresenta uma classificação dos adesivos, conforme pode ser evidenciado na Figura 2:

- ADESIVO – substância capaz de manter unidos elementos pelo contato das superfícies.
- SUBSTRATO – camada mais superficial do elemento, que, caso seja aplicado o adesivo, possibilita sua junção a outro elemento.
- PRIMER – cobertura previamente aplicada ao substrato do aderente a fim de garantir melhor aderência do adesivo.
- JUNTA ADESIVADA – conjunto de elementos unidos pelo adesivo.
- ADESÃO – fenômeno que possibilita ao adesivo transferir uma carga do substrato para a junta adesivada.

Figura 2 - Nomenclatura da junta adesivada



Fonte: (MENDES, 2005).

2.2 ADESIVOS ESTRUTURAIS

O adesivo estrutural é utilizado para a transferência de carregamento entre superfícies aderentes em ambientes de serviço onde o conjunto é exposto a exigências ou em estruturas de engenharia onde se requer alta confiabilidade devido à responsabilidade da solicitação à qual a junta está exposta. Este tipo de adesivo pode ser submetido a tensões de cisalhamento muito próximas à de tensão de ruptura por longos períodos sem a efetiva falha da junta adesivada (MENDES, 2005).

A maioria dos adesivos estruturais são constituídos de polímeros termorrígidos, sendo utilizados termoplásticos somente para algumas aplicações específicas. Os adesivos estruturais termorrígidos possuem boa resistência ao calor, o que permite aplicações em elevadas temperaturas e boa resistência à fluência e a solventes. São fáceis de serem obtidos na forma de filmes (filmes estruturais), sendo estes muito empregados na indústria aeronáutica devido à facilidade de modelação para a formação de peças internas à cabine e fuselagem das aeronaves (ADAMS e WAKE, 1984).

Os adesivos são geralmente sistemas de um ou dois componentes, possuem ampla faixa de temperatura de cura, desde a temperatura ambiente até temperaturas elevadas, dependendo de sua composição química (180°C a 210°C) (MENDES, 2005).

O conceito de adesivo estrutural surgiu na indústria de construção mecânica, a partir do momento que se começaram a realizar colagens onde havia a necessidade de assegurar a transmissão de esforços de uma peça para a outra. O adesivo estrutural apresenta uma resistência equivalente aos materiais que constituem a estrutura a ser colada, passando a fazer parte integrante da estrutura, em contraste com os produtos de revestimento. Estes adesivos são, portanto, capazes de suportarem a transmissão de esforços de grandeza considerável (geralmente resistem ao cisalhamento superior a esforços de até 7 MPa). Além disso, apresenta boa resistência a perturbações atmosféricas/variação brusca do clima, produtos químicos e à temperatura (BATALHA et al., 2010; COUVRAT, 1992).

Atualmente, existem quatro diferentes tipos de adesivo:

- Adesivos bi-componentes: a mistura de endurecedor-resina é feita no momento da colagem, respeitando as quantidades respectivas de cada componente. Uma reação exotérmica ocorre, devido a reticulação promovida durante o processo de cura (COUVRAT, 1992).

- Adesivos mono-componentes: o adesivo está pronto para ser usado, ou seja, a resina de base e o endurecedor convivem juntos, sem que ocorra a reação entre eles. Este sistema

necessita da aplicação de calor para permitir que a reação ocorra (120 a 200 ° C) (COUVRAT, 1992).

- Adesivos de dois componentes: No momento da utilização, o adesivo é obtido pela mistura, em proporções bem definidas, de dois produtos distintos que inicialmente estão em embalagens separadas (COUVRAT, 1992).

- Colas *hot-melt*: São ceras à temperatura ambiente que atingem seu ponto de fusão a partir de 150-200 °C. A junção efetiva é realizada à medida que se resfria.

Neste projeto escolheram-se colas do tipo *hot-melt* e bi-componentes devido às suas propriedades e facilidade de manuseio (COUVRAT, 1992).

As principais vantagens da colagem estrutural são: excelente aderência sobre a maior parte dos substratos; excelente resistência à tração ou ao cisalhamento (20-30 MPa em geral); boa resistência termomecânica; excelente durabilidade (caracterizada a partir de ensaios de resistência à fadiga); boa inércia química (resistente a óleos, solventes, numerosos agentes químicos); e baixa retração (COUVRAT, 1992).

Por outro, a colagem estrutural possui algumas desvantagens pois os adesivos são produtos nocivos e tóxicos à saúde (riscos de alergias para algumas pessoas), e o preço pode ser elevado em certos casos (formulações especiais) (COUVRAT, 1992).

2.2.1 Adesivos à base de Poliuretano (PU)

A classe de adesivos à base de poliuretano é muito ampla, alguns dos quais podem ser classificados como adesivos estruturais. Estes são os polímeros reativos sem solventes ou sólidos muito elevados, resultantes da reação de condensação entre monômeros de isocianato e hidroxila ou polipol (COUVRAT, 1992).

Estes se apresentam sob a forma de bi-componentes, entretanto, a evolução tende a favorecer o desenvolvimento dos adesivos monocomponentes de poliuretano em razão de sua facilidade na aplicação (COUVRAT, 1992).

Características principais:

- Elasticidade e flexibilidade mesmo a baixas temperaturas (-40°C).
- Boa resistência ao envelhecimento (conservação das características superiores a 5-10 anos em funcionamento).
- Elevada resistência aos ácidos e bases diluídas.
- Boa adesão à umidade.

- Boa adesão à temperatura média de 80-90°C.

Adesivos de PU reativos (PUR) são aplicados normalmente como *hot-melt*, mas na forma de uma camada adesiva com elevada resistência ao calor, à umidade e o impacto (CERESANA RESEARCH, 2011).

Os adesivos PUR são flexíveis em um grande intervalo de temperatura (-40 a 80°C). Uma vantagem é que estes podem ser aplicados em baixas temperaturas de -50 à 100°C. Adesivos PUR permitem camadas de adesivos finas (CERESANA RESEARCH, 2011).

Adesivos PUR são normalmente aplicados na indústria automobilística e como podem ser aderidos em substratos oleosos, estes também podem ser usados na construção dos corpos de carro (CERESANA RESEARCH, 2011).

2.2.2 Adesivos à base de Metil metacrilato (MMA)

De acordo com a literatura, a grande maioria dos adesivos metacrilatos são constituídos de dois componentes (bi-componentes) reativos à base de metil metacrilato (MMA) (CERESANA RESEARCH, 2011).

As principais vantagens atribuídas aos metacrilatos são: elevada resistência a fadiga, reduzido tempo de cura; boa adesão em muitas superfícies plásticas, e a não necessidade de tratamento antes da colagem (CERESANA RESEARCH, 2011).

Em temperatura ambiente, o tempo de cura é atingido depois de 12 a 24 horas. Adesivos à base de MMA podem ser utilizados sem perda de suas propriedades a temperaturas entre -50°C e 100°C e temporariamente até 180°C (CERESANA RESEARCH, 2011).

Adesivos metacrilatos são utilizados em juntas metálicas, de vidros e especialmente de em plásticos (componentes com superfícies planas). Seus principais campos de aplicação são na indústria automobilística e na construção de vagões (CERESANA RESEARCH, 2011).

2.2.3 Adesivos à base de Polipropileno (PP)

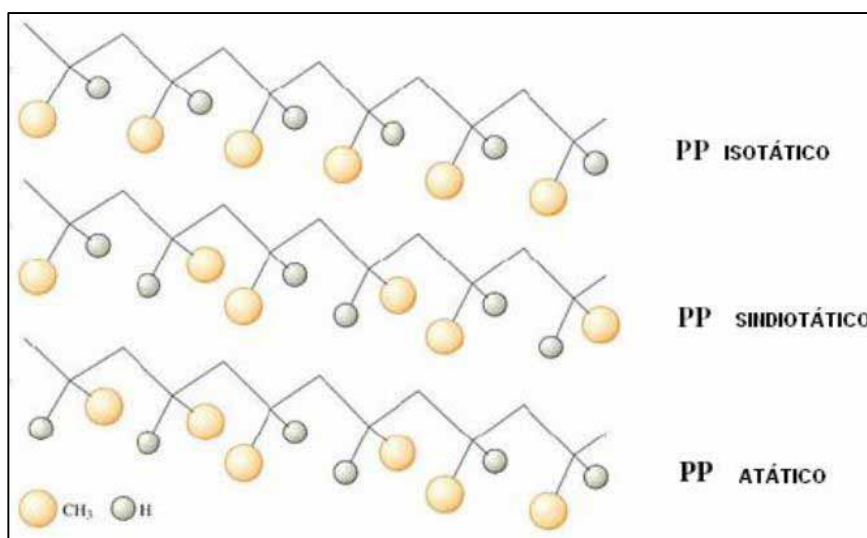
Uma das principais características associadas ao polipropileno (PP) consiste em sua versatilidade, o que torna possível utilizá-lo em diversas aplicações (embalagens, fibras, autopeças, eletrodomésticos), além da facilidade em se adicionar cargas minerais que modificam suas propriedades, permitindo que este seja também utilizado em produtos

tradicionalmente fabricados com plásticos de engenharia, como por exemplo em para-choques ou painéis de automóveis (CARVALHO e TOLEDO, 2002).

O polipropileno é um polímero cujo monômero de origem é o propeno (C_3H_6). O polipropileno homopolímero é semicristalino e o fator crucial para determinar o grau de cristalização deste material é a taticidade (distribuição do posicionamento destes grupos (CARVALHO e TOLEDO, 2002) (Figura 2.2), podendo esta ser definida como:

- Isotático: distribuição regular do grupamento metílico ao longo das cadeias poliméricas. Com esta disposição, o material tende a apresentar níveis maiores de cristalinidade.
- Atático: distribuição aleatória do grupamento metílico. Materiais com esta distribuição tendem a apresentar menor tendência à cristalização.
- Sindiotático: Neste caso, a distribuição do grupamento metílico lateral é alternada na cadeia polimérica.

Figura 3 - Diferentes taticidades do polipropileno devido ao posicionamento do grupamento metílico na cadeia principal



Fonte: (CARVALHO e TOLEDO, 2002).

Segundo Suski (2004) quanto maior a cristalinidade, menor será o coeficiente de adesão, portanto, para que ocorra uma melhor adesão entre o substrato e o adesivo, o PP mais apropriado será o atático devido à sua baixa cristalização.

2.3. SUPERFÍCIE DO SUBSTRATO

Para a colagem em plásticos, a qualidade da superfície desses materiais tem um papel muito importante. Em materiais como o polipropileno, a energia superficial observada é pouco favorável ao processo de colagem. Entretanto, este processo pode ser favorecido por um tratamento superficial físico ou químico. No caso do polipropileno, pode-se utilizar a chama para deixar a superfície mais reativa (FAUNER e ENDLICH, 1984).

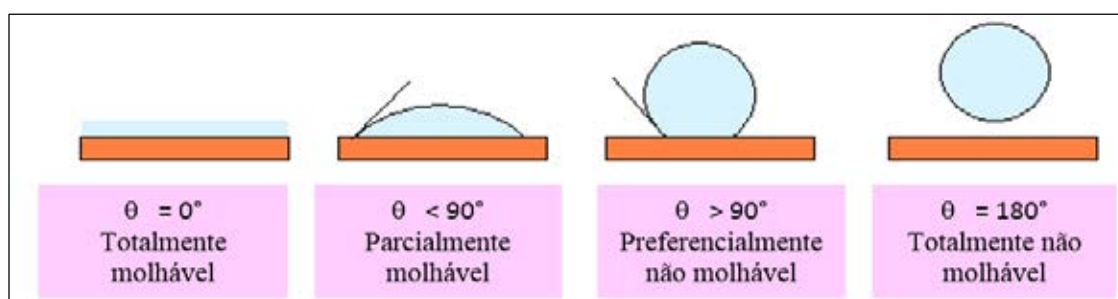
2.3.1 Molhabilidade

A molhabilidade é um conceito muito importante para os adesivos, que traduz a capacidade de um líquido molhar um sólido e estabelece que a tensão crítica de superfície do sólido deve no mínimo ser igual numericamente a tensão superficial do líquido (ZISMAN, 1964).

Essa característica de molhamento é fundamental entre as moléculas do adesivo e do aderente (também chamado de substrato). Quando as forças atrativas entre as moléculas do adesivo e do substrato são intensas, pode-se dizer que houve molhamento. Esse fenômeno estava associado à existência de pequeno ângulo de contato, próximo de 0° . Isso significa um excelente espalhamento do adesivo sobre a superfície do substrato (COSTA, 2012).

A molhabilidade depende da energia da superfície do substrato e da viscosidade do adesivo. A molhabilidade também pode ser reduzida, se substâncias contaminantes estiverem presentes na superfície do material. Uma consideração importante é a relação entre a energia de superfície do adesivo e o material. Ambos constituem uma função direta do ângulo de contato, como demonstrado na Figura 4 (FLEISCHMANN, 1997).

Figura 4 - Molhabilidade relacionada ao ângulo de contato

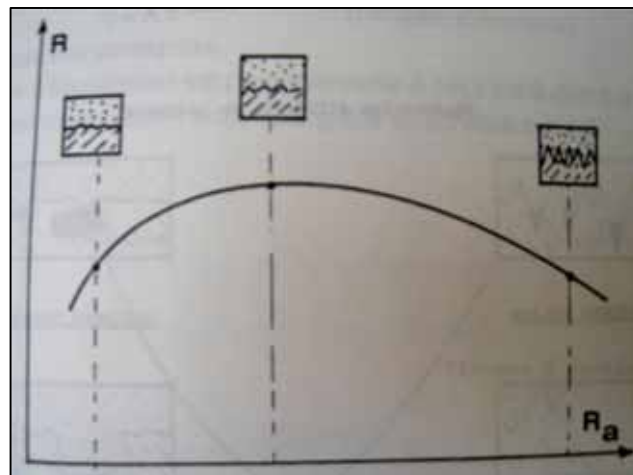


Fonte: (ENSCCF, 2007).

2.3.2 Rugosidade

Toda rugosidade acompanha um aumento da energia superficial. Entretanto, a prática nos mostra que a resistência mecânica da junta não aumenta com as mesmas proporções, como pode ser visto na Figura 5 (COUVRAT, 1992). Há uma “rugosidade ótima” da superfície do substrato para se obter uma melhor resistência. A superfície não pode ser totalmente lisa, mas também não pode ter uma rugosidade muito intensa.

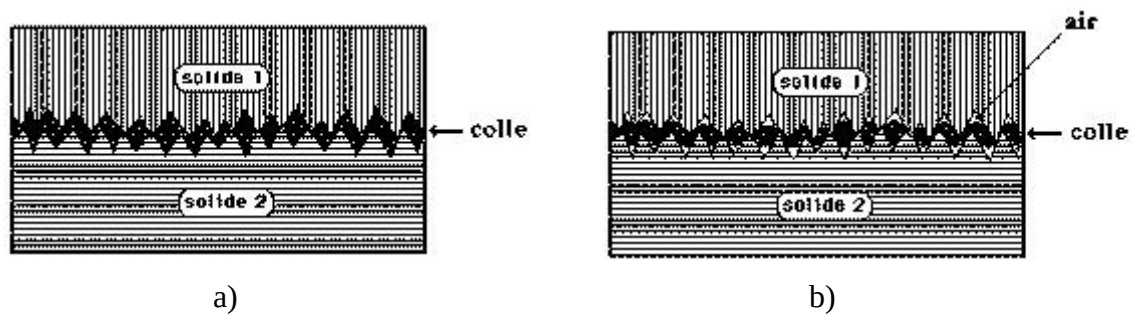
Figura 5 - Influência da rugosidade



Fonte: (COUVRAT, 1992).

Deve-se concluir que o fator de rugosidade é favorável quando a molhabilidade da cavidade é garantida, como pode ser visto na Figura 6a. Quando a molhabilidade das cavidades não é mais garantida, então há riscos de ruptura (Figura 6b) (COUVRAT, 1992).

Figura 6 - Molhabilidade nas cavidades: (a) garantida; (b) não garantida



Fonte: (COUVRAT, 1992).

Pode-se acrescentar que a forma geométrica das cavidades tem uma certa importância. De fato, o aspecto cinético é algo importante a se considerar. A penetração da cola será mais favorecida pelas cavidades que possuem a forma menos exígua (COUVRAT, 1992).

Todos os parâmetros sendo iguais como natureza química, limpeza e uma rugosidade inferior a 2-3 μ m serão favoráveis (se a molhagem das cavidades for realizada). As rugosidades mais elevadas podem se tornar perigosas (COUVRAT, 1992).

Uma rugosidade muito pequena torna-se desfavorável, pois a ancoragem mecânica não interfere mais (COUVRAT, 1992). Frequentemente a ligação entre o adesivo e o substrato com uma rugosidade pequena melhora após o substrato receber um tratamento abrasivo (POCIUS, 1997).

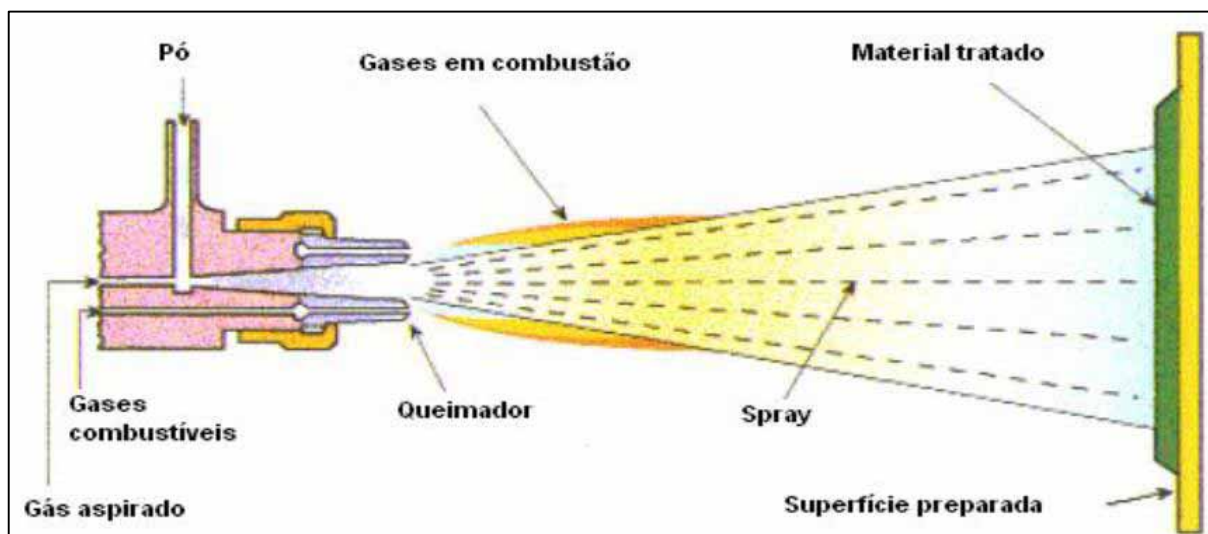
2.3.3 Tratamento por chama (flambagem)

Os tratamentos por chama (flambagem) consistem na queima de um gás combustível próxima a uma superfície polimérica a uma distância controlada. Para estes processos, geralmente são utilizados gases como acetileno ou GLP (gás liquefeito de petróleo) (SILVA, 2010).

Na chama, espécies químicas reativas são criadas, as quais interagem com a superfície dos polímeros, gerando regiões com elevadas tensões superficiais (GARBASSI, 1987). Este tratamento também pode gerar uma forte oxidação da superfície do material. Segundo Couvrat (1992), esta oxidação permite remover as moléculas na superfície que diminuem a molhabilidade e assim, as características químicas do material a ser colado apresenta um aumento das tensões superficiais.

Para este tipo de processo, equipamentos portáteis, (um queimador e um tanque de combustível) como apresentado na Figura 7, são facilmente aplicáveis em qualquer indústria. Os parâmetros mais importantes para este processo são a razão entre ar e gás, a distância entre a chama e o material plástico, a natureza dos gases utilizados e o tempo de tratamento (YASZEMSKI et al., 2004).

Figura 7- Esquema de um dispositivo utilizado no tratamento por flambagem de plásticos



Fonte: (SILVA, 2010).

Colocar a chama diretamente na peça por um tempo longo produz uma deformação ou o amolecimento do plástico, o que pode causar danos irreversíveis (COUVRAT, 1992).

Em relação às quantidades estequiométricas oxigênio/gás, os ajustes são realizados de forma a ter um excedente de cerca de 10% de oxigênio em relação ao gás utilizado (metano, butano, propano), desse modo, a temperatura que pode ser alcançada encontra-se em torno de 1200°C (COUVRAT, 1992).

Os principais parâmetros de exposição são:

- distância superfície-chama: 6 a 10 mm;
- tempo de exposição: 1 a 2 segundos.

2.4 COLAGEM

2.4.1 Aplicações automobilísticas

As principais aplicações automobilísticas onde a adesão é importante são as junções por adesivos as quais vem substituindo métodos clássicos de junções mecânicas tais como parafusos e rebites. Estas técnicas são consideradas competitivas uma vez que há uma distribuição mais eficaz das tensões envolvidas ao longo das interfaces. Além disso, estas junções apresentam melhores requisitos estéticos uma vez que os adesivos são praticamente invisíveis. Aplicações de junções por adesivos podem ser encontradas em muitas indústrias,

particularmente em áreas de alta tecnologia como aeronáutica, automobilística e eletrônica (MITTAL e PIZZI, 2002).

