

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS
CURSO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

IZABELLA ANDRADE PERTENCE GOMES

SELEÇÃO DE ADESIVOS PARA UTILIZAÇÃO EM ENSAIOS EXTENSOMÉTRICOS
COM *STRAIN GAGE* EM ALTA TAXA DE DEFORMAÇÃO

BELO HORIZONTE

2020

IZABELLA ANDRADE PERTENCE GOMES

SELEÇÃO DE ADESIVOS PARA UTILIZAÇÃO EM ENSAIOS EXTENSOMÉTRICOS
COM *STRAIN GAGE* EM ALTA TAXA DE DEFORMAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no
Curso de Graduação em Engenharia de Materiais
do Centro Federal de Educação Tecnológica de
Minas Gerais como requisito parcial para obtenção
do título de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Nilton da Silva Maia

Coorientador: Prof. Dr. Marcello Dumont

BELO HORIZONTE

2020

IZABELLA ANDRADE PERTENCE GOMES

SELEÇÃO DE ADESIVOS PARA UTILIZAÇÃO EM ENSAIOS EXTENSOMÉTRICOS
COM *STRAIN GAGE* EM ALTA TAXA DE DEFORMAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no
Curso de Graduação em Engenharia de Materiais
do Centro Federal de Educação Tecnológica de
Minas Gerais como requisito parcial para obtenção
do título de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Aprovada em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Nilton da Silva Maia – Orientador

Prof. Dr. Marcello Rosa Dumont – Coorientador

Prof. Dr. Wellington Lopes

Prof. Dr^a. Aline Silva Magalhães

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus por todo Seu cuidado, por me guiar e capacitar em todos os momentos. Ele foi quem sempre me deu forças e esteve comigo em todos os momentos.

Agradeço ao CEFET-MG pela oportunidade de crescer e me desenvolver neste local de renome. Em especial, agradeço ao Prof. Dr. Nilton da Silva Maia por ter sido um orientador presente, disposto e, mais do que isso, um conselheiro para as mais diversas situações. Seus ensinamentos certamente perdurarão por anos na minha vida. Estendo meus sinceros agradecimentos ao Prof. Dr. Marcello Rosa Dumont que, como coorientador, me auxiliou na realização deste trabalho, além de me fazer gostar da área de Seleção de Materiais; à Prof.^a Dr.^a Aline Silva Magalhães por me acompanhar e tranquilizar em momentos difíceis, ao Prof. Dr. Wellington Lopes por sua disposição em participar de minha banca e a todos os professores que, de alguma maneira, precisaram se dedicar e, com isso, contribuíram para minha formação pessoal e profissional. Além disso, meu agradecimento a todos os servidores do CEFET-MG por toda a ajuda que me foi prestada direta ou indiretamente.

Agradeço aos meus pais, irmãos e familiares por todo apoio nessa jornada. Ao meu namorado, por sempre ouvir meus desabafos e tentar me ajudar a encontrar o melhor adesivo possível. Aos meus amigos, sou grata por me ajudarem a tornar esse período mais leve e aos meus seguidores do RH sem Complicações por sempre me apoiarem e acreditarem em mim.

Aos meus colegas de trabalho, minha eterna gratidão por toda paciência, compreensão e carinho por mim. Vocês foram e são muito importantes para meu aprendizado e crescimento.

Por fim, sou grata a todos que, mesmo no seu anonimato, contribuíram de alguma forma para a conclusão desse trabalho. A todos, o meu “Muito obrigada!”.

RESUMO

O ensaio de tração é bastante utilizado em laboratórios e indústrias devido a sua versatilidade de extração de diversas propriedades mecânicas dos materiais. Somado a isto, a extensometria surge com o objetivo de propor transdutores, denominados *strain gages* que medem deformações mecânicas em um determinado corpo de prova quando este é submetido a um carregamento. Desse modo, emprega-se a extensometria juntamente com o ensaio de tração no intuito de medir as deformações que ocorrem em uma determinada amostra de estudo. Atualmente, existem *strain gages* ópticos e elétricos: os ópticos possuem um alto valor agregado e, por isso, optou-se pela utilização de *strain gages* elétricos. No entanto, estudos preliminares utilizando *strain gage* elétrico uniaxial com adesivo de cianoacrilato em ensaios de tração à altas taxas de deformação apresentaram falha do tipo adesiva antes da transferência da deformação desejada. Portanto, o objetivo deste trabalho consistiu em selecionar adesivos capazes de transferir deformação e resistir às altas taxas de deformação para medições de deformação por extensometria. A metodologia proposta consistiu em uma revisão bibliográfica do tema, realizando alguns ensaios preliminares, tradução dos requisitos do projeto, triagem usando restrições, classificação usando objetivo e pesquisa por documentação até a escolha final do material, isto foi definido com base no método de seleção de materiais desenvolvido por Ashby. Concluiu-se que, os adesivos mais indicados para o tipo de aplicação requerida foram do tipo acrilato e epóxi; além disso, percebeu-se a necessidade de normatizar ou padronizar as propriedades fornecidas pelos fabricantes de adesivos de forma a permitir o uso dos adesivos em mercados diferentes dos que foram foco dos fabricantes no momento da sua criação. Tendo como base as informações disponibilizadas pelos meios de divulgação das propriedades e de informações complementares fornecidas pelas empresas, dentre os adesivos avaliados, houve uma correlação maior entre as propriedades desejadas e as propriedades disponíveis dos adesivos H1 e D2.

Palavras-chave: extensometria; seleção de materiais; propriedades mecânicas

ABSTRACT

The tensile test is widely used in laboratories and industries due to its versatility in extracting various mechanical properties of materials. In addition, extensometry appears with the objective of proposing transducers, called strain gages that measure mechanical deformations in a given specimen when it is subjected to loading. Thus, extensometry is used together with the tensile test in order to measure the deformations that occur in a given study sample. Currently, there are optical and electrical strain gages: optics have a high added value and, therefore, we opted for the use of electrical strain gages. However, preliminary studies using uniaxial electric strain gages with cyanoacrylate adhesive in tensile tests at high deformation rates showed an adhesive-type failure before the desired deformation was transferred. Therefore, the objective of this work was to select adhesives capable of transferring deformation and resisting high deformation rates for strain measurements by extensometry. The proposed methodology consisted of a bibliographic review of the theme, carrying out some preliminary essays, translation of the project requirements, sorting using restrictions, classification using objective and searching through documentation until the final choice of material, this was defined based on the method of selection of materials developed by Ashby. It was concluded that the most suitable adhesives for the type of application required were of the acrylate and epoxy type; in addition, there was a need to regulate or standardize the properties provided by adhesive manufacturers in order to allow the use of adhesives in markets other than those that were the focus of the manufacturers at the time of their creation. Based on the information provided by the means of disclosing properties and complementary information provided by companies, among the evaluated adhesives, there was a greater correlation between the desired properties and the available properties of H1 and D2 adhesives.

Keywords: extensometry; selection of materials; mechanical properties

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1– Representação Esquemática do dispositivo usado para conduzir ensaios tensão-deformação por tração	15
Figura 3.2 – Representação esquemática de um <i>strain gage</i>	16
Figura 3.3 – Representação esquemática das estruturas de Poliamida 6 e 66	17
Figura 3.4 – Seleção do <i>strain gage</i>	18
Figura 3.5 – Aplicação do adesivo junto ao <i>strain gage</i>	19
Figura 3.6 – Principais tipos de tensões atuantes numa junta adesiva	21
Figura 3.7 – Esquematização de um ângulo de contato (θ) entre uma gota líquida e uma superfície	21
Figura 3.8 – Principais tipos de falha de juntas simples coladas.....	24
Figura 3.9 – Exemplo de forças de adesão e coesão entre superfícies aderentes	24
Figura 3.10 – Funil esquemático da seleção de materiais	27
Figura 4.1 – Fluxograma da Metodologia	28
Figura 4.2 – Representação esquemática das forças de adesão no conjunto poliamida-adesivo-metal	29
Figura 5.1 – Diagrama de Venn dos principais adesivos	33
Figura 5.2 – Relação das Empresas Aprovadas na 1ª Triagem	34
Figura 5.3 – Esquema dos produtos da empresa H.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Função, restrições, objetivos e variáveis livres	25
Tabela 4.1 – Função, restrições, objetivos e variáveis livres do Projeto.....	31
Tabela 5.1 – Descrição do produto D1	35
Tabela 5.3 – Informação Técnica do Adesivo D2.....	36
Tabela 5.4 – Informação Técnica do Adesivo A1	39
Tabela 5.5 – Informação Técnica do Adesivo J1	39
Tabela 5.6 – Propriedades do material que compõe o Adesivo S1	40
Tabela 5.7 – Propriedades do material curado (S1).....	41
Tabela 5.8 – Tabela de Produtos da Empresa U.....	42

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASTM – American Society for Testing and Materials