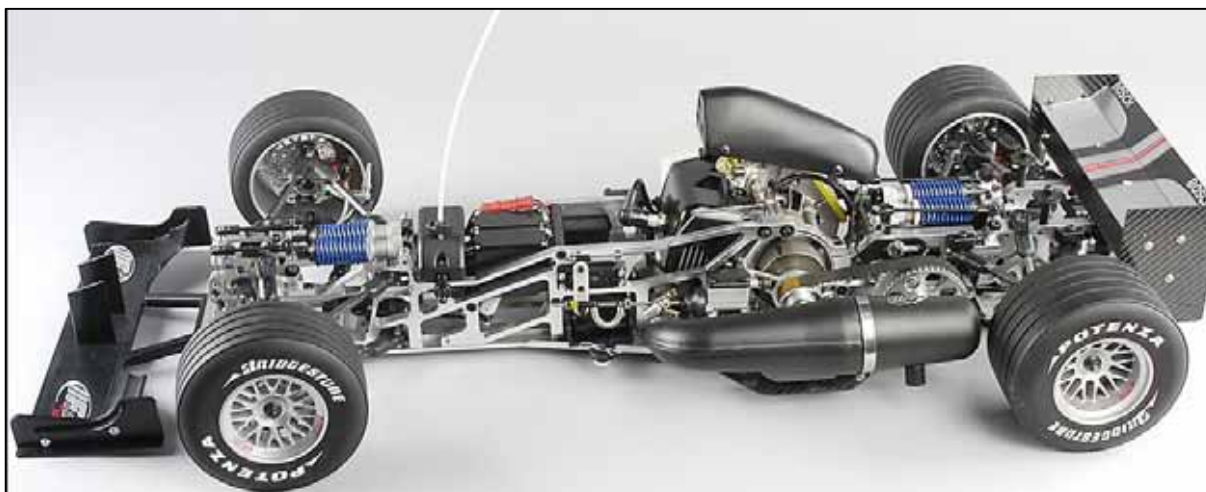
Entretanto, juntas adesivas não são as únicas áreas onde a adesão é importante. Sempre que sólidos estão em contato com revestimentos, tintas, vernizes, materiais unidos por multicamadas, blendas poliméricas, polímeros carregados e materiais compósitos, a adesão é fundamental para garantir o desempenho estrutural. Uma vez que o desempenho destes componentes em serviço dependerá da qualidade da interface entre sólidos, o conhecimento dos mecanismos de adesão é importante (MITTAL e PIZZI, 2002).

Atualmente, pode-se encontrar aplicações de sistemas adesivos em diversas aeronaves para reforço estrutural tais: colagem de vidros em geral; fuselagem e carenagem; e no trem de pouso (BATALHA et al., 2010).

A utilização de colagem na fabricação de automóveis é a técnica de montagem que cresce mais rapidamente na indústria automotiva. Hoje é possível ajustar a composição do adesivo para o tipo de carga e aplicação, com adesivos otimizados para desempenho em condições de fadiga e/ou para proporcionar a melhor absorção de energia durante uma colisão. Desta forma, a futura linha de montagem deve estar capacitada para utilizar não um único tipo de adesivo mas uma ampla gama destes, em diversos tipos de aplicações (LARSSON, 2014).

Os adesivos a base de poliuretano são frequentemente utilizados nos carros de corrida, como por exemplo nos carros de fórmula 1, já que permitem a ligação entre diferentes componentes (como fibras de carbono a metais), permitindo maior leveza e diminuição das dimensões do automóvel, como mostra a Figura 8 (BRANDÃO et al., 2010).

Figura 8 - Carro de fórmula 1 onde são utilizados adesivos de poliuretano na ligação de diferentes componentes



Fonte: (BRANDÃO et al., 2010)

Os adesivos a base de resina epóxi são frequentemente utilizados em caminhões, tanto no interior como no exterior, para reforçar a parte estrutural do veículo (SILVA et al., 2007).

Na família dos adesivos de epóxi híbridos vem sendo utilizados, por exemplo, os epóxidos-polisulfitos que apresentam inúmeras vantagens para a indústria automotiva e que são aplicados, em larga escala, nas portas e nos vidros dos automóveis (BRANDÃO et al., 2010).

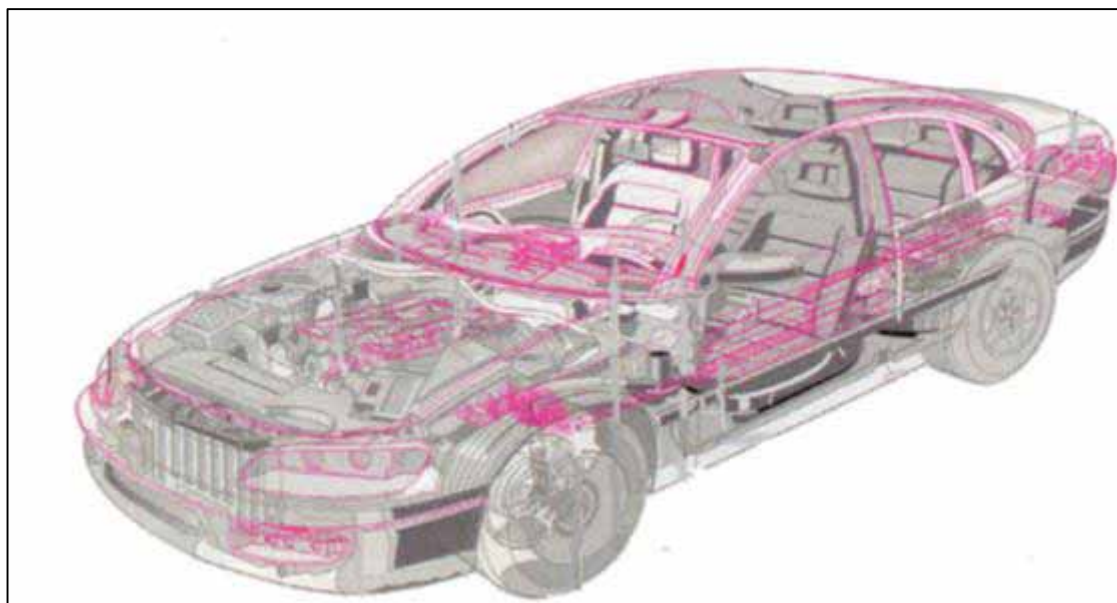
Os adesivos estruturais fenólicos híbridos normalmente são de baixo custo e têm uma grande aplicabilidade na indústria automotiva, sendo principalmente aplicados nos casquilhos das lâmpadas das luzes dos diversos veículos (BRANDÃO et al., 2010).

Já as poliimidas (PI), apesar de terem um custo bastante elevado, são um tipo de adesivo estrutural muito utilizado em carros de fórmula 1 assim como em peças destinadas a parte eletrônica dos automóveis (nas ligações dos fios dos componentes eletrônicos, por exemplo) (BRANDÃO et al., 2010).

Os adesivos estruturais *hot-melt* a base de PU e PP custam em torno de 8 euros/kg e as bi-componentes custam entre 12 a 50 euros/kg dependendo da sua formulação química.

Em geral, nas linhas de montagem de automóveis são utilizadas quantidades consideráveis de adesivos estruturais por veículo como pode ser visto na Figura 9 (SIKA, 2010).

Figura 9 - Principais aplicações dos adesivos em viaturas

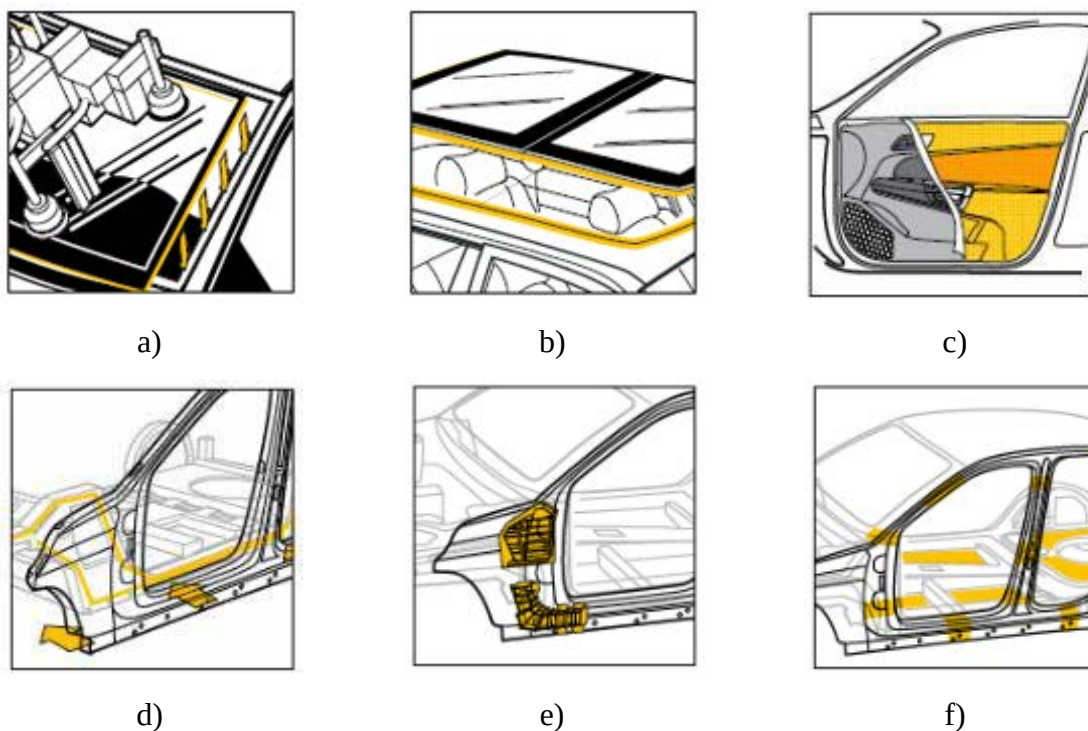


Fonte: (SIKA, 2010)

Basicamente, quando os sistemas adesivos são considerados para aplicações automotivas, podem-se distinguir seis aplicações principais (SIKA, 2010):

- “Direct Glazing” (Vidragem Direta): a aplicação de para-brisas com recurso a adesivos estruturais (Figura 10a);
- Exterior dos Automóveis: aplicação de estruturas externas, tais como placas de teto, entre outras, utilizando adesivos (Figura 10b);
- Interior dos Automóveis: agregação de painéis, tecidos, placas eletrônicas, controles de bordo, entre outros – utilizando adesivos (Figura 10c);
- União estrutural e vedação: montagem da estrutura interna do automóvel usando adesivos estruturais (Figura 10d).
- Reforço estrutural: instalação de estruturas responsáveis por conferir resistência extra ao veículo. Essas estruturas utilizam grandes quantidades de adesivos estruturais (Figura 10e).
- “Sound Damping” (Redução e Amortecimento do Ruído): utilização de adesivos com o intuito de impor uma melhor acústica no automóvel e reduzir o ruído externo (Figura 10f).

Figura 10 - Diferentes locais de aplicação dos adesivos nos automóveis: a) “Direct Glazing”; b) Exterior dos automóveis; c) Interior dos automóveis; d) União estrutural e vedação; e) Reforço estrutural; f) “Sound Damping”



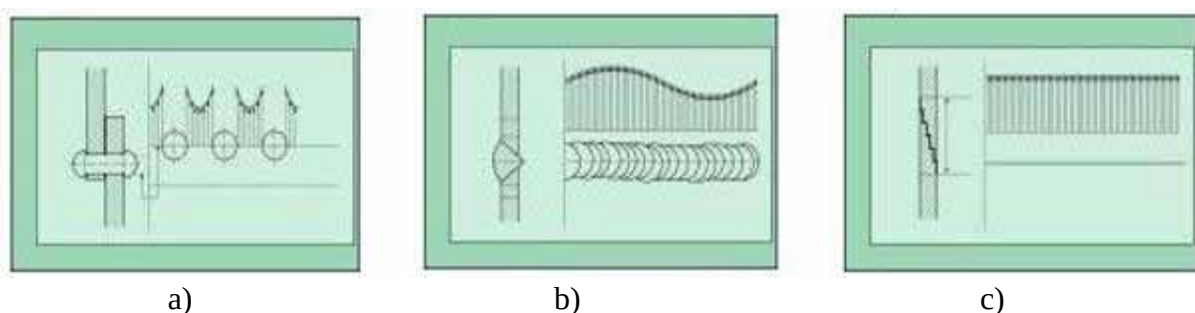
Fonte: (SIKA, 2010).

Como se pode notar, há muitas aplicações onde o adesivo é encontrado na montagem dos carros.

2.4.2 Vantagens e desvantagens

A principal vantagem do adesivo é a distribuição uniforme das tensões em sua camada e na superfície colada sobre toda a largura dos elementos reunidos, como pode ser observado na Figura 11 (FAUNER e ENDLICH, 1984).

Figura 11- Comparação dos esforços suportados pelas peças reunidas por: a) rebitagem, b) soldagem c) colagem em escada



Fonte: (FAUNER e ENDLICH, 1984).

Outra vantagem do adesivo é a sua excelente vedação, uma vez que o mesmo permite economizar volume e tempo, além de ser um processo fácil de mecanizar e automatizar (FAUNER e ENDLICH, 1984).

O adesivo também apresenta outras vantagens como amortecimento de vibrações, distribuição mais uniforme das tensões e rigidez com consequente aumento de resistência à fadiga, possibilidade de ser aplicados por robôs, existência de um contato contínuo entre as superfícies ligadas, não necessidade de furos e marcas de soldaduras e redução de custos quando adequados a um sistema de montagem (BRANDÃO et. al, 2010).

Entretanto, os adesivos também apresentam desvantagens como resistência limitada a condições extremas de calor ou umidade, necessidade de ferramentas de fixação, preparação prévia das superfícies, necessidade de desenhos de ligação devido à existência das forças de arrancamento e clivagem. (BRANDÃO et. al, 2010).

A realização de juntas de ligação simples é um processo simples e econômico. Tal fato, promove um aumento significativo de aplicações desta tecnologia de ligação, contribuindo para que as diversas aplicações tenham propriedades mais interessantes que as outras técnicas de ligação (BATALHA et al., 2010).

A partir do momento que se decide utilizar o adesivo, ou seja, desde sua concepção, é preciso escolher as formas e as dimensões adequadas para as superfícies dos sólidos a reunir,

evitando, em especial, qualquer concentração de tensão se a estrutura se destina a suportar (FAUNER e ENDLICH, 1984).

Desta forma, é preciso preparar as superfícies para a colagem, ou seja, é necessário aplicar nas superfícies tratamentos mecânicos e físico-químicos, operações em geral que envolvem elevados custos mas indispensáveis para eliminar as impurezas, aumentar a energia da superfície, elevar a fixação mecânica e favorecer a “molhagem” da cola (FAUNER e ENDLICH, 1984).

Além disso, o uso de adesivos estruturais ainda é visto de uma forma cuidadosa por parte de algumas empresas. A razão para esta desconfiança reside no fato de não existirem métodos bem estabelecidos para o dimensionamento de juntas com adesivos estruturais (BATALHA et al., 2010).

2.4.3 Cálculo e otimização dos conjuntos colados

Durante o processo de colagem, a geometria do conjunto deve conservar as características intrínsecas do adesivo. No entanto, algumas configurações de juntas não são recomendadas pois estas prejudicam a eficiência do sistema adesivo (COUVRAT, 1992). A junta não deve em nenhum caso constituir o elo fraco de um conjunto. Isso exige um estudo cuidadoso e detalhado do cálculo da junta para determinar as formas geométricas mais adaptadas (COUVRAT, 1992). Qualquer local dos esforços em uma junta terá efeitos catastróficos. Uma repartição homogênea dos esforços deverá sempre ser o primeiro objetivo do desenvolvedor (COUVRAT, 1992).

Segundo Silva (2010) a medição da resistência do contato entre o adesivo e um determinado substrato para materiais poliméricos é difícil devido à natureza viscoelástica destes materiais. Para este cenário, testes de arrancamento podem dar uma ideia do trabalho de fratura das interfaces se o teste for adequadamente executado.

No caso mais simples onde se tem uma superfície macia e plana, o trabalho de adesão (W_a) pode ser definido pela Equação (1) de Dupré (DUPRÉ, 1869) como o trabalho reversível por unidade de área (J/m^2) para se separar a interface entre dois materiais de sua condição de equilíbrio até o infinito.

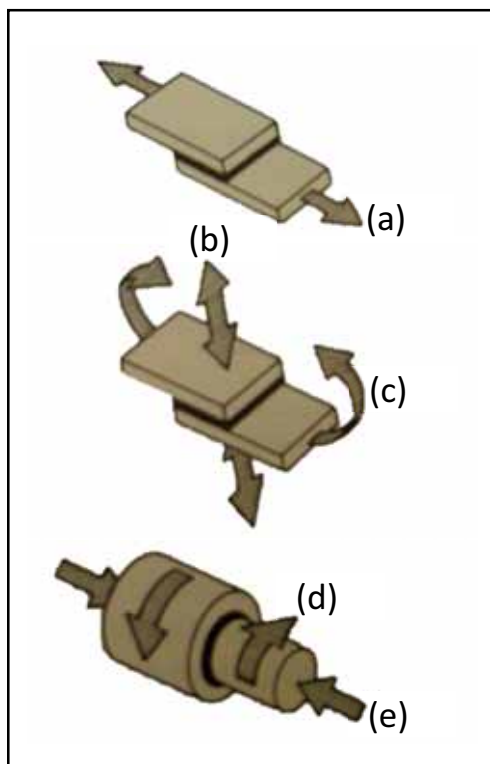
$$W_a = \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_{12} \quad (1)$$

Onde γ_1 e γ_2 são as tensões superficiais do material 1 e 2, respectivamente e γ_{12} é a componente interfacial entre estes dois materiais. A equação (1) demonstra que quanto maior a atração interfacial, maior será o trabalho de adesão. Esta relação resume também aspectos físicos e químicos na adesão de interface em termos de energia superficial. Esta equação também demonstra que a resistência da junção entre dois materiais é fortemente dependente das energias interfaciais do sistema e das interações intermoleculares (SILVA, 2010).

2.4.4. Esforços mecânicos

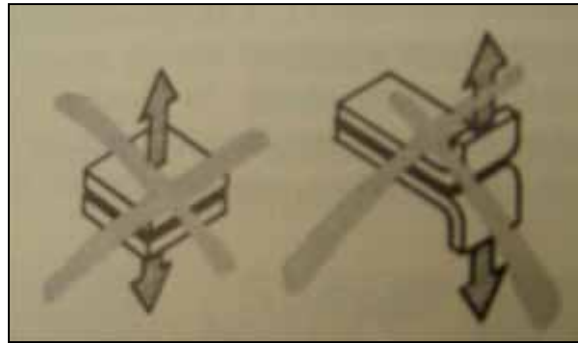
Trata-se, basicamente, de esforços físicos, entretanto, dada a sua importância para os cálculos de resistência, estes devem ser tratados em detalhe. Os esforços mecânicos que atuam sobre as juntas coladas encontram-se na forma de tração, compressão, e cisalhamento (Figura 12) (FAUNER e ENDLICH, 1984).

Figura 12 - Diagrama dos esforços submetidos em um determinado componente: a) Esforço em tração-cisalhamento; b) Esforço em tração e compressão; c) Esforço em flexão (tração-compressão); d) Esforço em torsão e cisalhamento; e) Esforço em compressão e cisalhamento



Há configurações de montagens que não são muito favoráveis para avaliar o esforço mecânico da cola como mostra a Figura 13 (FAUNER e ENDLICH, 1984).

Figura 13- Esforços mecânicos desfavoráveis



Fonte: (FAUNER e ENDLICH, 1984)

Contudo, as tensões não aparecem unicamente como consequências diretas da transmissão de força e energia, mas podem ser atribuídas a fenômenos secundários que acompanham o superaquecimento (FAUNER e ENDLICH, 1984).

A tensão de cisalhamento, acontece na junta quando as direções de aplicação dos esforços são paralelas ao plano da junta. A Figura 14 apresenta o teste mecânico de cisalhamento também conhecido por teste Lap Shear que é muito comum em estudos de adesivos e soldas (COUVRAT, 1992; ROSSI, 2007; CASTRO, 2014).