PA – Poliamida

θ - ângulo de contato

τ - Tensão de Cisalhamento

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 OBJETIVOS	13
2.1 Objetivos gerais	13
2.2 Objetivos Específicos	13
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1 Solicitações Mecânicas: Estáticas e Dinâmicas.....	14
3.2 Ensaio de tração.....	14
3.3 Extensometria	15
3.3.1 Poliamida.....	16
3.3.2 Instalação do Strain Gage.....	17
3.4 Adesivos	20
3.4.1 Cianoacrilatos	21
3.4.2 Epóxi.....	22
3.4.3 Adesivos de poliéster.....	22
3.4.4 Cimentos Cerâmicos.....	23
3.5 Modos de falha de juntas adesivadas.....	23
3.6 Seleção de Materiais	25
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	28
4.1 Materiais	28
4.2 Métodos	28
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
5.1 Triagem das Empresas e dos Materiais	33
5.1.2 Adesivo D2.....	35
5.1.3 Adesivo H1	36
5.1.4 Adesivo H2.....	37

5.1.5 Adesivo H3	37
5.1.6 Adesivo H4	38
5.1.7 Adesivo H5	38
5.1.8 Adesivo H6	38
5.1.9 Adesivo A1	38
5.1.10 Adesivo J1	39
5.1.11 Adesivo S1	40
5.1.12 Adesivo R1	41
5.1.13 Adesivo R2	41
5.1.14 Adesivo Y1	41
5.1.15 Adesivo Y2	41
5.1.16 Adesivo Y3	42
5.1.17 Adesivo P1	42
5.1.18 Adesivo P2	42
5.1.19 Adesivo U1 a U12	42
5.1.20 Adesivo M1	44
5.2 Discussão dos Resultados levantados	44
6 CONCLUSÕES	45
7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

1 INTRODUÇÃO

O ensaio de tração consiste na aplicação de uma força trativa uniaxial continuamente crescente em um corpo de prova de modo a gerar deformação e, geralmente, a fratura da amostra. Segundo Callister (2000) e Dieter (1981), o seu objetivo é o de simular os esforços aos quais o material estudado será submetido em condições reais de projeto. Além disso, ele é muito utilizado em laboratórios e indústrias devido a sua versatilidade de extração de diversas propriedades mecânicas dos materiais. Por exemplo, é possível obter valores de resistência à tração, módulo de elasticidade, tenacidade, entre outros.

Neste contexto, a extensometria surge com o objetivo de propor transdutores que medem deformações mecânicas em um determinado corpo de prova quando este é submetido a um carregamento. Estes transdutores são denominados extensômetros, *strain gages* ou *strain gauges* (GUILHERME, 2016). Desse modo, pode-se empregar a extensometria juntamente com o ensaio de tração no intuito de medir as deformações que ocorrem em uma determinada amostra de estudo.

Segundo Amaral (2017), um dos ramos em que esses resultados são relevantes é na realização de testes de segurança em produtos do setor automobilístico, aos quais são aplicadas altas taxas de deformação. Um exemplo disso, é a tendência cada vez maior de utilização do *crash box*: dispositivo veicular localizado na parte interna do para-choque e responsável pela absorção de energia durante uma colisão. Ou seja, tendo como objetivo final minimizar os danos aos ocupantes do veículo no momento do impacto, além de, é claro, oferecer proteção à cabine veicular. Nesta conjuntura, para esta aplicação têm sido utilizados (SANTOS, 2018):

1- *strain gages* ópticos - que ainda não possuem preços acessíveis;

2- *strain gages* elétricos, sobretudo, com adesivos à base de cianoacrilato que, em altas taxas de deformação, não suportam as cargas aplicadas e acabam por se desprender do corpo de prova, deturpando ou impedindo a coleta de resultados.

Sendo assim, este estudo almeja selecionar um adesivo que consiga atender aos requisitos do projeto tanto em termos de propriedades mecânicas quanto a disponibilidade no mercado brasileiro, sem a necessidade de importação dos adesivos. Para que isso ocorra, ressalta-se a necessidade de encontrar um adesivo que mantenha o *strain gage* devidamente aderido ao corpo de prova e que consiga transferir os esforços e suportar as deformações ao longo do ensaio.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos gerais

Selecionar adesivos capazes de transferir deformação e resistir às altas taxas de deformação (até 500s^{-1}) para medições por extensometria.

2.2 Objetivos Específicos

- Realizar revisão bibliográfica sobre seleção de materiais e adesivos que possam ser aplicados em *strain gages*.
- Realizar a seleção, propriamente dita, com base em propriedades dos materiais.
- Encontrar adesivos no mercado brasileiro que tenham custo atrativo e permitam medições em altas taxas de deformação sem que o *strain gage* se desprenda do corpo de prova metálico.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Solicitações Mecânicas: Estáticas e Dinâmicas

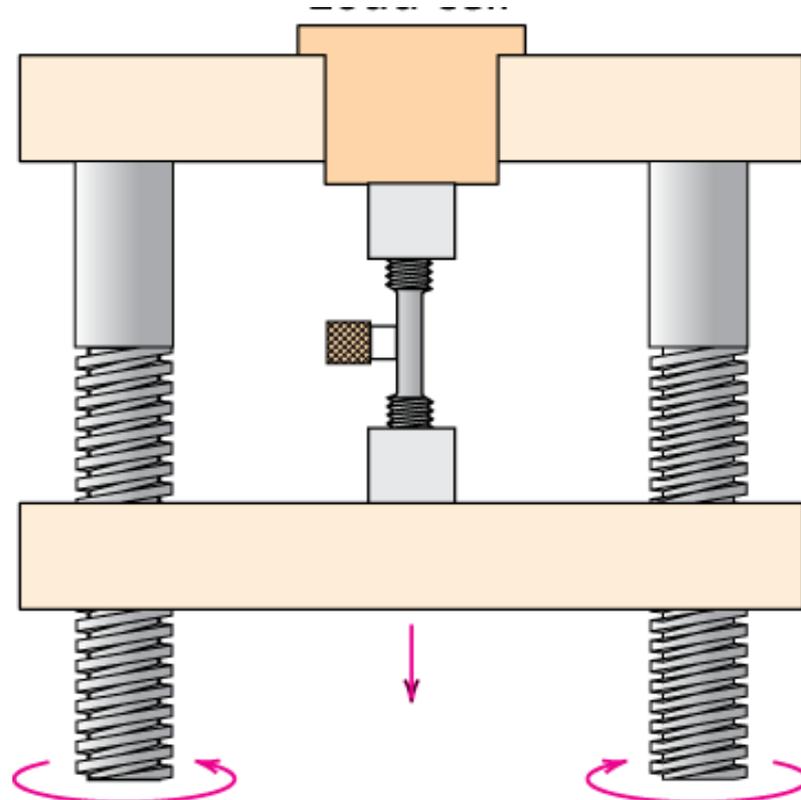
Segundo Cargas (2010), as solicitações dinâmicas são aquelas em que o carregamento varia ao longo do tempo, por exemplo, o ensaio de impacto. As solicitações estáticas, segundo Callister (2000, p.79), ocorrem quando uma carga é estática ou é aplicada de forma extremamente lenta ao longo do tempo; o seu comportamento, portanto, pode ser avaliado por meio de um ensaio de tensão-deformação. Esse ensaio, geralmente, ocorre em temperatura ambiente e é denominado ensaio de tração.

3.2 Ensaio de tração

O objetivo do ensaio de tração é o de simular os esforços aos quais o material estudado será submetido em condições reais, além de extrair diversas propriedades mecânicas dos materiais, dentre elas: módulo de elasticidade e limite de resistência (DIETER, 1981, p. 282). O ensaio de tração é realizado em dispositivos como o esboçado na Figura 3.1. Ele consiste em uma célula de carga que aplica uma força gradativamente crescente e uniaxial, na direção do eixo mais comprido de um corpo de prova, de modo que a amostra vai sendo deformada, de maneira geral, até a sua fratura (CALLISTER, 2000). Com isso, são observadas elongações que, passando por um registrador gráfico, dão origem à curva Tensão x Deformação, também chamada de curva de engenharia (DIETER, 1981, p. 282). O corpo de prova tem suas dimensões estabelecidas pela norma ABNT NBR 6152 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2002, p.1) como também pela norma ASTM E8/E8M (AMARAL, 2017). Nesse contexto, segundo Callister (2000), é válido ressaltar alguns pontos importantes:

- o equipamento de ensaios é projetado para alongar o corpo de prova com taxas constantes de deformação;
- o ensaio demora vários minutos para ocorrer e é do tipo destrutivo. Portanto, não é possível reutilizar as amostras;
- a seção reta da amostra, frequentemente, é circular, mas também pode ser retangular;
- as dimensões e a geometria da amostra influenciam as características carga-deformação e, para minimizar isso, a carga e o alongamento são normalizados gerando os parâmetros de tensão de engenharia e deformação de engenharia

Figura 3.1– Representação Esquemática do dispositivo usado para conduzir ensaios tensão-deformação por tração