Figura 14 - Teste Lap Shear



Fonte: (CASTRO, 2014)

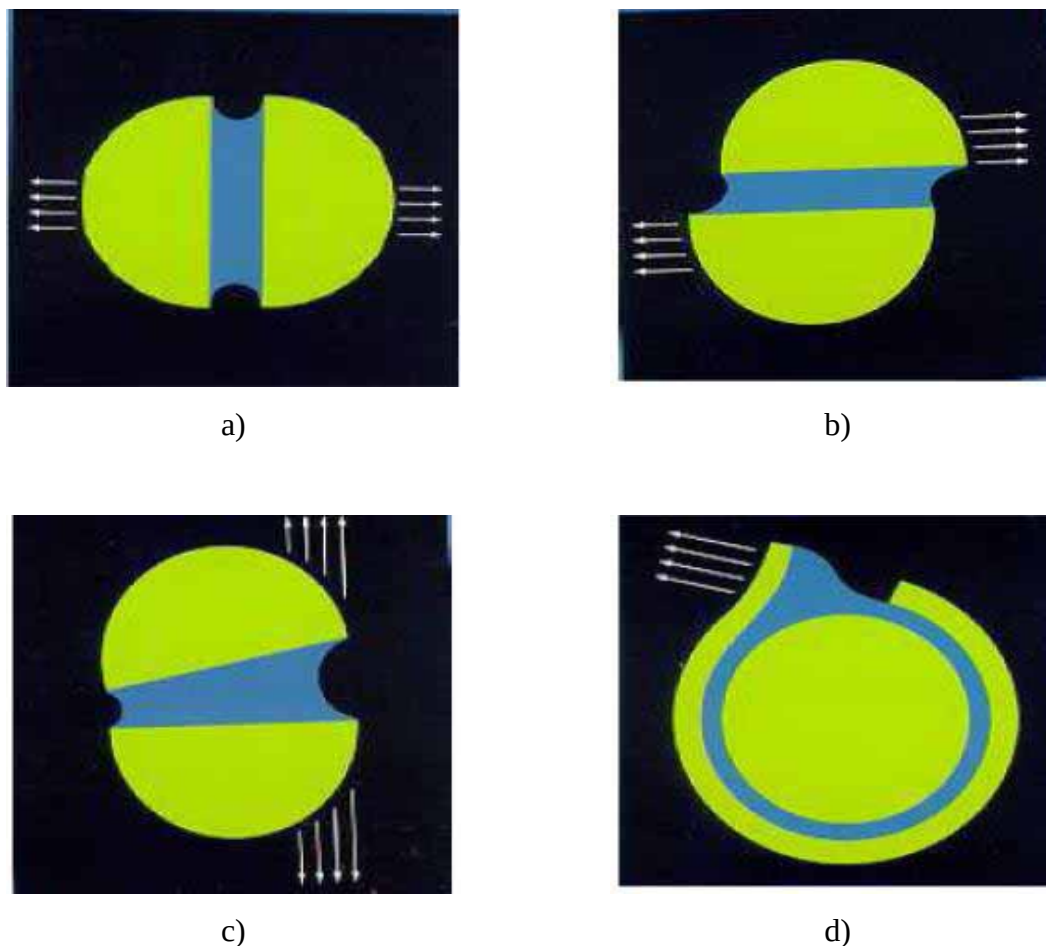
Quando uma junta de sobreposição está submetida aos esforços de tração seguidos dos suportes, constata-se o surgimento de dois tipos principais de esforços (COUVRAT, 1992):

- Esforços de cisalhamento na junta da cola;
- Esforços de flexão nas extremidades devido a não-axialidade dos suportes.

Isto resulta numa deformação do conjunto, os suportes tendem a se alinhar seguindo os eixos dos esforços, onde ocorreu a descamação ou a clivagem na extremidade da junta (COUVRAT, 1992).

Segundo Batalha et al. (2010) as tensões mais importantes que uma junta adesiva é submetida são as tensões de: tração, corte, clivagem e arrancamento como apresentado na Figura 15.

Figura 15 - Tensões mais importantes em uma junta adesiva: a) tração; b) cisalhamento; c) clivagem; d) arrancamento



Fonte: (BRANDÃO et.al, 2010)

Como é possível constatar na Figura 15(a), durante o carregamento por tração as forças são perpendiculares ao plano da junta adesiva e, como tal, estas distribuem-se uniformemente ao longo da zona de colagem fazendo com que todas as partes da junta estejam submetidas a mesma carga de tensão. Já na figura 15(b) exibe-se um esforço de cisalhamento Lap Shear; neste caso, a tensão é paralela ao plano da junta e uniforme em toda a área colada e, por isso, este resiste ao mesmo tempo à sollicitação. Seguidamente, em (c), representa-se uma tensão de clivagem que, ao contrário dos outros casos, representa uma tensão concentrada em um extremo da junta. Por fim, a Figura 15(d) apresenta o arrancamento, que consiste no aparecimento de uma elevada tensão na zona limite da junta que, por sua vez, tem de ser flexível (BRANDÃO et.al, 2010).

Os adesivos estruturais resistem, com um grau elevado, a estas várias formas de solicitação que podem sofrer os materiais que foram unidos. Isto deve-se à natureza do material e à capacidade que este tem de distribuir as cargas e tensões atuantes sobre a área total da união em vez de concentrá-las. Dependendo do tipo de adesivo, este pode ser submetido a tensões de cisalhamento (Lap Shear) muito próximas à tensão de ruptura por longos períodos de tempo sem ocorrer uma falha na junta adesiva (BRANDÃO et.al, 2010).

A Tabela 1 mostra a diferença de resistência entre as diversas colas existentes.

Tabela 1 - Comparação entre os vários adesivos estruturais quanto à sua resistência e tensões

Propriedades dos adesivos estruturais	Epóxi	Poliuretano	Acrílico modificado	Cianoacrilato	Anaeróbico
Resistência ao impacto	Baixa	Excelente	Boa	Baixa	Regular
Tensão de cisalhamento (MPa)	15,4	15,4	25,9	18,9	17,5
Tensão de arrancamento (N/m)	< 525	14.000	5.250	<525	1.750

Fonte: (MENDES, 2005).

De acordo com os tipos de resistências apresentados na Tabela 1, pode-se afirmar que a resistência ao cisalhamento é muito maior que a resistência à tração, à clivagem e ao arrancamento. Assim, deve-se enfatizar os esforços de cisalhamento quando se projeta uma junta adesiva de modo a obter uma máxima resistência. Deste modo, é importante garantir uma distribuição de cargas impostas na camada adesiva como uma combinação de tensões de cisalhamento e de compressão, evitando cargas provenientes de esforços por tração, clivagem e arrancamento na medida do possível.

2.4.5 Tipos de ruptura

O conhecimento do processo de aplicação de adesivos é essencial para uma colagem bem sucedida. A causa mais frequente nas adesões não envolve resistência do adesivo, e sim a preparação inadequada dos substratos e a seleção imprópria deste material (COSTA, 2012).

i. Ruptura adesiva

Uma ruptura adesiva ocorre quando existe um defeito da colagem devido (COUVRAT, 1992):

- Ao mal estado da superfície;
- Ao adesivo mal adaptado;
- A um problema durante a execução do processo.

Quando uma ruptura adesiva acontece, geralmente este fato encontra-se relacionado na má execução do tratamento superficial (COUVRAT, 1992).

Em muitas situações, a adesão entre dois materiais pode falhar em consequência do ambiente a que os materiais foram expostos durante uma aplicação. Entre os fatores que podem levar à falha estão: temperatura, pH, produtos químicos agressivos e irradiação (FORCH et al., 2009).

ii. Ruptura coesiva

Na ruptura coesiva, a falha ocorre na junta da cola. Esta ruptura normalmente acontece com tensão elevada pois excede a resistência do adesivo. Por isso não há nenhuma preocupação em relação a execução do processo, como o tratamento superficial (COUVRAT, 1992).

Por outro lado, se as tensões mecânicas que levam à ruptura são baixas, então não há como contestar a coesão do adesivo. Em outras palavras, o adesivo foi uma má escolha (COUVRAT, 1992).

O termo coesão reúne todas as forças garantindo a ligação das moléculas dentro de um mesmo material. A coesão depende da temperatura e determina o estado de agregação dos materiais. Uma forte coesão conduz ao estado sólido e favorece a resistência interna. Um baixo ou fraco valor da coesão favorece a deslocação da estrutura, até o estado líquido ou mesmo o gasoso. Nos casos particulares, ela pode conduzir a uma degradação química (SCHINDEL-BIDINELLI, 1992).

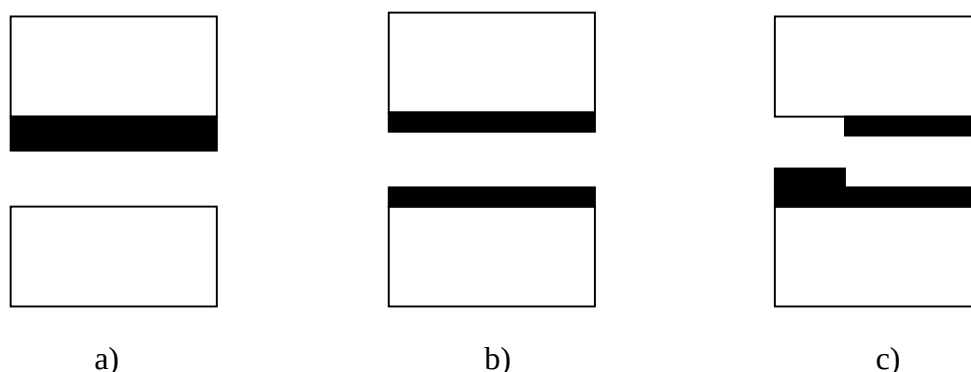
A coesão é assim determinante pela tenacidade do adesivo durante o processamento e pela sua resistência após a cura (SCHINDEL-BIDINELLI, 1992).

iii. Ruptura mista

A ruptura mista é parcialmente adesiva, parcialmente coesiva. Este tipo de ruptura é muitas vezes causado pelo tratamento superficial mal executado, ocasionando primeiramente uma ruptura adesiva, levando a seguir a uma ruptura coesiva nas partes da superfície que foram bem tratadas (concentração de tensões) (COUVRAT, 1992).

A Figura 16 representa os três tipos de ruptura:

Figura 16 - Os três tipos de ruptura da cola: a) Ruptura adesiva; b) Ruptura coesiva; c) Ruptura mista



Fonte: (AUTORA, 2014)

2.5 SOLDAGEM POR VIBRAÇÃO

O processo de soldagem por vibração ou vibracional é uma variação da soldagem convencional por fricção. Neste processo o calor de atrito é gerado por duas superfícies plásticas que vibram em diferentes fases (CRAWFORD, 1998).

Este tipo de soldagem é muito utilizado na indústria automobilística, onde é necessária a junção de vários itens como um canal de ar no painel de instrumentos. Entretanto, uma desvantagem desta aplicação é que a solda deixa marcas, danificando visualmente o produto. Sua espessura deve ser maior que 3mm, objetivando evitar o aparecimento de marcas da solda. A fricção das peças ocorre de duas formas: linear (deslocamento em linha reta) ou orbital (movimentos elípticos) para formas circulares. Algumas das características do produto tais como a espessura das paredes, resistência da área de soldagem e aparência final é que definem o método de utilização de soldagem (LEMOS, 2009).

A partir do processo de soldagem por vibração é possível unir peças com formas geométricas mais complexas, dentre estas, partes e componentes plásticos usados na indústria automotiva, aeronáutica e naval, tais como porta-objetos, reservatórios de óleo, para-choques, painéis frontais, caixas e tampas de porta-luvas, conjuntos de admissão, painéis internos de aeronaves, peças de eletrodomésticos, etc (LEMOS, 2009).

Segundo Branson (2014), a soldagem por vibração baseia-se no princípio da produção de calor por fricção nas superfícies de junção. As peças a serem unidas serão movimentadas umas contra as outras sob a ação definida de uma pressão na junção e de um curso oscilante.

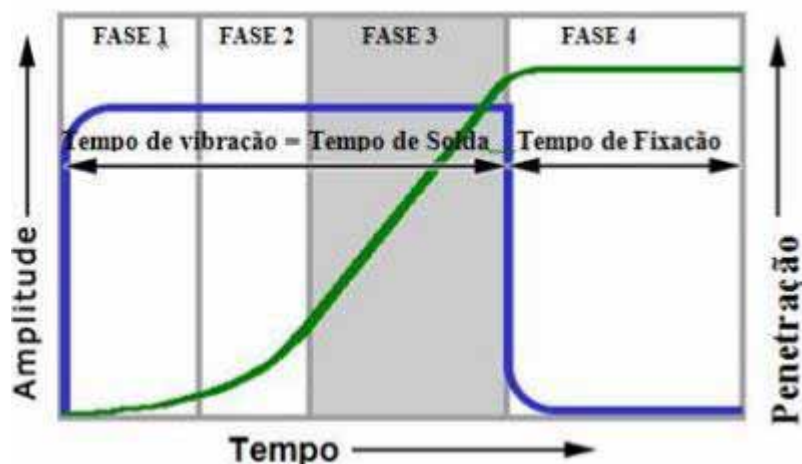
Durante este processo de soldagem, normalmente, uma das partes da peça a ser soldada será bloqueada e apertada firmemente e a outra parte irá se movimentar por vibração (LEMOS, 2009). A energia de soldagem necessária é fornecida por um cabeçote oscilante com impulso eletromagnético. Neste sistema, bobinas eletromagnéticas formam um campo magnético alternativo, o qual aciona uma placa vibratória contra a força de tração das molas de aço especialmente moldadas deslocando o assento da ferramenta com vibrações lineares horizontais (LEMOS, 2009). O cabeçote oscilante não contém partes mecanicamente móveis, mas sim bobinas eletromagnéticas, o que garante que o sistema de soldagem por vibração necessite de pouca manutenção (LEMOS, 2009).

A energia de oscilação necessária para as vibrações é colocada à disposição por um conversor de frequência (com frequência e amplitude reguláveis) e transmitida ao cabeçote oscilante (LEMOS, 2009).

A frequência e a amplitude de vibração, bem como a força de pressão, a duração da soldagem e o tempo de parada após o término do processo de soldagem, são adaptados uma única vez às peças a serem soldadas. Durante este processo, as fases do processo de soldagem são (LEMOS, 2009):

- Fase 1 – Ocorre o contato das superfícies das peças. A fusão do polímero não é iniciada nesta fase.
- Fase 2 – O movimento é iniciado e o calor por atrito é gerado.
- Fase 3 – O material da superfície é fundido ao longo da junta.
- Fase 4 – Tempo para o polímero esfriar e fixar a solda, conforme pode ser observado na Figura 17:

Figura 17 - Diagrama de soldagem por vibração

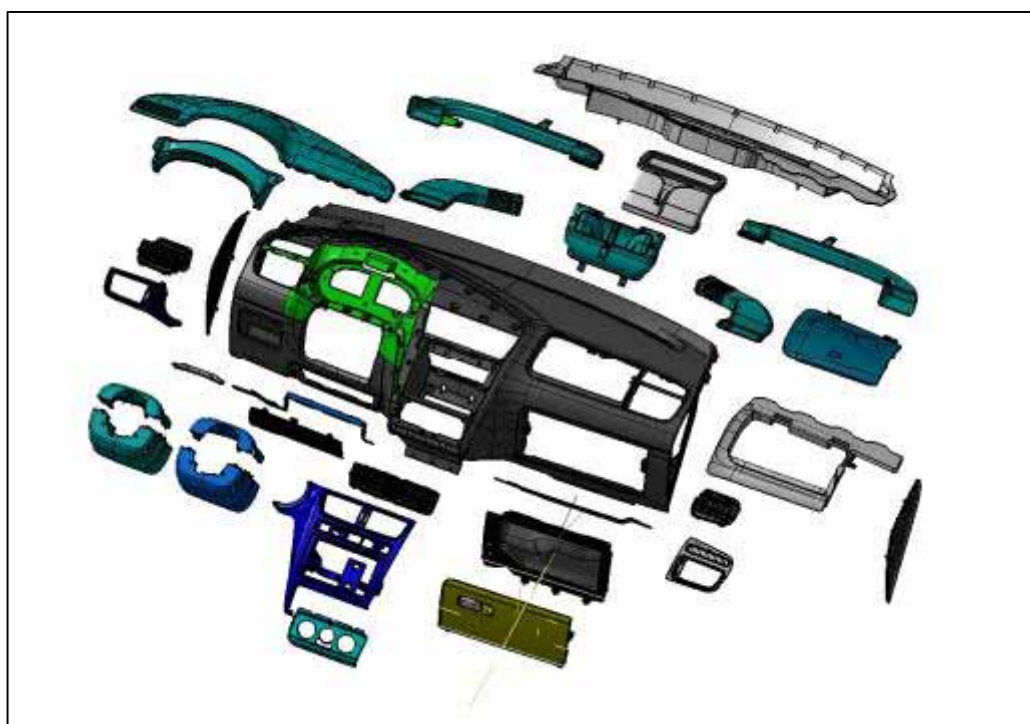


Fonte: (LEMOS, 2009)

2.5.1 Aplicações no painel de instrumento

Um exemplo de peça que não aceita deformação aparente e tem vários sub-itens em sua montagem, é o painel de instrumento de um automóvel. Neste encontram-se partes e peças que não podem aparecer, mas fazem parte de sua estrutura. A Figura 18 apresenta todos os itens montados em um painel, sendo que alguns destes são montados e encaixados e outros soldados (LEMOS, 2009).

Figura 18 - Vista explodida de um painel de instrumentos

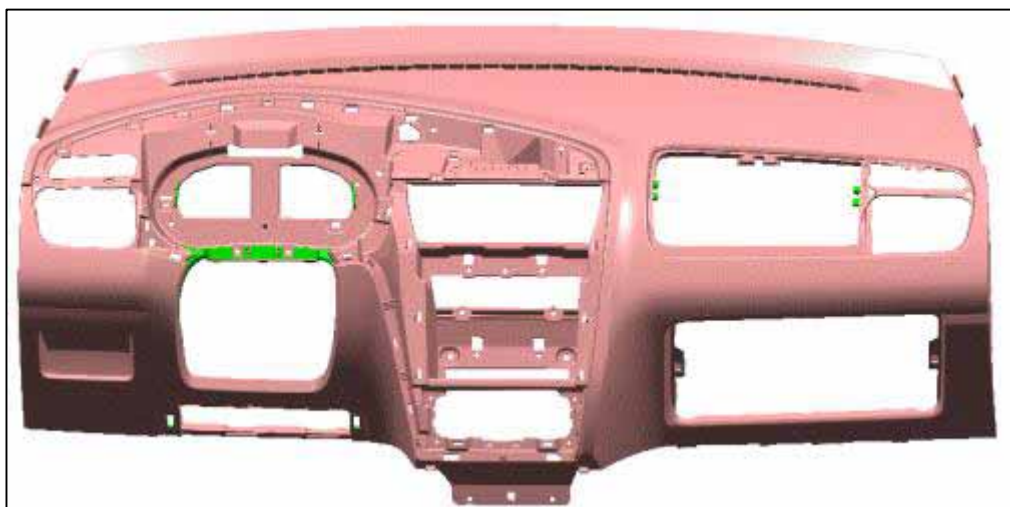


Fonte: (LEMOS, 2009)

Dos itens que compõe um painel, dois exemplos de peças que são soldadas em seu corpo podem ser destacados, sendo estes: o canal de ar e o reforço do air bag. As Figuras 19, 20 e 21 apresentam as peças separadas e depois soldadas (LEMOS, 2009).

A Figura 19 exhibe o corpo do painel de frente, como este deve aparecer, sem deformações e marca de “chupagens”.

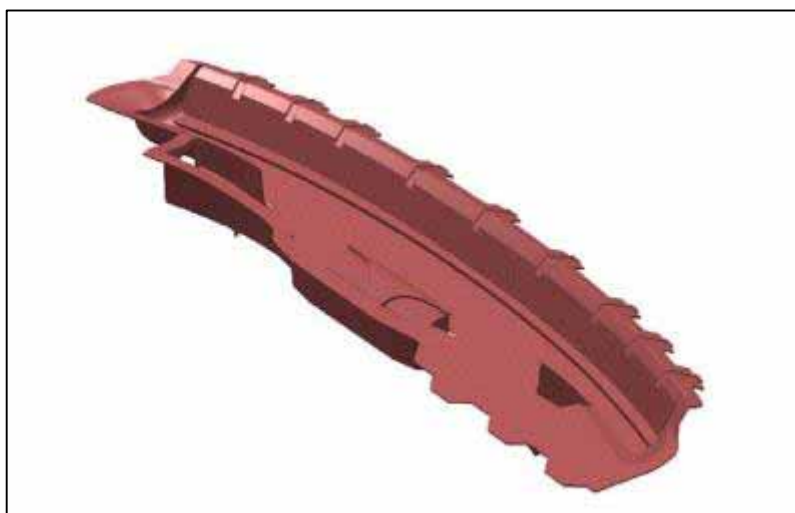
Figura 19 - Corpo do painel de instrumento



Fonte: (LEMOS, 2009)

A Figura 20 apresenta o canal de ar com suas formas geométricas e relevos que dificultam a junção.

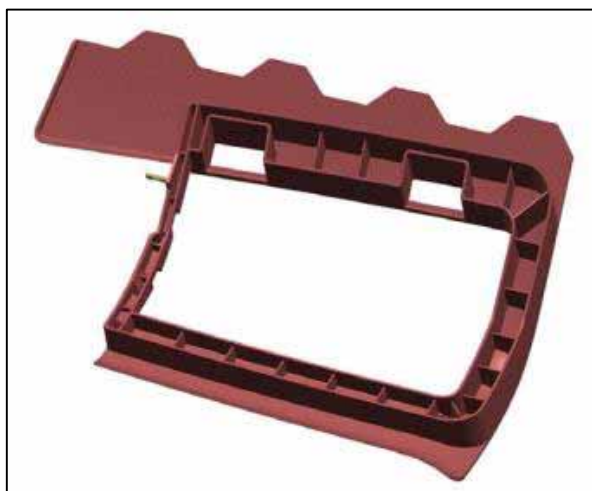
Figura 20 - Canal de ar



Fonte: (LEMOS, 2009)

Já a Figura 21 mostra a peça do reforço do airbag que é também uma peça com formas de difícil união.

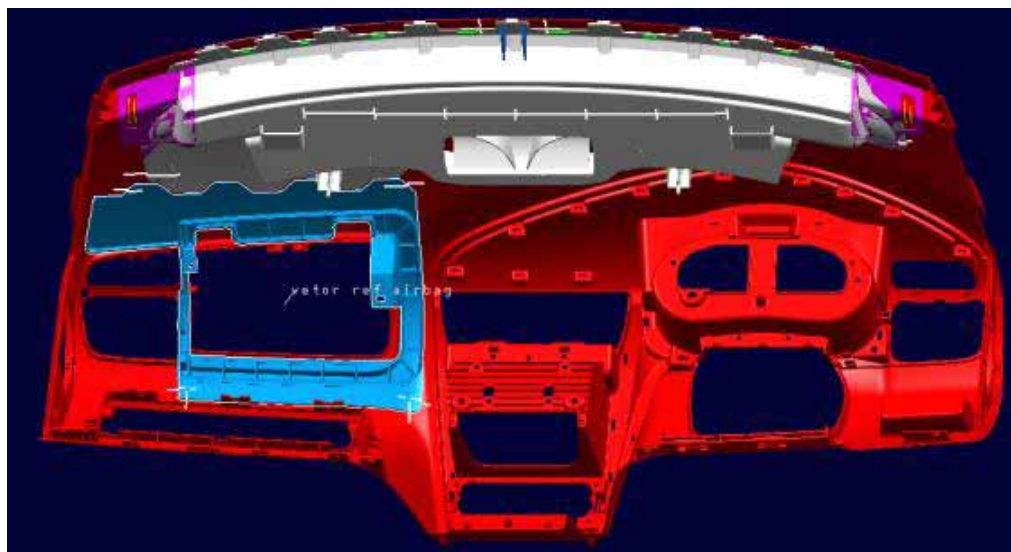
Figura 21 - Reforço do airbag



Fonte: (LEMOS, 2009)

A Figura 22 apresenta a foto das peças unidas com processo de soldagem por vibração.

Figura 22 - Peças soldadas no painel



Fonte: (LEMOS, 2009)

2.5.2 Comparações entre os processos de colagem e a soldagem

Uma vez que este trabalho visa substituir o método da soldagem pela colagem torna-se importante a realização de uma comparação entre estes dois métodos. O Quadro 1 e o 2 apresentam as vantagens e desvantagens desses métodos:

Quadro 1 - Vantagens e desvantagens da colagem

	Vantagens	Desvantagens
C O L A G E M	• Baixo aquecimento dos componentes pela ligação. • Simplicidade da aplicação do adesivo. • As superfícies dos componentes de montagem não têm como serem modificadas. Sem esforço, há repartição uniforme das tensões. • São isolantes elétricos, que reduzem em grande escala a corrosão de contato entre os elementos montados. • Selagem de pontos de conexão contra umidade, gás e ações químicas. • Superfícies lisas nos pontos de ligação (favoráveis para o fluxo). • Os pontos de colagem reduzem os ruídos e as vibrações.	• Há necessidade de preparar as superfícies para assegurar uma aderência correta. • Para os adesivos termorrígidos, há a necessidade de um maior tempo de reticulação. • Necessidade de uma superposição suficiente de 2 elementos. • Precisa manter, com bastante precisão, a temperatura de reticulação sobre as grandes superfícies durante um tempo relativamente longo. • A capacidade de aderência, a resistência a fadiga, a estabilidade ao envelhecimento, uniformidade da reticulação ainda não são muito conhecidos. • Baixa estabilidade ao calor (até 250°C). • Há perigo de desagregação dos pontos colados como consequência das diferenças de dilatação dos elementos de construção e da camada adesiva.

Fonte: (FAUNER e ENDLICH, 1984)

Quadro 2 - Vantagens e desvantagens da soldagem

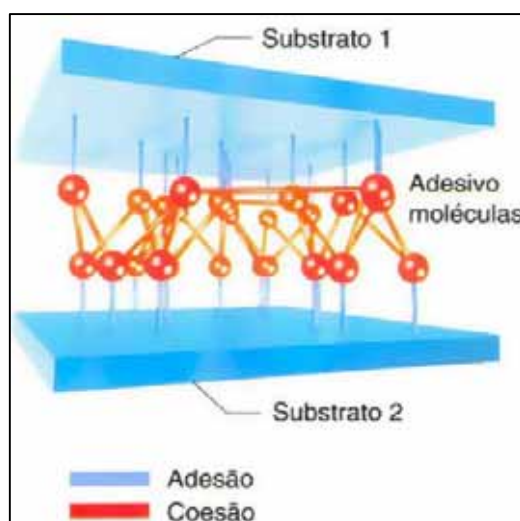
	Vantagens	Desvantagens
S O L D A G E M	• Possibilidade de pontos de ligação planos e lisos. • Possibilidade de quase total repartição de tensões uniformes. • Composição ligeiramente idêntica ao material dos componentes e aos pontos soldados. • Junta absolutamente firme no ponto de ligação. • Nos casos mais favoráveis, a resistência da junta pode alcançar a resistência dos componentes montados.	• Aquecimento significativo nos pontos de soldagem. • Riscos de mudanças nas estruturas e elementos de distorção (tensões internas). • Processo complicado que necessita muito cuidado de know-how para obter uma solda lisa e sólida. • A espessura do substrato não deve ser menor que 3mm, evitando assim o aparecimento das marcas de soldagem.

Fonte: (FAUNER e ENDLICH, 1984)

2.6 PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS ADESIVOS

Como já foi dito anteriormente, em um processo de colagem, ocorrem dois tipos de forças de superfície: a adesão e a coesão (Figura 23) (SILVA e CARDOSO, 2006).

Figura 23 - Fenômenos de adesão e coesão em uma zona de colagem



Fonte: (BLOG ADESIVO INDUSTRIAL, 2015).

As forças adesivas e coesivas podem ser classificadas como primárias e secundárias. Forças primárias são subdivididas em forças covalentes iônicas e metálicas. As forças covalentes são aquelas formadas por ligações covalentes, que apresentam energia de ligação entre 60 e 700 kJ.mol^{-1} , como por exemplo aquelas encontradas em polímeros orgânicos ramificados. As ligações iônicas de energia entre 600 e 1000 kJ.mol^{-1} são aquelas formadas por ligações químicas iônicas como os presentes em cristais inorgânicos. As forças metálicas, de energia entre 100 e 350 kJ.mol^{-1} correspondem às forças presentes entre os átomos de uma liga metálica (PETRIE, 2007).

Existem três tipos de forças de ligações secundárias, também chamadas de forças de Van Der Waals: o dipolo induzido, dipolo permanente e ligações de hidrogênio são importantes tanto quanto as primárias. As forças do tipo dipolo induzido, são também conhecidas como forças de London, têm energia de ligação entre 0,1 e 40 kJ.mol^{-1} e as de dipolo permanente, têm energia entre 4 e 20 kJ.mol^{-1} e estão presentes entre moléculas polares. Quando em uma molécula existem elementos muito eletronegativos, por exemplo flúor, oxigênio e nitrogênio, ligados a átomos de hidrogênio, a eletronegatividade destes átomos exerce uma maior atração do par eletrônico desta ligação polarizando a molécula. Consequentemente esta molécula ao aproximar-se de outra que tenha elementos eletronegativos irá interagir com o hidrogênio formando uma ligação chamada de ligação de hidrogênio, que apresenta energia em torno de 40 kJ.mol^{-1} (PAYNE, 1964).

Destaca-se que as forças primárias estão presentes nos adesivos de alto desempenho, também denominados de estruturais (epóxi e metacrilatos). Para a maioria dos adesivos, as forças mais importantes relativas à adesão são as forças secundárias. A exata natureza destas forças e sua influência na resistência adesiva e coesiva são difíceis de se determinar com precisão em razão de sua complexidade que está associada com a formulação do adesivo (QUINI, 2011).

2.6.1 Adesão

A adesão é um estado em que duas superfícies estão unidas por forças interfaciais que poderiam ser de valência primária ou secundária, químicas ou mecânicas apresentados na Tabela 2 (LEE e ORLOWSKI, 1973):

Tabela 2 - Classificação dos mecanismos de adesão

União	Adesão mecânica	Efeitos geométricos	rugosidade, porosidade, retenções microscópicas
		Efeito reológico	estresse e contração
Adesiva	Adesão química	Forças de valência primária	união iônica união covalente união metálica
	Específica	Forças de valências secundárias	interação bi-polar forças de Van der Waals pontes de hidrogênio

Fonte: (COUTINHO, 2000)

As forças atrativas responsáveis pelo fenômeno físico-químico da adesão são as forças eletrostáticas, forças de van der Waals, pontes de hidrogênio e interações por compartilhamento de elétrons (SILVA e CARDOSO, 2006).

Além das forças de atração intermoleculares, alguns mecanismos físico-químicos contribuem para o desenvolvimento da adesão de dois substratos, como a tensão superficial, a difusão interfacial e a ancoragem mecânica (SILVA e CARDOSO, 2006).

As forças de adesão também são função da área de contato e da resistência à deformação plástica dos materiais, portanto dependem da estrutura cristalina ou mais especificamente do número e da densidade dos sistemas de escorregamento do cristal. O coeficiente de adesão é definido como a razão entre as forças necessárias para evitar a adesão e a força normal com o qual o material estava comprimido. Em geral, o crescimento da dureza resulta em um decréscimo do coeficiente de adesão (SUSKI, 2004).

O termo adesão se aplica às forças adesivas no nível de contato entre dois materiais idênticos ou não. Por ocasião da aplicação do adesivo no estado líquido, a adesão age de maneira uniforme. As moléculas do adesivo são introduzidas a uma pequena distância das moléculas de superfície do substrato. Conforme a natureza das superfícies, haverá uma boa ou má molhagem. Tudo depende da tensão superficial entre o adesivo e as superfícies. As moléculas dos adesivos são retidas na superfície graças as forças de adsorção (SCHINDEL-BIDINELLI, 1992).

Uma vez que o adesivo cura, a adesão entre a superfície solidificada do adesivo e aquela dos substratos está estabilizada. Aqui intervêm as forças de ligação físicas e químicas (SCHINDEL-BIDINELLI, 1992; COUTINHO, 2000).

Marra (1992) comenta ainda que a adesão é um campo muito complexo devido ao número de fenômenos envolvidos, à variedade dos materiais a serem colados e à diversidade de condições de colagem. Com relação a um substrato de polipropileno (PP) também se encontra dificuldades, uma vez que o material de PP possui uma superfície com baixa energia superficial o que dificulta na adesão entre a cola e o substrato.

2.6.1.1 Teoria da adsorção

A teoria da adsorção estabelece que a adesão seja o resultado do contato molecular entre dois materiais e as forças de atração se desenvolvem em sua superfície. A adesão resulta da adsorção de moléculas do adesivo pelo substrato e as forças secundárias de van der Waals passam a atuar. Para estas forças se desenvolverem nas respectivas superfícies não devem estar separadas mais do que 50 nanômetros de distância. Portanto, o adesivo deve ter um contato molecular muito próximo com a superfície do substrato. Para que este contato ocorra é preciso que haja uma boa molhabilidade. Esta molhabilidade ocorre quando o adesivo consegue fluir entre as irregularidades existentes na superfície do substrato preenchendo, desta forma, os vales da superfície. Quando isto não ocorre pode haver o acúmulo de minúsculas bolhas de ar ao longo da interface dando a origem a regiões vazias enfraquecendo a colagem (SCHNEBERGER, 1970).

A molhabilidade é favorecida quando a energia de superfície do substrato é elevada e a tensão superficial do líquido é baixa. Polímeros de baixa energia superficial molham facilmente substratos de alta energia. De forma inversa, substratos poliméricos de baixa energia são de difícil molhabilidade, como por exemplo: polietileno, polipropileno e polímeros fluorados (QUINI, 2012).

Pode-se considerar também a adesão química, que apresenta as mesmas características da adesão por adsorção, porém com ligações mais fortes (SUSKI, 2004). Segundo Marra (1992) pela teoria da adesão química, ligações primárias iônicas, covalentes ou forças intermoleculares secundárias se estabelecem entre o adesivo e o substrato, sendo que a formação da ligação depende da reatividade entre o adesivo e o substrato.

2.6.1.2 Teoria mecânica

A superfície de um material sólido nunca é totalmente lisa, mas consiste de uma combinação de picos e vales. Logo, é desejável que o adesivo seja capaz de preencher estas micro cavidades expulsando o ar presente no interior das mesmas (COSTA, 2012).

Uma das formas de intensificar a adesão, considerando a rugosidade superficial, é a partir do acréscimo da área total de contato entre adesivo e substrato. Outra forma, consiste na adesão mecânica promovida entre o adesivo e substrato, a partir do preenchimento das cavidades do próprio substrato (COSTA, 2012).

Há muitos casos onde as forças de adesão resultam de um trabalho conjunto na junta. Nestes casos, a resistência apresentada pela junta será uma soma da adesão ocorrida em razão das interações primárias e secundárias, com o efeito da ancoragem mecânica (COSTA, 2012).

Segundo a pesquisadora Urbinati (2013), pela teoria mecânica uma boa adesão ocorre somente quando o adesivo penetra em poros ou fendas, ou qualquer outra irregularidade da superfície do substrato e trava-se mecanicamente a irregularidade da superfície, só sendo possível em materiais porosos.

2.6.1.3 Teoria da difusão

O conceito fundamental da teoria da difusão é que o adesivo atue por interdifusão de moléculas do adesivo com o substrato (COSTA, 2012). Na interdifusão, primeiramente é estabelecido o contato entre dois polímeros acima de suas T_g 's (temperatura de transição vítrea) e, neste momento, suas cadeias moleculares ou pelo menos alguns segmentos destas difundem-se entre si. Este conceito foi sugerido por Voyutskii (1963) e a sua efetividade depende muito do grau de compatibilidade entre os dois polímeros, alcançando níveis máximos quando os materiais são iguais ou similares. Nos substratos termoplásticos a difusão ocorre por ação do solvente presente no adesivo ou por calor no caso dos termorrígidos conhecidos como *hot-melt*. Outra possibilidade de difusão para termoplásticos é quando o substrato e adesivo são solúveis um no outro, porém, este processo é relativamente raro. Desta forma, a teoria da difusão pode ser aplicada apenas em um número limitado de casos.

Segundo Kinloch (1987), pela teoria da difusão de polímeros, a adesão ocorre por meio da difusão de segmentos de cadeia polimérica em nível molecular através da interface. Para

polímeros de elevado peso molecular, a adesão pode ser causada por difusão mútua entre as cadeias de moléculas ou suas ramificações através da interface (VASENIN et al, 1969).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Durante o desenvolvimento deste trabalho, foi constantemente avaliada a melhor opção de material a ser utilizado como cola aplicada a airbags automobilísticos. A princípio, houve maior interesse nas colas *hot-melts*, baseando-se em sua fácil aplicação e custo, porém, durante a evolução deste trabalho, foi observado que as colas bi-componentes também se apresentaram adequadas a esta aplicação, devido a seu elevado desempenho. Desta forma, ambos os materiais foram avaliados.

3.1 PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

3.1.1 Substrato

Neste trabalho, foram utilizadas matérias-primas comuns na indústria automobilística que são utilizadas nas peças do canal de ar e reforço de airbag. O polipropileno MITSUBISHI 875 e TRC 411 N da BASELL foram os substratos escolhidos para a realização deste trabalho. As amostras foram injetadas no formato de placas e cortadas a laser com dimensões de 110 x 45 mm.

3.1.2. Processo *Hot-melt*

Para a realização da colagem com adesivos *hot-melt* utilizou-se a pistola Pneumatic (PUR-Cartridges) do fornecedor Reka que se apresenta na Figura 24.

Figura 24 - Pistola aplicadora manual e cartuchos *hot-melt*



Fonte: (REKA, 2014)

Os adesivos vêm na forma de cartuchos como é mostrado na Figura 24, e assim coloca-se o cartucho dentro da pistola. Depois disso, regula-se a temperatura desejada da pistola para aplicar a cola nos substratos.

Após aquecer e utilizar a cola *hot-melt*, este cartucho não poderá ser reutilizado.

Durante a colagem é preciso preparar os substratos a serem colados, podendo haver necessidade de um tratamento superficial. Neste trabalho, todas as colagens foram realizadas em uma área de 450 mm² (45x10mm). A temperatura de aplicação da cola é denominada de temperatura de aplicação (Tap). Como este trabalho objetiva a utilização de sistemas adesivos em um painel de carro, deve-se considerar o tempo aberto (open time) que consiste no tempo máximo entre a colagem do conjunto antes que o adesivo perca a sua aderência. Portanto, antes de realizar a colagem dos substratos, considerou-se o tempo de espera (te) que consiste em um intervalo de tempo entre adicionar a cola no substrato e colocar o outro substrato sobre a cola.

Após esta primeira etapa, colocou-se uma carga de 1 kg sobre o conjunto durante um determinado período de tempo denominado de tempo de pressão (tp). O tempo para ser realizada a cura do sistema adesivo foi denominado de tempo de cura (tc_{ura}).

A Tabela 3 apresenta as colas *hot-melt* que foram utilizadas neste trabalho assim como os parâmetros utilizados durante a colagem.

Tabela 3 - Colas *hot-melt* utilizadas e seus principais parâmetros

Adesivo	Fornecedor	Base química	Tap (°C)	te(s)	tp (min)	tcura (h)
Sika 9676	Sika	PU	140	30	1,0	72
Sika 9185	Sika	PP	160	20	1,0	72
SwiftLock	HB Fuller	PU	160	5	1,0	72
SwiftTherm	HB Fuller	PP	200	30	1,0	72
Pur-Fect 310	Henkel	PU	115	60	0,5	72

Os parâmetros utilizados neste processo respeitaram os intervalos indicados na ficha técnica de cada adesivo. As fichas técnicas estão anexadas no final do relatório.

3.1.3. Sistema bi-componente

A pistola dos adesivos bi-componentes é mais simples do que a pistola *hot-melt*, porém, neste caso é necessário utilizar um bico misturador como apresentado na Figura 25. Esta pistola foi fornecida pelo próprio fabricante de adesivos HB Fuller.

Figura 25 - Pistola aplicadora manual, bico misturador e cartucho bi-componente



Fonte: (AUTORA, 2014).

A cola bi-componente vem em um cartucho, onde os dois componentes não estão em contato entre si. Ao pressionar o “gatilho” as colas vão sendo pressionadas e aos poucos saem do cartucho na proporção desejada e assim são misturadas no bico misturador.

Durante este tipo de colagem é preciso preparar os substratos a serem colados os quais podem precisar de um tratamento superficial.

As juntas adesivas foram delimitadas em uma área de 450 mm² (45x10 mm) do substrato.

A Tabela 4 apresenta as colas bi-componentes que foram utilizadas e os parâmetros utilizados durante este processo de colagem:

Tabela 4 - Colas bi-componentes utilizadas e seus principais parâmetros

Adesivo	Fornecedor	Base química	te	Handling time	tcura
L922-0	HB Fuller	MMA	1min15s	15 min	48h
Teromix 6700	Henkel	PU	1min30s	15min	48h

O tempo de espera (te) consiste no intervalo de tempo entre começar a colocar o adesivo no substrato e sobrepor o outro substrato na junta adesiva. O handling time é o tempo que o conjunto colado necessita para tornar-se manipulável após a colagem ser realizada. O tempo para a cura do adesivo ser realizada denomina-se tempo de cura (tcura).

3.1.4. Processo de Soldagem

A utilização do processo de soldagem por vibração também foi avaliada para poder comparar com as colas *hot-melt* e as bi-componentes. Atualmente, não há estudos muito profundos sobre quanto a junção obtida a partir da soldagem por vibração pode resistir, ou seja, não há dados apresentando qual é a sua resistência máxima após a avaliação por ensaio de cisalhamento interlaminar.

Portanto, neste trabalho foram realizados ensaios de cisalhamento a 23°C e a 85°C, envolvendo amostras coladas por soldagem por vibração, assim como com as colas *hot-melt* e bi-componente.

A soldagem por vibração não foi realizada neste trabalho devido ao método ser complexo e difícil de ser aplicado pois necessita de equipamentos e aparelhos para a sua realização.

Consequentemente, para obter peças que havia juntas de soldagem por vibração, recolheu-se amostras nos próprios painéis de instrumento onde as peças estão unidas por soldas de vibração. Dessa maneira, cortou-se os corpos de provas com as mesmas dimensões dos corpos de provas que foram utilizados no processo da colagem.

Desse modo, os corpos de provas com as juntas de soldagem por vibração foram ensaiados na máquina universal de ensaios e foi possível obter sua tensão de ruptura. Foram

cortados 10 corpos de prova no total, sendo que 5 corpos de provas foram utilizados para o ensaio de Lap Shear a 23°C e os outros 5 corpos de provas para o ensaio a 85°C.

3.2 TRATAMENTO SUPERFICIAL

3.2.1 Tratamento por chama (flambagem)

Para a realização deste trabalho, foi utilizado o queimador Soudogaz X 2000 da Campigaz (Figura 26) objetivando a realização da flambagem. O fogo aplicado nas placas deve ser o mais oxidante (a parte azul da chama) e para cada 5 substratos com dimensões de 110x45 mm colocados um do lado do outro deve-se aplicar a chama durante 2 segundos em um movimento de vai e volta ao longo da placa. Depois de realizar o tratamento, tomou-se cuidado para não encostar na região das placas onde foi tratada, de modo a não contaminar a amostra.

Figura 26 - Queimador com o tanque de combustível



Fonte: (CAMPIGAZ, 2014)

3.2.2 Estudo da tensão superficial

Com o propósito de avaliar se a intensidade do tratamento de flambagem pode aumentar ou diminuir a energia superficial do substrato foram realizados 4 diferentes tipos de tratamentos. O primeiro tratamento denominado de “sem”, significa que não houve nenhum tratamento superficial da placa. O segundo tratamento chamado de “pouco”, significa que as placas foram tratadas com um menor tempo de exposição à chama (1 a 2 segundos). O terceiro tratamento

denominado “normal”, significa que as placas foram tratadas com o tempo normal de exposição à chama (2 segundos). O quarto tratamento chamado de “excessivo” consiste em deixar a placa com um tempo excessivo de exposição à chama (5 segundos). Para cada tipo de tratamento, foram realizados 4 corpos de provas. Foi utilizado o adesivo Sika 9676 (*hot-melt* de PU) para a confecção dos corpos de prova pois a medida que os ensaios foram realizados observou-se que este adesivo possui um desempenho melhor que as outras *hot-melts*.

Entre a realização dos tratamentos por chama e o processo de colagem, mediu-se a energia superficial de cada placa utilizando canetas de 38, 40, 42, 44, 46, 48 e 50 mN/m.

Para cada placa, deslizou-se primeiro a caneta de 38 mN/m (menor tensão superficial) sobre a superfície do material de forma que seja produzida uma faixa contínua. Se a faixa permanecer uniforme por um período de 2 a 4 segundos (rompendo-se logo após), significa que a superfície está com o tratamento igual ou superior a 38 mN/m. Desta forma, deslizou-se as canetas seguintes individualmente até a ocorrência do rompimento imediato da faixa em “gotículas” (desfazendo a faixa). Se isso ocorrer por exemplo na caneta 44 mN/m, significa que a tensão superficial da placa será entre 42 e 44 mN/m.

Após este processo, foi realizado o teste de Lap Shear em cada corpo de prova, para investigar a influência da intensidade da chama na superfície e assim medir a resistência máxima dos corpos-de-prova para cada tratamento.

3.3 ENSAIOS DE LAP SHEAR

3.3.1 Teste A+B/B+A

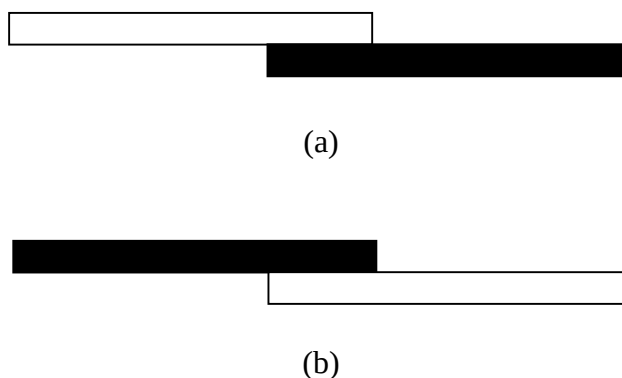
O teste A+B/B+A consiste em esclarecer se há alguma diferença na maneira como os substratos serão colados. Para este teste utilizou-se a cola Sika 9676, para a confecção dos 5 corpos de prova para cada configuração. Os materiais utilizados para fazer essas duas configurações foram:

Placa A (branca): Polipropileno MITSUBISHI 875

Placa B (preta): Polipropileno TRC 411 N (BASELL)

A configuração A+B consiste em aplicar a cola *hot-melt* sobre a placa B e depois sobrepor a placa A. A configuração B+A é o inverso da A+B, como pode ser observado a partir da Figura 27.

Figura 27 - Configuração: a) A+B; b) B+A



Fonte: (AUTORA, 2014).

Após a colagem, realizou-se o ensaio de Lap Shear para medir a resistência máxima de cada corpo de prova, tendo os resultados avaliados com o auxílio do teste estatístico Mann-Whitney (descrito no item 3.4) para observar se a configuração A+B tem maior desempenho que a B+A ou vice-versa.

3.3.2 Teste CT/ST

O teste CT/ST consiste em avaliar se o tratamento superficial por chama é realmente significativo e necessário. As siglas CT e ST representam:

CT: Com tratamento superficial

ST: Sem tratamento superficial

As colas *hot-melt* de PU normalmente são recomendadas pelos próprios fornecedores para fazer o tratamento superficial antes de realizar a colagem.

Já as colas *hot-melt* de PP não necessitam de tratamento, segundo os fornecedores, pois apresenta base química de PP assim como seus substratos. Dessa maneira o adesivo de PP terá uma melhor afinidade química que o adesivo de PU. As bi-componentes também não necessitam ser tratadas superficialmente devido a sua elevada resistência a fadiga, segundo os fornecedores.

Foram realizados 5 corpos de prova para cada configuração e o ensaio mecânico efetuado foi o Lap Shear. Desse modo, foi possível comparar os resultados de cada adesivo e analisar se

a resistência máxima aumenta ou indefere ao realizar o tratamento superficial em relação aos resultados dos corpos de prova sem tratamento.

3.3.3 Influência do tempo de cura

Este estudo tem o intuito de verificar o tempo de cura em relação ao desempenho do adesivo a ser utilizado

Este teste foi realizado com os adesivos *hot-melt* Sika 9676 e Sika 9185. Normalmente, estes adesivos possuem um tempo de cura de 3 dias a temperatura ambiente. A Tabela 5 indica o tempo de cura adotado para este teste.

Tabela 5 - Tempo de cura

<i>Hot-melt</i>	Tempo de cura
Sika 9676	4 dias
	1 semana
	2 semanas
Sika 9185	1 semana
	2 semanas

Para cada teste foram utilizados 5 corpos de prova. Após a colagem, foram realizados os ensaios de Lap Shear a 85°C em cada corpo de prova para medir e comparar os resultados com os de tempo de cura de 3 dias. O ensaio mecânico foi realizado à 85°C devido a *hot-melt* apresentar menor resistência a fadiga em temperaturas elevadas.

3.3.4 Análise do tempo de endurecimento

Esta análise permitiu observar se aumentando a temperatura da superfície do substrato, o adesivo bi-componente poderia diminuir seu tempo de endurecimento ou handling time.

Foram sobrepostos 3 substratos do material TRC 411 N (PP) em uma placa metálica que se aquecia em diferentes temperaturas. O primeiro substrato foi submetido a 40°C, o segundo a 60°C e o terceiro a 80°C. Não houve um motivo técnico para escolher estas temperaturas, somente verificar se aumentando a temperatura da superfície do substrato, o tempo de handling time pudesse diminuir.

Esperou-se 10 minutos, antes de colocar a cola bi-componente L922-0 (MMA). Após esta etapa, mediu-se o tempo até que a cola ficasse dura o suficiente para que os corpos de prova pudessem ser manipuláveis.

3.3.5 Testes de Lap Shear a 23°C, -35°C e 85°C

Após realizar os testes precedentes, analisou-se os melhores parâmetros e as melhores maneiras de realizar as colagens com as *hot-melt* e as bi-componentes para finalmente esta etapa ser realizada.

Este item realiza os ensaios de Lap Shear a temperatura ambiente (23°C), -35°C e 85°C que é o ponto mais importante deste trabalho, pois faz parte do objetivo principal.

Os ensaios mecânicos foram feitos na máquina universal de ensaios com velocidade constante de 10 mm/s. Para realizar os ensaios a -35°C e 85°C, utilizou-se uma câmara que era capaz de aquecer e resfriar, localizado ao lado da máquina de ensaios. Os corpos de prova eram colocados nesta câmara, regulando-se a temperatura desejada (-35°C ou 85°C). Após 2 horas dentro da câmara, o corpo de prova era retirado e imediatamente era colocado na máquina de ensaios para realizar o ensaio mecânico.

Para cada configuração, realizou-se 5 corpos de prova para obter um resultado mais confiável. No caso dos adesivos *hot-melt* a -35°C e 85°C, nota-se que não são todos os adesivos disponíveis que são utilizados pois a medida que se realizava os ensaios, verificava-se que alguns adesivos não precisavam ser ensaiados a estas temperaturas.

O Quadro 3 indica os adesivos utilizados para a realização dos ensaios em cada temperatura.

Quadro 3 – Adesivos utilizados para a realização dos ensaios em cada temperatura.

	23°C	-35°C	85°C
Hot-melt	-Sika 9676 (PU) -Sika 9185 (PP) -Swift Lock (PU) -Swift Therm (PP) -Pur-Fect 310 (PU)	-Sika 9676 (PU) -Swift Therm (PP)	-Sika 9676 (PU) -Sika 9185 (PP) -Swift Therm (PP) -Pur-Fect 310 (PU)
Bi-componente	-HB Fuller L922-0 (MMA) -Henkel Teromix 6700 (PU)	-HB Fuller L922-0 (MMA) -Henkel Teromix 6700 (PU)	-HB Fuller L922-0 (MMA) -Henkel Teromix 6700 (PU)

3.4 TESTE ESTATÍSTICO MANN-WHITNEY (U)

O teste estatístico de Mann-Whitney foi utilizado no teste A+B/B+A para comparar dois grupos não pareados para verificar se pertencem ou não à mesma população.

O teste de Mann-Whitney verifica se há evidências para acreditar que valores de um grupo A são superiores aos valores do grupo B. O teste U pode ser considerado a versão não paramétrica do teste t, para amostras independentes. Ao contrário do teste t de Student, que testa a igualdade das médias, o teste de Mann -Whitney (U) testa a igualdade das medianas. Os valores de U calculados pelo teste avaliam o grau de entrelaçamento dos dados dos dois grupos após a ordenação. A maior separação dos dados em conjunto indica que as amostras são distintas, rejeitando-se a hipótese de igualdade das medianas (UFSC, 2014).

A lógica do teste é a mesma do teste t: calcula-se uma certa estatística de teste e obtém-se o p-valor a partir da distribuição amostral dessa estatística sob H_0 . A diferença é que ao invés de construir essa estatística com dados originais, eles são previamente convertidos em postos (ordenações). A vantagem é que, com isso, as suposições de normalidade e homogeneidade das variâncias não são necessárias, permitindo mais generalidade aos resultados. Perceba também que aquele *outlier* (valor muito discrepante) perde sua influência nessa abordagem, sendo apenas o maior valor da amostra. Outra vantagem desse teste é que ele pode ser aplicado em uma variável que seja originalmente ordinal, enquanto que o teste t exige uma escala pelo menos intervalar. Uma desvantagem é que ao substituir os dados originais por postos, “joga-se fora”

alguma informação. Se as condições para o teste t são satisfeitas, ainda assim poder-se-ia usar o teste de Mann-Whitney, mas ele não seria tão poderoso quanto o teste t (UFSC, 2014).

A estatística U , que é a base para a decisão sobre a aceitação ou não da hipótese de nulidade é calculada da seguinte maneira:

- É formado um conjunto W , com todos os dados das duas amostras (A e B);
- O conjunto W é ordenado de forma crescente;
- Anota-se a ordem de cada elemento deste conjunto;
- Separam-se novamente as amostras A e B ;
- O valor de U é a soma das ordens da amostra A .

Quanto mais baixo for o valor de U , maior será a evidência de que as populações são diferentes. Isso se explica porque U é a soma de ordens, portanto seu valor será baixo se na categoria A estiverem os primeiros da ordem (obviamente em B estarão os dados de ordem superior). É claro então que neste caso se evidencia uma diferença entre as populações (UFSC, 2014).

4. RESULTADOS

4.1. ESTUDO DA TENSÃO SUPERFICIAL

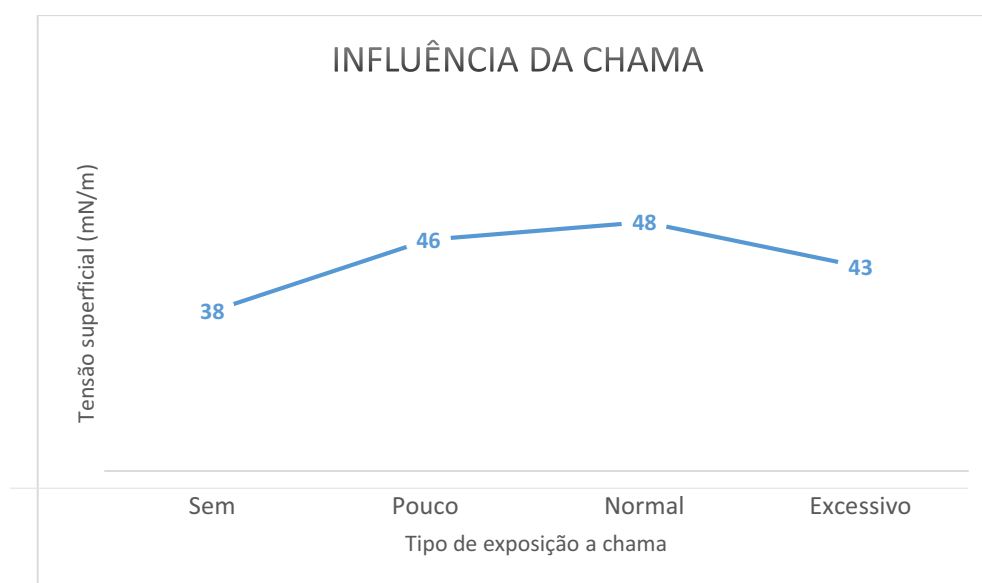
Este estudo permitiu conhecer como o tempo de exposição e a intensidade da chama aplicada podem afetar a tensão superficial dos substratos. A Tabela 6 mostra os valores das tensões superficiais que foram medidas com as canetas de 38, 40, 42, 44, 46, 48 e 50 mN/m, conforme a chama foi aplicada sobre estes substratos.

Tabela 6 - Energia superficial dos substratos tratados (sem, pouco, normal e excessivo)

Sem	Pouco	Normal	Excessivo
<38 mN/m	46mN/m	48mN/m	43mN/m

O gráfico apresentado na Figura 28 mostra a influência da chama nos substratos.

Figura 28 - Influência da exposição a chama na tensão superficial



Fonte : (AUTORA, 2014)

A partir destes resultados foi observado que a maneira como expõe a chama na superfície é muito importante, uma vez que se não houver o tratamento à chama, a tensão superficial é muito baixa (<38 mN/m), porém, se a exposição da chama for excessiva, observa-se um arrefecimento na tensão superficial do substrato (43 mN/m) comparada a exposição

normal (48 mN/m). Portanto, pode-se concluir que há um ponto ótimo onde a flambagem é bem realizada e se passar desse ponto, a tensão superficial começa a diminuir.

Após medir a tensão superficial dos substratos de acordo com o tipo de exposição a chama, realizou-se os ensaios mecânicos de Lap Shear dos corpos de prova. Para cada tipo de exposição a chama, foram ensaiados 4 corpos de prova.

A Tabela 7 apresenta os resultados do ensaio de Lap Shear realizados nos corpos de prova com a cola Sika 9676. Ao longo do projeto, observou-se que este adesivo possuía um melhor desempenho e adesão com os substratos.

Tabela 7 – Resultados dos ensaios de Lap Shear de acordo com a intensidade da flambagem

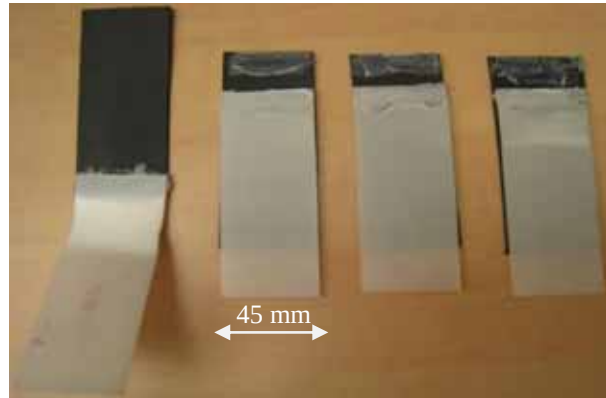
c.d.p	Tensão máxima (MPa)			
	Sem	Pouco	Normal	Excessivo
1	0,45	2,32	2,32	1,38
2	0,45	2,12	2,37	1,95
3	0,22	2,37	2,12	1,88
4	0,38	2,28	2,27	1,83
Média	0,38	2,26	2,27	1,76
σ	0,11	0,11	0,11	0,26

As fotos da Figura 29 mostram a ruptura da cola em cada condição de ensaio:

Figura 29 - Corpos de prova após ensaio de tração (Sem, Pouco, Normal, Excessivo)



a) Sem: Ruptura adesiva



b) Pouco: 1-Deformação do c.d.p; 2 a 4-Ruptura coesiva



c) Normal : Ruptura coesiva



d) Excessivo: Ruptura adesiva

Fonte : (AUTORA, 2014)

Observando as rupturas apresentadas na Figura 29, nota-se que o tratamento superficial por chama é muito necessário. Se não há o tratamento, a ruptura é completamente adesiva pois a superfície não possui energia superficial necessária para ocorrer uma boa adesão entre o adesivo e o substrato.

Entretanto, quando a flambagem foi excessiva, observou-se que na superfície dos substratos formou-se uma fina película oleosa. Esta película impede que a cola seja depositada sobre a superfície do substrato de forma adequada. Dessa maneira, encontra-se uma ruptura adesiva.

A Tabela 8 compara a tensão superficial do substrato com a tensão de ruptura do adesivo em cada caso.

Tabela 8 - Comparação entre a tensão superficial do substrato e a tensão máxima do adesivo

	Tensão superficial (mN/m)	Tensão máxima (MPa)
Sem	<38	0,38
Pouco	46	2,26
Normal	48	2,27
Excessivo	43	1,76

A partir destes resultados observa-se que quanto maior a tensão superficial do substrato, maior será a tensão de ruptura do adesivo. Além disso, quanto menor a tensão superficial, menor a tensão de ruptura. Portanto, pode-se concluir que o tratamento superficial pode influenciar diretamente no desempenho do adesivo, pois se a tensão superficial é maior, a superfície do substrato é mais reativa e assim o adesivo pode possuir ligações químicas ou mecânicas melhores com os substratos.

4.2. TESTE A+B/B+A

Este teste foi realizado com o propósito de avaliar a melhor maneira de confeccionar o conjunto (Substrato 1/ Adesivo/ Substrato 2). Uma vez que o adesivo *hot-melt* precisa ser aquecido, a temperatura da cola pode influenciar a adesão no substrato que for colocado a cola primeiramente. Por exemplo, na configuração A+B, a cola quente é aplicada primeiramente no substrato A. Após 40s, a cola provavelmente estará mais fria, e por causa disso poderá haver uma menor adesão no substrato B ao ser colocado sobre a cola.

Neste item, os adesivos *hot-melts* utilizados foram: Sika 9676 (PU), Sika 9185 (PP), Swift Lock (PU), Swift Therm (PP) e Pur-Fect 310 (PU). Para cada adesivo, foram realizados 5 corpos de prova e todos foram submetidos ao tratamento superficial de flambagem.

A Tabela 9 apresenta os resultados do ensaio de Lap Shear realizados nos corpos de prova como os adesivos citados anteriormente.

Tabela 9 - Resultados dos ensaios mecânico de Lap Shear do teste A+B/B+A

c.d.p	Tensão Máxima (MPa)							
	Sika 9676 (PU)		Sika 9185 (PP)		Swift Lock (PU)		Swift Therm (PP)	
	A+B	B+A	A+B	B+A	A+B	B+A	A+B	B+A
1	1,77	1,76	1,54	1,43	0,76	1,05	1,26	1,14
2	1,71	1,44	1,46	1,38	0,82	0,98	1,09	0,89
3	1,63	1,65	1,43	1,38	0,94	1,08	1,38	0,78
4	1,82	1,59	1,59	1,25	0,72	0,92	0,83	0,65
5	1,69	1,62	1,57	1,39	0,75	0,89	1,02	0,98

Utilizando o teste estatístico de Mann-Whitney, é possível verificar se os conjuntos A+B e B+A possuem alguma diferença significativa e assim observar se alguma configuração é melhor que a outra.

Durante este teste estatístico utilizou-se os resultados da Sika 9676. Primeiramente os valores da resistência máxima foram disponibilizados em ordem crescente como está mostrado na Tabela 10:

Tabela 10 - Valores da tensão máxima da Sika 9676 em ordem crescente

A+B	B+A
1,63	1,44
1,69	1,59
1,71	1,62
1,77	1,65
1,82	1,76

A Tabela 11 mostra os valores em ordem crescente independente do fato de qual população provém.

Tabela 11 - Valores da tensão máxima da Sika 9676 em ordem crescente independentemente da população

Ranking	A+B	B+A
1		1,44
2		1,59
3		1,62
4	1,63	
5		1,65
6	1,69	
7	1,71	
8		1,76
9	1,77	
10	1,82	

$$T(A+B) = 4+6+7+9+10 = 36$$

$$T(B+A) = 1+2+3+5+8 = 19$$

$$n = \min(n(A+B), n(B+A)) = \min(5, 5) = 5$$

$$U(A+B) = n_{(A+B)} \cdot n_{(B+A)} + (n_{(A+B)} \cdot (n_{(A+B)} + 1)) / 2 - T(A+B) = 5 \cdot 5 + (5(5+1)) / 2 - 36 = 4$$

$$U(B+A) = n_{(A+B)} \cdot n_{(B+A)} + (n_{(B+A)} \cdot (n_{(B+A)} + 1)) / 2 - T(B+A) = 5 \cdot 5 + (5(5+1)) / 2 - 19 = 21$$

$$U_o = \min(U(A+B), U(B+A)) = 4$$

Utilizando a tabela de U de Mann-Whitney que está no anexo A e sabendo que:

$\alpha = 5\%$ onde, α é o nível de significância

$N_1 = 5$ $N_2 = 5$, sendo N a quantidade de corpos de prova

Encontra-se:

$$U_{tab} = 2$$

H_0 : Não há diferença significativa entre as médias das duas populações.

H_1 : As amostras vêm de duas populações diferentes.

Se $U_o < U_{table}$ Rejeita H_0

Se $U_o > U_{table}$ Aceita H_0

Portanto,

$$U_o > U_{table}$$

Não há diferença significativa entre as configurações A+B e B+A em um intervalo de confiança de 95%, portanto, ambas as configurações são semelhantes entre si, ou seja, pouco importa qual substrato será primeiramente colocado a cola *hot-melt*.

Fazendo o teste Mann-Whitney analogamente para os adesivos Swift Therm, Swift Lock e Sika 9185, obtém-se o mesmo resultado estatístico da cola Sika 9676. Dessa forma, pode-se concluir que tanto a configuração A+B quanto a configuração B+A são semelhantes entre si e pouco importa a maneira de como os substratos serão colados.

4.3 TESTE CT/ST

4.3.1 *Hot-melt*

Esse teste foi realizado com o propósito de analisar se para colas *hot-melt* utilizando como base o PP seu desempenho seria melhor com tratamento ou se não haveria diferença aparente em relação a adesão da cola sem o tratamento nos substratos.

A Tabela 12 apresenta os resultados do ensaio Lap Shear realizados nos corpos de prova com a cola Sika 9185. Foi utilizado este adesivo devido a sua melhor performance em relação a outra *hot-melt* de PP (Swift Therm).

Tabela 12 - Resultados dos ensaios Lap Shear da Sika 9185

c.d.p	Tensão máxima (MPa)	
	CT	ST
1	1,54	1,26
2	1,46	1,10
3	1,43	1,49
4	1,59	1,09
5	1,57	0,95
Média	1,52	1,18
σ	0,07	0,21

CT: Com tratamento superficial

ST: Sem tratamento superficial

As fotos apresentadas na Figura 30 mostram a ruptura da cola em cada condição:

Figura 30 - Após ensaio de Lap Shear Sika 9185 (PP)



a) CT: Ruptura coesiva



b) ST: Ruptura adesiva

Fonte : (AUTORA, 2014)

A partir destes resultados foi observado que os corpos de prova com tratamento apresentaram resultados melhores quando comparados aos que não foram tratados. Ainda, a partir da Figura 30, observou-se que há ruptura adesiva nos corpos de prova sem tratamento, ou seja a adesão da cola no substrato sem tratamento foi baixa e faltou um tratamento superficial para aumentar a tensão superficial do substrato e assim melhorar sua adesão. Dessa maneira, pode-se dizer que há um melhor desempenho na adesão da cola e na resistência quando há tratamento superficial nos substratos. Observou-se também o valor do desvio padrão das amostras sem tratamento é mais elevado que o desvio padrão com tratamento.

4.3.2 Bi-componente

Esse teste foi realizado com o propósito de analisar se para colas bi-componentes a base de MMA (metil metacrilato) o desempenho da cola seria melhor com tratamento ou se não haveria diferença aparente em relação a adesão da cola sem o tratamento nos substratos.

A Tabela 13 mostra os resultados do ensaio de Lap Shear realizados nos corpos de prova com a cola L922-0 da HB Fuller.

Tabela 13 - Resultados do ensaio de tração da L922-0 (MMA) a temperatura ambiente.

c.d.p	Tensão máxima (MPa)	
	CT	ST
1	2,59	1,65
2	2,48	1,50
3	2,54	1,78
4	2,75	1,69
5	2,78	1,16
Média	2,63	1,56
σ	0,13	0,24

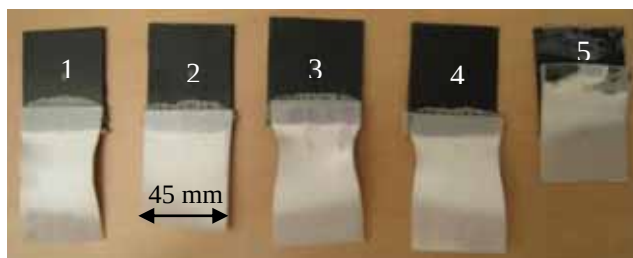
CT: Com tratamento superficial

ST: Sem tratamento superficial

A partir dos resultados encontrados, observa-se que o desempenho do adesivo aumentou consideravelmente quando há o tratamento superficial (aumento de 69% em relação ao sem tratamento). O desvio padrão apresentado é menor quando comparado ao sem tratamento, isso mostra que realizando a flambagem, há menos dispersão dos resultados. Portanto, para melhorar o desempenho dessa cola é preciso fazer um tratamento superficial antes de realizar a colagem.

A Figura 31 mostra a ruptura da cola bi-componente L922-0 da HB Fuller a base de MMA.

Figura 31 - Corpos de prova após ensaio de tração L922-0 (MMA)



a) CT: 1 a 4 – Deformação do c.d.p 5 – Ruptura do c.d.p



b) ST: Ruptura adesiva

Fonte : (AUTORA, 2014)

Observa-se que os corpos de prova que não foram submetidos a um tratamento tiveram ruptura adesiva e por isso um desempenho inferior. Já para aqueles corpos de prova que sofreram o tratamento superficial a resistência do adesivo foi tão elevada, que não ocorreu ruptura da cola e sim do corpo de prova ou sua deformação.

4.4 ANÁLISE DO TEMPO DE ENDURECIMENTO

A bi-componente L922-0 da HB Fuller à base de MMA possui uma resistência máxima muito elevada como pode ser observado a partir do experimento anterior. No entanto, o seu tempo de manuseio é muito elevado. Para a peça ser manipulável, é preciso esperar 1 hora. Entretanto, em uma indústria automobilística, este tempo de espera muitas vezes é considerado muito elevado e oneroso. Este teste propõe colocar os substratos em placas aquecidas e verificar se o tempo de manuseio (handling time) diminui quando a superfície do substrato apresenta temperatura mais elevada.

A Tabela 14 apresenta os resultados do tempo de manuseio.

Tabela 14 - Tempo de manuseio (handling time)

	Substrato 1	Substrato 2	Substrato 3
T(°C)	40	60	80
T real (°C)	42	58	79
Tsuperfície dos substratos (°C)	30	42	56
t (aquecimento dos substratos)	10s	10s	10s
t(espera para a peça ser manipulável)	Mais que 20 min	20 min	20 min

Visualmente a 40°C, o tempo de cura da cola é muito lento para ser aplicado em uma indústria automobilística. A 60°C e a 80°C, a cura da cola ocorre de forma mais rápida que a 40°C. Para as temperaturas a 60°C e 80°C, não se encontra muita diferença entre estas em relação ao comportamento da cola. Desta forma, deixar o substrato aquecer até 60°C já é suficiente para a cola curar com velocidade satisfatória para uma aplicação automobilística. Portanto, se os substratos são aquecidos, o tempo de manuseio é mais rápido que a temperatura ambiente. No entanto, mesmo aquecendo os substratos, são necessários 20 minutos para o conjunto ser manipulável e este tempo é ainda muito longo.

Como este adesivo ainda está em desenvolvimento, foi reportado esses resultados ao fornecedor da cola (HB Fuller), explicando que seria melhor um adesivo com um tempo de manuseio menor. Após isso, o fornecedor apresentou o adesivo L922-0 com uma nova formulação onde o tempo de manuseio, a temperatura ambiente, diminuiu para 15 minutos.

4.5 ENSAIO DE LAP SHEAR A 23°C (TEMPERATURA AMBIENTE)

Após realizar os testes anteriores para se determinar o processamento mais adequado para a colagem realizou-se o ensaio de Lap Shear a temperatura ambiente.

Neste item, os adesivos utilizados foram: Sika 9676 (PU), Sika 9185 (PP), Swift Lock (PU), Swift Therm (PP), e Pur-Fect 310 (PU), L922-0 da HB Fuller (MMA) e Teromix 6700 da Henkel (PU).

A Tabela 15 e 16 mostram os resultados do ensaio de Lap Shear realizado nos corpos de prova como definido anteriormente.

Tabela 15 - Resultados do ensaio de Lap Shear a 23°C (*hot-melt*)

	Tensão máxima (MPa)				
	<i>Hot-melt</i>				
c.d.p	Pur-Fect 310 (PU)	Sika 9676 (PU)	Swift Lock (PU)	Sika 9185 (PP)	Swift Therm (PP)
1	2,02	2,38	1,05	1,90	0,98
2	1,97	2,42	0,98	2,02	1,07
3	1,96	2,29	1,08	1,90	0,88
4	2,05	2,23	0,92	1,81	0,89
5	2,07	2,57	0,89	1,78	1,05
Média	2,02	2,38	0,98	1,88	0,97
σ	0,05	0,13	0,08	0,09	0,09

Tabela 16 - Resultados do ensaio de Lap Shear a 23°C (bi-componente e soldagem por vibração)

	Tensão máxima (MPa)		
	Bi-componente		Soldagem por vibração
c.d.p	L922-0 (MMA)	Teromix 6700 (PU)	
1	2,31	2,24	2,71
2	2,41	2,50	1,91
3	2,33	2,49	2,76
4	2,19	2,47	2,93
5	2,38	2,31	1,28*
Média	2,32	2,40	2,58
σ	0,08	0,12	0,45

*Valor não retido nos cálculos da média e desvio-padrão por discrepância.

A partir deste ensaio, foi observado que a cola *hot-melt* com o maior desempenho foi a Sika 9676. O adesivo Pur-Fect 310 também teve um desempenho elevado, porém, menor que a Sika 9676. Por outro lado, o desvio padrão foi menor.

As colas *hot-melts* a base de PP tiveram um desempenho menor que as colas a base de PU. Além disso, o teste CT/ST concluiu que os adesivos *hot-melt* a base de PP precisam de tratamento superficial e são mais caras. Dessa maneira o adesivo a base de PU possui maior vantagem que os adesivos a base de PP. Os adesivos Swift Lock e Swift Therm obtiveram baixos resultados de tensão máxima, e isso pode ter ocorrido devido ao tratamento superficial inadequado.

A partir da Tabela 6 nota-se que tanto as *hot-melt* a base de PU quanto as bi-componentes apresentam resultados próximos ao da soldagem por vibração. Isso mostra que a temperatura ambiente, os adesivos são capazes de substituir o processo de soldagem por vibração.

Além disso, os adesivos possuem uma grande vantagem em relação a solda. Nota-se que o desvio-padrão da solda é muito elevado em relação aos adesivos. Dessa maneira, os adesivos possuem resultados mais homogêneos e confiáveis.

O adesivo L9225-0 da HB Fuller está em desenvolvimento e neste ensaio mecânico, ao realizar a colagem foi utilizada uma nova formulação onde seu tempo de manuseio era apenas de 15 min ao invés de 1 hora. Esta nova formulação somente diminuiu o seu tempo de manuseio pois o seu desempenho foi praticamente o mesmo.

A Figura 32 mostra a ruptura das colas *hot-melt*:

Figura 32 - Amostras após ensaio de Lap Shear a 23°C



a) Sika 9676 (PU): Ruptura coesiva



b) Swift Lock (PU): Ruptura mista



c) Pur-Fect 310 (PU): Ruptura coesiva



d) Sika 9185 (PP): Ruptura coesiva



e) Swift Therm (PP): Ruptura adesiva

Fonte : (AUTORA, 2014)

A partir destes resultados pode ser observado que os adesivos Swift Them e Swift Lock apresentaram baixo desempenho pois o tratamento superficial não foi o mais adequado já que a ruptura dessas colas foi mista e adesiva respectivamente. Já as colas Sika 9676, Sika 9185 e Pur-Fect 310 tiveram ruptura coesiva pois receberam um bom tratamento superficial e assim obtiveram melhores resultados.

A Figura 33 mostra a ruptura das colas bi-componentes a 23°C.

Figura 33 - Amostras após ensaio de Lap Shear das colas bi-componentes a 23°C



a) L922-0 (MMA): Deformação do c.d.p



b) Teromix 6700 (PU): Deformação do c.d.p

Fonte : (AUTORA, 2014)

As colas bi-componentes realmente mostraram um desempenho muito maior que as *hot-melts* como mostra a Figura 33. Todos os substratos sofreram tratamento superficial e, por isso, não houve ruptura adesiva. De fato, não ocorreu ruptura coesiva, mas sim uma deformação do c.d.p, deste modo, estes adesivos mostram que sua coesão e adesão são mais resistentes que o próprio substrato (PP).

A Figura 34 mostra a ruptura das soldas por vibração a 23°C.

Figura 34 - Corpos de prova da soldagem por vibração ensaiados por Lap Shear a 23°C



Fonte : (AUTORA, 2014)

Como esperado na soldagem, não houve ruptura coesiva, normalmente a ruptura é adesiva. Por este motivo, os adesivos podem apresentar maior resistência que as soldas, principalmente se houver uma boa adesão da cola e o substrato, e o próprio adesivo ter uma forte coesão.

4.6. ENSAIO DE LAP SHEAR A -35°C

Este teste foi realizado com o intuito de simular uma condição real de utilização do airbag, uma vez que a norma para ensaios deste dispositivo exige tal ensaios a -35°C.

Durante este teste, os adesivos utilizados foram: Sika 9676 (PU), Swift Therm (PP), L922-0 da HB Fuller (MMA) e Teromix 6700 da Henkel (PU). Escolheu-se o adesivo Sika 9676 pois apresentou melhor desempenho entre as *hot-melts* e utilizou-se a Swift Therm para verificar se a tensão máxima a -35°C pode ser melhor que a 23°C. Para cada cola, foram ensaiados 5 corpos de prova. Para a cola L922-0, os substratos não foram tratados

superficialmente. Já os substratos dos demais adesivos sofreram tratamento superficial a flambagem.

A Tabela 17 mostra os resultados do ensaio de Lap Shear realizados nos corpos de prova com as colas citadas.

Tabela 17 - Resultados do ensaio de Lap Shear a -35°C

c.d.p	Tensão máxima (MPa)			
	Hot-melt		Bi-componente	
	Sika 9676 (PU)	Swift Therm (PP)	L922-0 ST (MMA)	Teromix 6700 (PU)
1	3,34	-	2,44	2,80
2	3,99	0,35	-	3,25
3	2,30	0,27	2,76	2,89
4	3,69	0,29	2,51	3,08
5	3,62	0,44	2,58	3,29
Média	3,66	0,34	2,57	3,06
σ	0,27	0,08	0,14	0,21

ST: Sem tratamento superficial

Observa-se a partir deste ensaio que ambas colas bi-componentes possuem tensão máxima muito elevada assim como o adesivo *hot-melt* Sika 9676, ou seja, tanto as *hot-melt* quanto as bi-componentes possuem um desempenho elevado a -35°C. O adesivo L922-0 a base de MMA, mesmo não sofrendo tratamento superficial, apresentou excelentes resultados, mas que poderiam ser melhores se tivessem apresentado o tratamento.

O adesivo Swift Therm obteve resultados muito inferiores em relação aos outros adesivos devido ao tratamento superficial não ter sido adequado.

O desempenho das colas em geral foi muito bom e em virtude destes resultados, não houve a necessidade de fazer o ensaio com os corpos de prova soldados por vibração.

A Figura 35 mostra a ruptura das colas *hot-melt*:

Figura 35 - Amostras após ensaio de Lap Shear das colas hot-melt a -35°C



a) Sika 9676: 1 e 2- Deformação do c.d.p; 3- Ruptura adesiva; 4 e 5- Ruptura do c.d.p



b) SwiftTherm: Ruptura adesiva

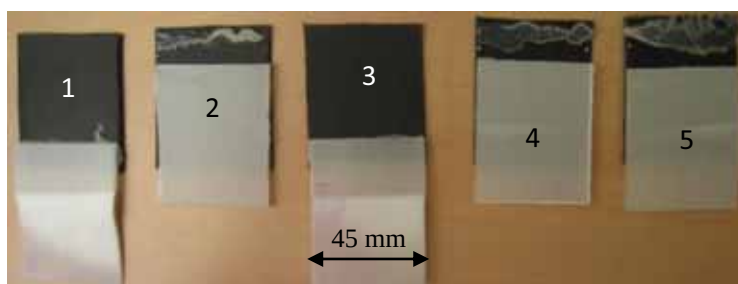
Fonte : (AUTORA, 2014)

Durante este teste, nota-se que a -35°C o desempenho da cola Sika 9676 é tão alta que ultrapassa a resistência máxima do substrato de PP, pois houve deformação e a ruptura do c.d.p, ou seja, a adesão e a coesão da cola é melhor que a resistência máxima do substrato. Observa-se que o c.d.p 3 teve uma ruptura adesiva e o seu desempenho foi pior por causa do tratamento superficial inadequado deste material.

Já para amostras Swift Therm, mesmo tratando adequadamente as superfícies dos substratos, obteve-se ruptura adesiva e resistência máxima muito baixa em relação a Sika 9676.

A Figura 36 mostra a ruptura das colas bi-componentes:

Figura 36 - Corpos de prova após ensaio de Lap Shear das colas bi-componentes a -35°C



a) L922-0 (MMA): 1,3 – Deformação do c.d.p 2,4 e 5 – Ruptura adesiva



b) Teromix 6700 (PU): Deformação do c.d.p

Fonte : (AUTORA, 2014)

Como os substratos do adesivo L922-0 a base de MMA não tiveram o tratamento a flambagem, alguns corpos de prova apresentaram ruptura adesiva, mas seus valores estão bem próximos aos corpos de prova que sofreram deformação do c.d.p., ou seja, a -35°C, os substratos não precisam ser submetidos ao tratamento.

Já os substratos do Teromix 6700 sofreram tratamento superficial e, por isso, não houve ruptura adesiva.

4.7. ENSAIO DE LAP SHEAR A 85°C

Este teste foi realizado com o intuito de atender a norma de ensaio do airbag estipulada pela indústria automobilística, visando realizar a simulação deste carregamento a 85°C.

Neste estudo, os adesivos utilizados foram: Sika 9676 (PU), Sika 9185 (PP), Swift Therm (PP), Pur-Fect 310 (PU), L922-0 da HB Fuller (MMA) e Teromix 6700 da Henkel (PU). Não utilizou-se o adesivo Swift Lock devido ao seu baixo desempenho no ensaio a 23°C.

Foram realizados 5 corpos de prova para cada adesivo e para a soldagem por vibração. O último corpo de prova (c.d.p 5) foi resfriado em temperatura ambiente por 5 minutos para as *hot-melts* e 2 minutos para as bi-componentes e para a solda por vibração. Isso foi realizado em virtude da simulação do airbag. Ao remover o painel do forno, o conjunto todo fica resfriando por cerca de 5 minutos antes de realizar a simulação.

A Tabela 18 e 19 mostram os resultados do teste Lap Shear realizados nos corpos de prova com as colas anteriormente citadas.

Tabela 18 - Resultados do teste Lap Shear a 85°C (*hot-melt*)

	Tensão Máxima (MPa)			
	<i>Hot-melt</i>			
c.d.p	Sika 9676 (PU)	Pur-Fect 310 (PU)	Sika 9185 (PP)	Swift Therm (PP)
1	-	0,29	-	-
2	0,07	0,31	0,16	0,06
3	0,03	0,25	0,11	0,07
4	0,11	0,20	0,17	0,09
5	0,88*	0,68*	0,64*	0,17*
Média	0,06	0,26	0,15	0,07
σ	0,05	0,05	0,03	0,02

*Resfriamento do c.d.p por 5 min: Valor não retido nos cálculos da média e desvio-padrão

Tabela 19 -Resultados do teste Lap Shear a 85°C (bi-componente e soldagem por vibração)

c.d.p	Tensão Máxima (MPa)		Soldagem por vibração
	Bi-componente		
	L922-0 (MMA)	Teromix 6700 (PU)	
1	0,89	0,70	-
2	0,96	0,44	0,27
3	0,85	0,66	0,36
4	0,99	0,66	0,49
5	1,84**	1,59**	0,67**
Média	0,92	0,62	0,37
σ	0,07	0,12	0,11

** Resfriamento do c.d.p por 2 min: Valor não retido nos cálculos da média e desvio-padrão

Nota-se que o desempenho das colas a 85°C é muito baixo comparado a 23°C e a -35°C. Deixando a amostra resfriar por 5 min a resistência da cola *hot-melt* aumenta, porém, este aumento ainda é muito baixo. Infelizmente, as colas *hot-melt* amolecem em altas temperaturas e, devido a este comportamento, não será possível utilizá-las nesta aplicação.

A tensão máxima das colas bi-componentes a 85°C são maiores do que das colas *hot-melt*. Desta forma, pode-se considerar uma melhor opção para serem utilizadas no airbag dos automóveis. Além do mais, deixando o c.d.p. resfriar por 2 minutos, nota-se um aumento elevado da tensão máxima destes adesivos.

Os resultados obtidos para a soldagem por vibração não condizem com a realidade pois com as tensões máximas apresentadas na Tabela 17, o airbag jamais poderia ser acionado. O teste Lap Shear realizado neste trabalho possui área de superfície muito pequena (450 mm²). Como pode ser observado na Figura 37, os corpos de prova possuem dentes e nestes dentes ficam as soldas, como a área é muito pequena, só foi avaliado um dente ao invés de um conjunto todo de dentes, onde provavelmente a resistência máxima seria maior. Um ensaio mais coerente poderia ser obtido se fosse utilizada a área de superfície maior.

Por outro lado, se os resultados estão corretos, pode-se dizer que as colas em relação a soldagem por vibração não são ruins, pois os resultados estão bem próximos, mesmo para as *hot-melt*.

A Figura 37 mostra a ruptura das soldas por vibração a 85°C.

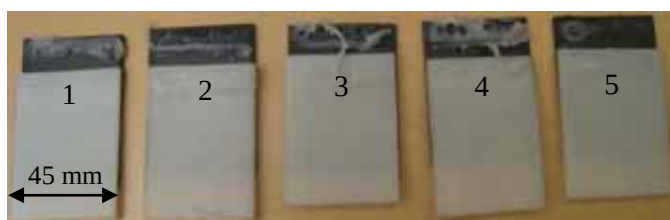
Figura 37 - Corpos de prova da soldagem por vibração ensaiados por Lap Shear a 85°C



Fonte : (AUTORA, 2014)

A Figura 38 mostra a ruptura das colas *hot-melt* a 85°C:

Figura 38 - Corpos de prova da *hot-melt* após ensaio de Shear a 85°C



a) Sika 9676: 1 e 5 – Ruptura adesiva 2 e 3 – Ruptura coesiva 4 - Ruptura mista



b) Sika 9185 – Ruptura coesiva



c) Pur-Fect 310 – Ruptura coesiva



d) Swift Therm – Ruptura adesiva

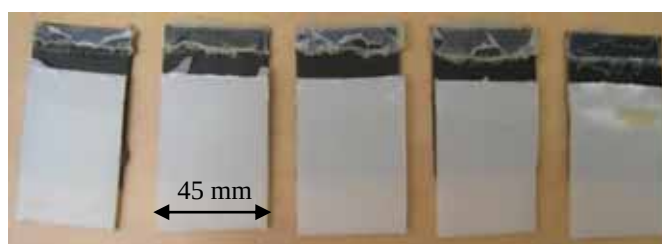
Fonte : (AUTORA, 2014)

Observa-se que a cola Swift Therm, mais uma vez mostrou ruptura adesiva, mesmo realizando o tratamento à chama, que por sua vez pode ter sido realizada de forma inadequada e por isso, resultou em um desempenho menor quando se comparado a outras colas.

Já as colas Sika 9676, Sika 9185 e Pur-Fect 310, mesmo apresentando ruptura coesiva, resultaram em uma resistência muito baixa, pois a 85°C o adesivo amolece.

A Figura 39 mostra a ruptura das colas bi-componentes a 85°C:

Figura 39 - Após ensaio de Lap Shear das colas bi-componentes a 85°C



a) L922-0 (MMA): Ruptura adesiva



b) Teromix 6700 (PU): 1 a 4 - Ruptura adesiva 5-Deformação do c.d.p.

Fonte : (AUTORA, 2014)

A partir dos resultados ilustrados na Figura 39, o adesivo L922-0 sofreu ruptura adesiva, e isso ocorreu provavelmente devido a este não ter sido submetido a um tratamento superficial adequado. Entretanto, o desempenho deste adesivo foi maior que o promovido pelo Teromix 6700. Já o Teromix 6700 sofreu ruptura adesiva, porém, o último c.d.p. sofreu uma deformação, ao invés do adesivo romper. Isso aconteceu devido ao tratamento a chama realizado no c.d.p. com o adesivo Teromix 6700. Quando há deformação do c.d.p. significa que a cola possui maior resistência do que o substrato, ou seja, 1,59 MPa (Tabela 19) já bastam para esta aplicação, pois a 85°C, o substrato também amolece e fica menos resistente.

4.8. INFLUÊNCIA DO TEMPO DE CURA

Como foi observado no teste Lap Shear a 85°C, o desempenho dos adesivos *hot-melt* foi muito baixo. Para verificar se este desempenho pode ser melhorado, fez-se o estudo do aumento de tempo de cura da cola.

No entanto, deve-se tomar cuidado para que este aumento de tempo não exceda 3 dias, pois neste caso o processo torna-se muito oneroso para a indústria automobilística.

Para este estudo, os adesivos utilizados foram: Sika 9676 (PU) e Sika 9185 (PP) porque apresentaram melhores desempenhos entre as *hot-melts* no ensaio a 85°C. Para cada cola, foram ensaiados 5 corpos-de prova. O quinto corpo de prova (c.d.p 5) foi deixado resfriar por 5 minutos, pelo mesmo motivo abordado anteriormente.

A Tabela 20 apresenta os resultados do ensaio de tração realizados nos corpos de prova com as colas apresentadas anteriormente. A superfície da área colada foi de 450 mm².

Tabela 20 - Resultados do ensaio Lap Shear com as colas *hot-melt* a 85°C com maior tempo de cura

c.d.p	Tensão máxima (MPa)				
	Sika 9676 (PU)			Sika 9185 (PP)	
	96h	1 semana	2 semanas	1 semana	2 semanas
1	0,19	0,47	0,32	-	0,30
2	0,36	0,43	0,46	0,16	0,34
3	0,28	0,39	0,51	0,11	0,35
4	0,33	0,45	0,51	0,17	0,33
5	0,88*	1,08*	1,30*	0,64*	0,46*
Média	0,29	0,43	0,45	0,15	0,33
σ	0,08	0,03	0,09	0,03	0,02

*Resfriamento do c.d.p por 5 min: Valor não retido nos cálculos da média e desvio-padrão

A partir dos resultados encontrados, observa-se um aumento na tensão máxima das colas quando o tempo de cura é maior. Na Sika 9676, observa-se um aumento mais acentuado quando o tempo de cura é de 1 semana (48% em relação a 96h). Quando o tempo de cura é igual a 2 semanas, observa-se um aumento, porém, este não é muito relevante (4% quando comparado a

1 semana). Provavelmente, se aumentar mais o tempo de cura, a tensão máxima da cola não passará de 0,55MPa.

Na Sika 9185, houve um aumento do valor da tensão quando o tempo de cura foi aumentado, mas mesmo esperando a cola reticular por 2 semanas, a resistência desta foi muito pequena.

Portanto, mesmo aumentando consideravelmente o tempo de cura, a resistência das colas *hot-melt* a 85°C é muito baixa, não sendo apropriada para aplicação em air bag.

A Figura 40 apresenta a ruptura das colas *hot-melt*:

Figura 40 - Amostra após ensaio Lap Shear a 85°C com o adesivo Sika 9676 (PU)



a) Reticulação: 96h – Ruptura adesiva



b) Reticulação: 1 semana - Ruptura adesiva



c) Reticulação: 2 semanas - Ruptura adesiva

Fonte : (AUTORA, 2014)

A cola Sika 9676 indicou ruptura adesiva pois não houve um tratamento superficial adequado e mesmo aumentando o tempo de cura para 85°C, a cola *hot-melt* amolece, diminuindo sua adesão e, conseqüentemente, seu desempenho.

Figura 41 - Corpos de prova após ensaio de Lap Shear a 85°C com o adesivo Sika 9185 (PP)



a) Reticulação: 1 semana - Ruptura coesiva



b) Reticulação: 2 semanas - Ruptura mista

Fonte : (AUTORA, 2014)

A cola Sika 9185 indicou ruptura mista e coesiva e mesmo com aumento do tempo de cura, a tensão máxima da cola foi baixa, pois a 85°C ela amolece.

5. CONCLUSÕES

O tratamento superficial é um dos passos mais importantes para poder adquirir uma melhor adesão entre a cola e o substrato. Neste trabalho utilizou-se a flambagem e notou-se que este tipo de tratamento se não for realizado devidamente, pode prejudicar a superfície do substrato e piorar a adesão.

Em se tratando das colas *hot-melts*, notou-se que não há diferença significativa ao colocar a cola quente em um substrato primeiro ou no outro. É preciso realizar o tratamento superficial nos substratos para ter melhor adesão entre o adesivo e a cola e também para diminuir o desvio padrão dos resultados, ou seja, para haver menos discrepância nestes. Nos testes de Lap Shear, a *hot-melt* adquiriu bons resultados a -35°C e a 23°C , principalmente os adesivos a base de PU. No entanto, ao realizar o teste Lap Shear a 85°C , todos os adesivos *hot-melts* ensaiados mostraram um desempenho abaixo do esperado. Isso ocorreu devido ao amolecimento das colas a 85°C . Mesmo, aumentando o tempo de cura dos adesivos para 2 semanas (normalmente é 48h), o desempenho aumentou mas não o suficiente para poder ser aplicado no airbag.

Por causa desse fato, o interesse pelas bi-componentes ficou ainda maior apesar de seu preço ser mais elevado. Nas *hot-melts*, o tratamento superficial torna-se necessário de modo a garantir a limpeza das amostras e uma menor discrepância nos resultados, além de aumentar um pouco a tensão máxima destes adesivos. Nos ensaios Lap Shear a 23°C e -35°C , os resultados foram excelentes e até melhores do que o esperado, além disso, não houve na maior parte dos corpos de prova, ruptura adesiva nem coesiva, houve deformação ou ruptura do substrato. Isso mostra que os adesivos bi-componentes apresentam maior resistência do que os substratos. A 85°C , o desempenho destes adesivos foi muito melhor que as *hot-melts*. Isso mostra que para a aplicação do airbag, deve-se privilegiar as colas bi-componentes e investigar outros tipos como a de silicone e epóxi. Os adesivos utilizados de PU e MMA possuem um preço muito elevado e o handling time do MMA ainda é muito superior do que se espera em uma indústria automobilística (15min).

Comparando os resultados obtidos dos ensaios de Lap Shear a 23°C das colas, com a soldagem por vibração, notou-se que as resistências máximas estão bem próximas e os adesivos bi-componentes apresentam uma vantagem, pois seus resultados são mais homogêneos (desvio padrão menor). Não foi feito o teste de Lap Shear das soldas por vibração a -35°C pois o resultado dos adesivos foi excelente não havendo necessidade de se comparar com a soldagem.

A 85°C, os resultados da soldagem por vibração não condiziam com a realidade pois eram valores muito baixos, onde em uma simulação de airbag, a solda jamais aguentaria. Por esse motivo, é preciso mudar e melhorar os resultados da soldagem por vibração para obter resultados mais confiáveis.

REFERÊNCIAS

ADAMS, R. D.; WAKE, W. C. **Adhesive Joints in Engineering**, 1984.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 907 – 89**. Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9239: Adesivos-Terminologia**. Rio de Janeiro, 2011.

BATALHA C.; LÚCIO, P.; REIS, P.; SOARES, H.; SILVA, F.; SARILHO, J. **Adesivos estruturais: Que adesivos se utilizam nos aviões e qual a sua função?** Universidade do Porto – Faculdade de Engenharia (FEUP), Porto, 2010.

BIKERMAN, J. J. **The Science of Adhesive Joints**. Academic Press. New York, 1961.

BLOG ADESIVO INDUSTRIAL. Disponível em: <<http://www.blogadesivoindustrial.com.br/posts/47/>>. Acesso em: 23 jan. 2015.

BRANDÃO, A.; OLIVEIRA, C.; BELEZA, F.; PINTO, J.; COUTO, J.; MENDES, R.; CORREIA, V. **Adesivos em automóveis: Que adesivos se utilizam em automóveis e qual sua função?** Universidade do Porto – Faculdade de Engenharia (FEUP), Porto, 2010.

BRANSON ULTRASONICS CORPORATION. Manual de instruções sistema de soldagem por vibração série de modelos 2700/2800. Disponível em: <<http://www.emersonindustrial.com/pt-BR/branson/Products/plastic-joining/vibration-welders>>. Acesso em: 18 mai. 2014.

CAMPIGAZ. Disponível em : <<http://www.campingaz.com/FR/p-22969-soudogaz174-x-2000.aspx>>. Acesso em: 09 jan. 2014.

CASTRO, M. C. C. **Desenvolvimento de um dispositivo experimental para medir a resistência ao impacto de ligações adesivas**. 2014. Tese (mestrado) – Universidade do Porto – Faculdade de Engenharia (FEUP), Porto, 2014.

CERESENA RESEARCH. **Market Study: Adhesives Vol. 1.** Technologiezentrum, Konstanz, 2011.

COSTA, W. **Comportamento das forças de adesão do adesivo selante de silicone e do mastic butílico sob o efeito da radiação ionizante.** Tese (doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, São Paulo, 2012.

COUTINHO, M. **Avaliação da adaptação à dentina de alguns agentes de proteção com ou sem sistema restaurados adesivos, em função em diferentes tratamentos da superfície dentinária,** 2000. Tese (doutorado) – Faculdade de Odontologia de Bauru, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

COUVRAT, P. **Le collage structural moderne : théorie et pratique.** Paris: Tec & Doc-Lavoisier, 1992.

CRAWFORD, R. J. **Plastics engineering.** Oxford: Butterworth-Heinemann, 1998.

DERJAGUIN, B.V.; SMILGA, V. **Eletronic theory of adhesion, in adhesion, Fundamental and Practice.** London: McLaren and Son, 1969.

DERYAGUIN, B. V. **Research,** 70 and 363. 1955

DUPRÉ, A. M. **Theorie Mechanique de la Chaleur.** Paris : Gauthier-Villars, 1869.

École nationale supérieure de chimie de Clermont-Ferrand (ENSCCF). Disponível em: <http://spiral.univ-lyon1.fr/ensccf/files_m/M90/WEB/Silicones/fl_prop_hydro_mouillage.html>. Acesso em: 21 abr. 2014.

ESTEVES, J. L. S. **Estudo do comportamento de adesivos estruturais.** 1990 Tese (mestrado) – Universidade do Porto, Porto, 1990.

FAUNER, G.; ENDLICH, W. **Manuel de techniques de collage.** Paris: Soproge SA, 1984.

FLEISHMANN, W. ; GARNICH, F. ; LENNOX, A. ; MAYER, W.; COCCO, J.; FORGACH, A. D.; HEATON, J. J.; McNICKLE, J. A.; NOLAN, D. A.; O'REILLY, C.; PERKINS, J. G. **Loctite worldwide design handbook**. Connecticut: Rock Hill: Loctite North America, 1997.

FORCH, R; SCHONHERR, H; JENKINS, A. T. A. **Surface design: applications in bioscience and nanotechnology**, Wiley VCH, 2009.

GARBASSI, F.; OCHIELLO; POLLATO, F. **Surface effects of flame treatments on polypropylene**. Journal of Material Science, 1987.

HOUWINK, R.; SALOMON, G. **Adhesion and adhesives**. Vol.1 and 2. Amsterdã: Elsevier, 1965.

KINLOCH, A. J. **Adhesion and adhesives**. New York: Champman and Hall, 1987.

LARSSON, J. K. **Tecnologia de união de materiais na indústria automotiva**. Disponível em: <<http://abs-soldagem.org.br/centraladm/docs/revistas/Aplicacoes.pdf>>. Acesso em: 11 mai. 2014.

LEE, H.; ORLOWSKI, J. **Adhesive dental composite restorative**. Lee Pharmaceuticals. California, USA, 1973.

MARRA, A. A. **Technology of wood bonding: principals and practice**. New York: Van N. Reinhold, 1992.

MENDES, C. N. R. P; **Contribuição ao desenvolvimento de projeto de carrocerias automotivas utilizando adesivo estrutural para a junção de chapas metálicas**. 2005 Tese (mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

MITTAL, K. L.; PIZZI, A. **Adhesion promotion techniques: Technological applications**. New York: Marcel Dekker, 2002

PAYNE, H. F. **Organic Coating Technology**. New York: Willey & Sons, 1964.

PETRIE, E. W. **Handbook of Adhesives and Sealants**. Mc Graw-Hill, New York, 2 ed., 2007.

PIGOZZO, J. C. **Estudos e aplicações de barras de aço coladas como conectores em placas mistas de madeira e concreto para tabuleiros de pontes**. Tese (doutorado) – Escola de Engenharia de São Paulo da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2004.

POCIUS, A. V. **Adhesion and Adhesives Technology**. Hanser Publishers. New York, 1977.

QUINI, J. G. **Adesivos estruturais uretânicos aplicados a combinações de compósitos, plásticos e metais**. 2011. Tese (doutorado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN. São Paulo, 2011.

REKA. Disponível em : <<http://www.reka-klebetchnik.de/index.php?m=products>>. Acesso em: 09 jan. 2014.

ROSSI, G. P. **Estudo de correlação do comportamento de pontos de solda em corpos de prova pelo método dos elementos finitos**. 2007. Tese (mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

SCHINDEL-BIDINELLI, E. H. **Pratique du collage industriel**. Paris: Tec & Doc-Lavoisier, 1992.

SCHNEBERGER, G. L. **Chemical aspects of adhesive bonding, part II: Physical properties**. *Adhesives Age*. 1970.

SIKA. **Automotive Realizing Visions**. Catálogo informativo, 2010. Disponível em: www.sika-industry.com. Acesso em: 11 mai. 2014.

SILVA, L. F. M.; MAGALHÃES, A. G.; MOURA, M. F. S. F. **Juntas adesivas estruturais**. Publindústria, Porto, 2007.

SILVA, S. A; CARDOZO, N. S. M. **Estudo do comportamento reológico dos adesivos hot melt PSA e sua relação com a composição e as propriedades adesivas**. 2006. In: Seminário do Programa de Pós Graduação em Engenharia Química – Universidade Federal do Rio Grande Sul, Porto Alegre-RS, 2006.

SILVA, T. G. C **Ativação superficial de poliestireno de alto impacto e polipropileno por plasma de ar atmosférico e nitrogênio.** 2010. Tese (mestrado) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Tecnológicas – CTT. Joinville, 2010.

SUSKI, C. A. **Estudo do efeito de tratamento e revestimentos superficiais na vida de ferramentas de conformação mecânica a frio.** 2004. Tese (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2004.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA (UFSC) **Teste de Mann-Whitney.**

Disponível em:

<http://www.inf.ufsc.br/~verav/Testes_de_Hipoteses/Testes_nao_parametricos_Mann-Whitney.pdf>. Acesso em: 16/05/2014.

URBINATI, C. V. **Influência das características anatômicas em juntas coladas de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barbeny (Paricá).** 2013. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2013.

VASENIN, R. M. **Problems in the diffusion theory of adhesion of polymers, in adhesion, Fundamentals and Practice.** London: Mc Laren and Son, 1969.

VOYUTZKII, S. S. **Autohesion and adhesion of high polymers.** Interscience Publishers, John Wiley & Sons, New York, 1963.

YASZEMSKI, M. J.; TANTROLO, D. J.; LEWANDORWSKI, K.; HASIRCI, V.; ALTOBELLI, D.; WISE, D. **Tissue engineering and novel delivery systems.** New York: Marcel Dekker, 2004.

ZISMAN, W. A. **Relation of equilibrium contact angle to liquid and solid constitution.** US Naval Research Laboratory. Washington, D.C. 1964.

ANEXO B – Ficha técnica Sika 9676

SikaMelt®-9676 FC

Sandwich panel PUR Hot Melt with high immediate strength

Technical Product Data

Chemical base	Polyurethane reactive hot melt
Colour	White – beige, opaque
Cure mechanism	Moisture-curing
Density (CQP 006-7)	1,2 kg/l approx.
Solid content	100%
Viscosity at 130°C (Brookfield Thermosel)	35000 mPas approx.
Softening Temperature (CQP 538-5)	75°C approx.
Application temperature	120 - 160°C
Open time (CQP 559-1)	3,5 min. approx.
Curing time (CQP 558-1)	8 h approx.
Green strength (CQP 557-1)	0,8 N/mm ² approx.
Shore D hardness (CQP 023-1 / ISO 868)	40 approx.
Tensile strength (CQP 036-3)	15 N/mm ² approx.
Elongation at break (CQP 036-3)	1000% approx.
Temperature Resistance (CQP 513-2)	-40°C to +110°C
Shelf life (storage below 25°C in sealed containers) An excess of the recommended storage temperature during transport is not critical	9 months after production

* CQP = Corporate Quality Procedure

Description

SikaMelt®-9676 FC is a reactive hot melt based on polyurethane for sandwich panel bonding. It cures with moisture of the air and forms an elastomer, which can not be melted anymore.

SikaMelt®-9676 FC is manufactured in accordance with ISO TS 16949 / ISO 14001 quality assurance system and the responsible care program.

Product Benefits

- High immediate strength for memory effect
- High final strength and flexibility over a broad temperature range
- Excellent ageing and heat resistance
- Broad adhesion spectrum

Areas of Application

SikaMelt®-9676 FC is mainly used for the manufacturing of insulated panels, decorative panels, doors and other sandwich elements. It has a broad adhesion spectrum and is suitable for permanent strong bonding of polar polymers like ABS, PC, SMC and PVC, wood and wood based materials, foams, textiles, aluminium as well as painted and primed steel. Non polar polymers like PP and PE can also be bonded after special pre-treatment. Area applications on substrate combinations like polymer and steel plates, which do not provide moisture permeability to the adhesive layer, are not possible with SikaMelt®-9676 FC. This product is suitable for professional experienced users only. Test with actual substrates and conditions have to be performed to



ensure adhesion and material compatibility.

Cure Mechanism

The formation of the SikaMelt®-9676 FC adhesive polymer is based on a cross-linking after reaction with moisture of the air (see diagram 1).

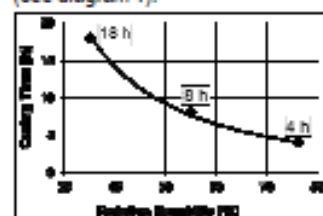


Diagram 1: Curing time for 500 µm adhesive film at 20°C

The curing is not only dependent on the applied film thickness, but also on the moisture content of the air, temperature, moisture content and permeability of the substrates.

Chemical Resistance

SikaMelt®-9676 FC is resistant to aqueous surfactant solutions, weak acids and caustic solutions. It is temporarily resistant to fuels, solvents and oils. As the chemical resistance depends on type and condition of the substrate, chemical concentration, exposure duration and temperature, a project adapted adhesive performance test is strongly recommended. The above information is offered for general guidance only. Advice on specific applications will be given on request.

Method of Application

Surface preparation

Bonding area must be clean, dry and free from grease, oil and dust. The temperature of the substrates at the adhesive application should exceed 15°C. Adhesion can be improved by suitable substrate pre-treatment. Metals should be heated to 40°C prior to use. Advice on specific applications is available from the Technical Service Department of Sika Industry.

Application

SikaMelt®-9676 FC is mainly applied by roller coaters, but can also be applied as film-, spot-, bond-line- or spray-application by appropriate melting equipment out of cartridges, containers and out of hobbocks or drums. Split width is 0,1 mm. For automated application a suitable filter system is required.

Standstill periods for several hours or over night have to be avoided especially at temperatures above 120°C. During longer periods of interruption the equipment temperature has to be lowered to 100°C. Clean the nozzles with a dry oil (available on request) in order to avoid blockage.

For advice on selecting and setting up a suitable pump and application systems please contact the System Engineering Department of Sika Industry.

Removal

SikaMelt®-9676 FC In uncured state may be removed from equipment with SikaMelt®-9900. For the easy cleaning of roller coaters we recommend to use SikaMelt®-9902 (see also manual "Cleaning of SikaMelt® reactive PUR hot melt application tools").

Once cured inside application equipment, the material can be swelled with SikaMelt®-9901. After swelling a mechanical cleaning is necessary. Uncured SikaMelt®-9676 FC may be removed from tools and equipment with Sika® Remover-208 or another suitable solvent.

Hands and exposed skin should be washed immediately using Sika® Handclean Towel or a suitable industrial hand cleaner and water. Do not use solvents!

Further Information

Copies of the following publications are available on request:

- Material Safety Data Sheets
- Manual "Cleaning of SikaMelt® reactive PUR hot melt application tools"

Packaging Information

Cartridge	330 g
Bag	2,5 kg
Hobbock	20 kg
Drum	195 l

Value Bases

All technical data stated in this Product Data Sheet are based on laboratory tests. Actual measured data may vary due to circumstances beyond our control.

Health and Safety Information

For information and advice regarding transportation, handling, storage and disposal of chemical products, users should refer to the actual Material Safety Data Sheets containing physical, ecological, toxicological and other safety-related data.

Legal Notes

The information, and, in particular, the recommendations relating to the application and end-use of Sika products, are given in good faith based on Sika's current knowledge and experience of the products when properly stored, handled and applied under normal conditions in accordance with Sika's recommendations. In practice, the differences in materials, substrates and actual site conditions are such that no warranty in respect of merchantability or of fitness for a particular purpose, nor any liability arising out of any legal relationship whatsoever, can be inferred either from this information, or from any written recommendations, or from any other advice offered. The user of the product must test the product's suitability for the intended application and purpose. Sika reserves the right to change the properties of its products. The proprietary rights of third parties must be observed. All orders are accepted subject to our current terms of sale and delivery. Users must always refer to the most recent issue of the local Product Data Sheet for the product concerned, copies of which will be supplied on request.

Further information available at:
www.sika-automotive.de
www.sika.com

Sika Automotive GmbH
Industry
Reichsbahnstr. 99
D-22525 Hamburg
Germany
Tel. +49 40 540 02 0
Fax +49 40 540 02 241



ANEXO C – Ficha técnica Sika 9185

SikaMelt®-9185 IA

Technical Product Data

Chemical base	Polyolefin reactive hot melt
Colour	Yellow
Cure mechanism	Moisture curing
Density (CQP 006-7)	0,88 kg/l approx.
Solids content	100%
Viscosity at 140°C (Brookfield Thermosel)	10000 mPas approx.
Softening Temperature (CQP 538-5)	130°C approx.
Application temperature	140 - 180°C
	Short-term (1h) 190°C
Open time (CQP 550-1)	45 sec. approx.
Green strength (CQP 557-1)	1,1 N/mm ² approx.
Curing time to final strength ²⁾ (CQP 558-1)	20 h approx.
Shelf life (storage below 25°C in sealed container)	9 months

¹⁾ CQP = Corporate Quality Procedure²⁾ 23°C (73°F) / 50% r.h.

Description

SikaMelt®-9185 IA is a versatile, reactive hot melt assembly adhesive with high green strength based on polyolefin. It cures with moisture of the air and forms an elastomer, which can not be melt anymore. SikaMelt®-9185 IA is manufactured in accordance with ISO TS 16949 / ISO 14001 quality assurance system and the responsible care program.

Product Benefits

- Good adhesion on non polar and some polar substrates
- High final strength and flexibility over a broad temperature range
- High green strength
- Excellent ageing and heat resistance
- Free of isocyanate

Areas of Application

SikaMelt®-9185 IA has excellent adhesion properties on non polar polymers substrates like polypropylene, polyethylene, wood, textiles, non woven materials and foams. On the polar polymeric substrates ABS, PVC, PC and PA shows SikaMelt®-9185 IA good adhesion results.

Area applications on substrate combinations like polymer and steel plates, which do not provide moisture permeability to the adhesive layer, are not possible with SikaMelt®-9185 IA.

This product is suitable for professional experienced users only. Test with actual substrates and conditions have to be performed to ensure adhesion and material compatibility.

Industry



Cure Mechanism

The formation of the SikaMelt®-9185 IA adhesive polymer is based on a cross-linking after reaction with moisture of the air (see diagram 1).

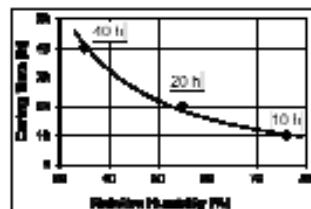


Diagram 1: Curing time for 500 µm adhesive film at 20°C

The curing is not only dependent on the applied film thickness, but also on the moisture content of the air, temperature, moisture content and permeability of the substrates.

Chemical Resistance

SikaMelt®-9185 IA is resistant to aqueous surfactant solutions, weak acids and caustic solutions. It is temporarily resistant to fuels, solvents and mineral oils. As the chemical resistance depends on type and condition of the substrate, chemical concentration, exposure duration and temperature, a project adapted adhesive performance test is strongly recommended. The above information is offered for general guidance only. Advice on specific applications will be given on request.

Method of Application

Surface preparation

Bonding area must be clean, dry and free from grease, oil and dust. Advice on specific applications is available from the Technical Service Department of Sika Industry.

Application

SikaMelt®-9185 IA can be applied by appropriate melting equipment out of containers as film, spot, bead or as sprayed layer. For automated application a suitable filter system is required. During longer periods of interruption the equipment temperature has to be lowered to 100°C. Clean the nozzles with a dry oil (available on request) in order to avoid blockage. For advice on selecting and setting up a suitable pump system please contact the System Engineering Department of Sika Industry.

Removal

Application tools and equipment can be cleaned with SikaMelt®-9901 (see also manual "Cleaning procedure of SikaMelt® application equipment"). SikaMelt®-9185 IA may be removed from tools and equipment with Sika® Remover-208 or another suitable solvent. Hands and exposed skin should be washed immediately using Sika® Handclean Towel or a suitable industrial hand cleaner and water. Do not use solvents!

Storage conditions

An excess of the recommended storage temperature during transport is not critical.

Further Information

Copies of the following publications are available on request:

- Material Safety Data Sheets

Packaging Information

Hobbock	15 kg
---------	-------

Value Bases

All technical data stated in this Product Data Sheet are based on laboratory tests. Actual measured data may vary due to circumstances beyond our control.

Health and Safety Information

For information and advice regarding transportation, handling, storage and disposal of chemical products, users should refer to the actual Material Safety Data Sheets containing physical, ecological, toxicological and other safety-related data.

Legal Notes

The information, and, in particular, the recommendations relating to the application and end-use of Sika products, are given in good faith based on Sika's current knowledge and experience of the products when properly stored, handled and applied under normal conditions in accordance with Sika's recommendations. In practice, the differences in materials, substrates and actual site conditions are such that no warranty in respect of merchantability or of fitness for a particular purpose, nor any liability arising out of any legal relationship whatsoever, can be inferred either from this information, or from any written recommendations, or from any other advice offered. The user of the product must test the product's suitability for the intended application and purpose. Sika reserves the right to change the properties of its products. The proprietary rights of third parties must be observed. All orders are accepted subject to our current terms of sale and delivery. Users must always refer to the most recent issue of the local Product Data Sheet for the product concerned, copies of which will be supplied on request.

Further information available at:
www.sika-automotive.de
www.sika.com

Sika Automotive GmbH
 Industry
 Reichsbahnstr. 99
 22525 Hamburg
 Germany
 Tel. +49 40 54002 0
 Fax +49 40 54002 241

Sika®



SikaMelt®-9185 IA 2 / 2

ANEXO D – Ficha técnica Swift Lock



H.B. Fuller



TECHNICAL DATA SHEET

Swift[®] lock 2003

Hot Melt Polyurethane

Suggested Application

2003 is a single-component hot melt adhesive that cross-links through a chemical reaction with moisture found in the surrounding air and substrates.

2003 is especially effective for automotive interior trim applications.

Additionally, the intrinsic chemical nature of wood and wood products makes 2003 ideal for bonding soft woods, hard woods, particle board, MDF, papers and wood veneers. It bonds equally as well to EPS, PU foam, aluminum, steel and various steel coatings, including epoxy/phenolic coatings, and various plastics, such as PP, PVC, ABS, and SMC.

Features & Benefits

Excellent Cold Resistance	Adheres to many substrates at temperatures as low as - 20°F without exhibiting any signs of bond failure.
Excellent Creep Resistance	Cured adhesive film is extremely tough yet flexible. This allows for differences in thermal expansion and contraction of various substrates without sacrificing bond performance.
Excellent Environmental Resistance	Cures to form a very strong bond that is resistant to heat, cold, moisture, and many solvents.
Versatility	Adheres to a wide variety of core stocks and skins.



H.B. Fuller



TECHNICAL DATA SHEET

Typical Properties

Viscosity	6,500 ± 1,500 cps @ 350 °F
Application Temperature	280 – 350°F
Open Time	Approx. 10 sec.
Green Strength Build	30 sec. = > 50 psi
Tensile Strength	400 psi
Elongation	800%
2% Secant Modulus	1,450 psi
Cure Time*	Approx. 7 days

* dependent upon moisture and temperature

Packaging Forms

Non-returnable 55 gallon metal drums or 5 gallon metal pails.

Storage

To ensure maximum stability, product should be stored in the original closed container in an interior location capable of maintaining a constant temperature.

Important Safety Information

Before using this or any other chemical product, be sure to read and understand the information on the Material Safety Data Sheet and Product Labels. Remain aware of potential hazards and follow all precautionary measures, handling instructions, and disposal considerations outlined in the MSDS and labels.

For help in a Chemical Emergency, call CHEMTREC at 1-800-424-9300.

Use Precaution

Product is ready to use as received; do not dilute hot melt adhesive.

Confirm compatibility before making hot melt adhesive changes.

Rev 11/11

Our Focus is Clear. Perfecting Adhesives.

IMPORTANT: Information, specifications, procedures and recommendations provided ("Information") are based on our experience and we believe this to be accurate. No representation, guarantee or warranty is made as to the accuracy or completeness of the information or that use of the product will avoid losses or damages or give desired results. It is purchaser's sole responsibility to test and determine the suitability of any product for the intended use. Tests should be repeated if materials or conditions change in any way. No employee, distributor or agent has any right to change these facts and offer a guarantee of performance.

NOTE TO USER: by entering/accepting product you accept the H.B. Fuller General Terms and Conditions of Sale applicable in the region. Please request a copy if you have not received these. These Terms and Conditions contain disclaimers of implied warranties (including but not limited to description, merchantability, fitness for a particular purpose) and limits of liability. All other terms are rejected. In any event, the total aggregate liability of H.B. Fuller for any claim or series of related claims however arising, in contract, tort (including negligence), breach of statutory duty, misrepresentation, strict liability or otherwise, is limited to replacement of affected products or refund of the purchase price for affected products. H.B. Fuller shall not be liable for loss of profit, loss of margin, loss of contract, loss of business, loss of goodwill or any indirect or consequential losses arising out of or in connection with product supply.



H.B. Fuller

H.B. Fuller North America
Inquiry@hbfuller.com
[Contact us details](#)

ANEXO E – Ficha técnica Swift Therm



TECHNICAL DATA SHEET

Page 1 of 2
Last updated 12/04/2012

swift[®] therm 2003 PO

Description	APAO Hot-melt for assembly purposes in the Automotive Industry.										
Properties	swift[®] therm 2003 PO performs long open time, high green strength, as well as flexible glue line In the assembly industry is suitable for the join of certain EPDM, wires and carpets to substrates difficult to bond like Woodstock, aluminium, PP, fibreboard, Lignotock, Fibrit, etc.										
Technical Data	<table> <tr> <td>Basis</td><td>Polyolefin (APAO)</td></tr> <tr> <td>Appearance</td><td>Transparent yellow</td></tr> <tr> <td>Viscosity (Brookfield) at 200°C</td><td>approx. 20 000 mPa.s</td></tr> <tr> <td>Density at 20 °C</td><td>approx. 1 g/cm³</td></tr> <tr> <td>Softening point Mettler (ASTM D-3461-76)</td><td>approx. 158 °C</td></tr> </table>	Basis	Polyolefin (APAO)	Appearance	Transparent yellow	Viscosity (Brookfield) at 200°C	approx. 20 000 mPa.s	Density at 20 °C	approx. 1 g/cm ³	Softening point Mettler (ASTM D-3461-76)	approx. 158 °C
Basis	Polyolefin (APAO)										
Appearance	Transparent yellow										
Viscosity (Brookfield) at 200°C	approx. 20 000 mPa.s										
Density at 20 °C	approx. 1 g/cm ³										
Softening point Mettler (ASTM D-3461-76)	approx. 158 °C										
Instructions for use	<table> <tr> <td>Working temperature</td><td>190 – 210 °C</td></tr> <tr> <td>Open time</td><td>Approx. 60 seconds, apply at 200°C in a 4 mm width strip bead.</td></tr> </table> The structure of the substrates and the working conditions will influence the bonds. We therefore recommend to carry out your own tests. Due to the high thermal resistance of this product, parallel to its high softening point, it is necessary to keep in mind that a high heating contribution in the melting tank is necessary, in order to permit a quick melting and application of the adhesive. If this doesn't happen, as for instance in very old machines, a feed lack of the product to the rollers could occur, with the arising problems of adhesion.	Working temperature	190 – 210 °C	Open time	Approx. 60 seconds, apply at 200°C in a 4 mm width strip bead.						
Working temperature	190 – 210 °C										
Open time	Approx. 60 seconds, apply at 200°C in a 4 mm width strip bead.										
Health and safety information	Consult its Safety data sheet.										
Cleaning	While the product is hot a preliminary cleaning should be done by scraping with a spatula. When it is cold with cleaning resin swift [®] clean 4000.										
Self-life and Storage conditions	Stable for at least 1 year if stored in sealed original containers in fresh and dry place, between 5°C and 25°C and protected from dust. Frost resistant.										



H.B. Fuller



TECHNICAL DATA SHEET

Page 2 of 2
swift[®]therm 2003 PO

Remarks

Prolonged exposure to high temperature should be avoided since this could be detrimental to the cohesive properties.

swift[®]therm 2003 PO is not usually suitable for plastics containing monomeric plasticizers, since such plasticizers can cause deterioration of the adhesive film. Such films should be tested for their suitability.

Our Focus is Clear. Perfecting Adhesives.

IMPORTANT: Information, specifications, procedures and recommendations provided ("Information") are based on our experience and we believe this to be accurate. No representation, guarantee or warranty is made as to the accuracy or completeness of the information or that use of the product will avoid losses or damages or give desired results. It is purchaser's sole responsibility to test and determine the suitability of any product for the intended use. Tests should be repeated if materials or conditions change in any way. No employee, distributor or agent has any right to change these facts and offer a guarantee of performance.



H.B. Fuller

NOTE TO USER: By ordering/purchasing product you accept the H.B. Fuller General Terms and Conditions of Sale applicable in the region. Please request a copy if you have not received these. These Terms and Conditions contain descriptions of product capabilities including but not limited to application parameters of use, and a disclaimer, warranty and limitation of remedy. In any event, the total aggregate liability of H.B. Fuller for any claim or series of related claims however arising, in contract, tort (including negligence), breach of statutory duty, misrepresentation, strict liability or otherwise, is limited to replacement of affected products or refund of the purchase price for affected products. H.B. Fuller shall not be liable for loss of profit, loss of margin, loss of contract, loss of business, loss of goodwill or any indirect or consequential losses arising out of or in connection with product supply.

Nothing in any term shall operate to exclude or limit H.B. Fuller's liability for fraud, gross negligence or for death or personal injury caused by negligence or for breach of any mandatory implied terms.

H.B. Fuller Europe

info-europe@hbfuller.com

Contact us

ANEXO F – Ficha técnica Pur-Fect 310

Product Data Sheet

PUR-FECT 310
134-9002

Henkel Ltd
 Wexham Road
 Slough
 Berkshire SL2 5DS
 Tel: (0)1753 533494, Fax: (0)1753 501241

0707/MLB/04

Description

Reactive hot melt adhesive

Appearance

Off-white solid

Technical Characteristics

Viscosity
 (Brookfield Thermosel Sp 27, 2.5rpm)

Specific Gravity

Open Time (3mm bead, 20°C)

Typical Data

7,500 mPa.s. @ 120°C

1.05

45 - 75 seconds.

Typical Applications

Assembly operations in automotive sub components, particularly if there is a requirement for metal, glass adhesion or improved water resistance.

Manufacture of wash-up pads, panel lamination.

Features

- * Versatile adhesion.
- * Excellent pot life.

Benefits

- * Allows single product approach.
- * No clean down required during the working day.

The information given and the recommendations made herein are based on our experience and are believed to be accurate. No guarantee as to, or responsibility for, their accuracy can be given or accepted and no statement made herein is to be treated as a representation or warranty. In every case we urge and recommend that purchasers before using any product make their own tests to determine, to their own satisfaction, its suitability for their particular purposes under their own operating conditions. Such an evaluation should be repeated if materials are changed in any way or bought from a different source. No agent or representative of ours has any authority to vary, omit or otherwise alter these terms.

PUR-FECT 310 / 134-9002 / 0707/MLB/04

Application Guide

PUR-FECT 310 can be applied by a variety of application systems such as hand gun, slot nozzle, roller coater or spray, provided that the equipment is specifically designed to use reactive hot melts.

The maximum application temperature is 130°C.

PUR-FECT 310 is highly stable for a product of this chemical type. However, it is essential that if application equipment is to be left for prolonged periods (overnight, weekends) and is exposed to moisture, it should be protected or purged of material.

Cured adhesive will be difficult to remove and may require prolonged soaking in a solvent such as N-Methyl-2-Pyrrolidone (Irritant).

Packaging

Consult local sales office.

Storage & Handling

Rotate stock using oldest material first.

Do not mix with other adhesives.

Store in original unopened containers.

Containers should be completely used after opening and should not be resealed.

Shelf life: Typically 1 year from the date of manufacture.

HEALTH & SAFETY

Users should familiarise themselves with the safety data sheet before using or handling this product.

The information given and the recommendations made herein are based on our experience and are believed to be accurate. No guarantee as to, or responsibility for, their accuracy can be given or accepted and no statement made herein is to be treated as a representation or warranty. In every case we urge and recommend that purchasers before using any product make their own tests to determine, to their own satisfaction, its suitability for their particular purposes under their own operating conditions. Such an evaluation should be repeated if materials are changed in any way or bought from a different source. No agent or representative of our has any authority to vary, omit or otherwise alter these terms.