FONTE: CALLISTER, 2000

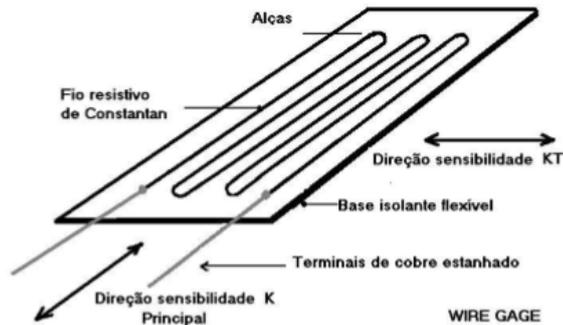
Ademais, também é importante explicar que a aplicação de altas tensões somadas ao fato de os materiais serem cristalinos, como é o caso dos metais, gera o deslizamento de planos e, conseqüentemente, a deformação (CALLISTER, 2000, p. 50). A diminuição da mobilidade das discordâncias leva ao encruamento do material e, posteriormente, à sua fratura (MEYERS; CHAWLA, 1982, p.290).

3.3 Extensometria

A extensometria é o nome dado a técnica experimental que utiliza extensômetros, conhecidos também pelo nome de “*strain gage*” ou “*strain gauge*”, em inglês. O *strain gage* (Figura 3.2) consiste em um dispositivo para medição da deformação de um determinado material quando este é submetido a um carregamento. Nele, os fios elétricos são alinhados em uma direção principal, na qual o carregamento será aplicado. À medida que o ensaio acontece, a resistência do fio é alterada, a placa de aquisição de dados interpreta os sinais elétricos gerados e os transforma em valores de deformação. Estes valores também podem ser transformados em

valores de tensão por meio de equações matemáticas. Além disso, no caso do *strain gage*, o processo se repete, porém esta considera três direções de deformação (GUILHERME, 2016).

Figura 3.2 – Representação esquemática de um *strain gage*

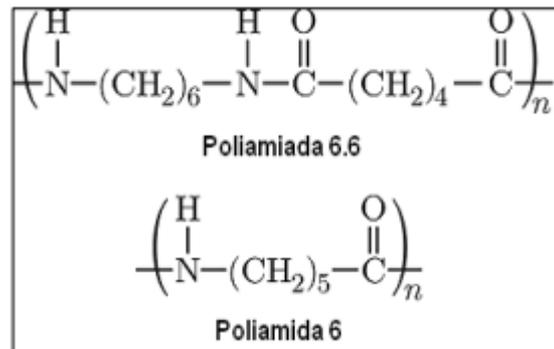


FONTE: GUILHERME, 2016

3.3.1 Poliamida

O material do suporte e cobertura do grid de medição do *strain gage*, geralmente, é feito de Poliamida (PA). Esta é um material polimérico, termoplástico, formado por diversos monômeros de amida. Ela é caracterizada por apresentar boas propriedades mecânicas, químicas e físicas, tendo, por exemplo, boa resistência, elasticidade, dureza e alta resistência à abrasão. Além disso, ela é solubilizada a temperatura ambiente somente em alguns materiais e possui ponto de fusão aproximado entre 177°C a 260°C (WIEBECK E HARADA, 2005). Isso porque existe uma grande variedade no mercado; sendo as poliamidas PA6 e PA6.6 consideradas as de maior importância comercial e, por isso, estão esquematizadas abaixo na Figura 3.3 (GONDIN, 2016).

Figura 3.3 – Representação esquemática das estruturas de Poliamida 6 e 6.6



FONTE: WIEBECK E HARADA, 2005

A condensação do ácido adípico com hexametilenodiamino forma a Poliamida 6.6 (GONDIN, 2016). Já a Poliamida 6 é formada a partir da caprolactama, sendo um material semicristalino com alto grau de cristalinidade. Ambas possuem grupos amida polares com espaçamento regular entre as cadeias, além de serem polímeros tenazes acima de suas temperaturas de transição vítrea (AMORIM, 2017).

3.3.2 Instalação do Strain Gage

Com relação a efetiva utilização do strain gage, são necessárias as seguintes etapas:

3.3.2.1 Definição dos pontos de instalação para posicionamento do *strain gage*

Primeiramente deve-se definir o objetivo da instalação do *strain gage*. A partir disso, deve-se alinhar a direção dos fios elétricos do *strain gage* à direção de deformação esperada. No ensaio de tração, por exemplo, o *strain gage* deve ser posicionado de forma longitudinal (GUILHERME, 2016).

3.3.2.2 Seleção do tipo e do modelo

Para escolha do tipo de *strain gage*, deve-se avaliar o tipo de material resistivo, tipo de material de base, dimensões, disponibilidade e ambiente ao qual o material de estudo será submetido (ANDOLFATO; CAMACHO; BRITO, 2004).

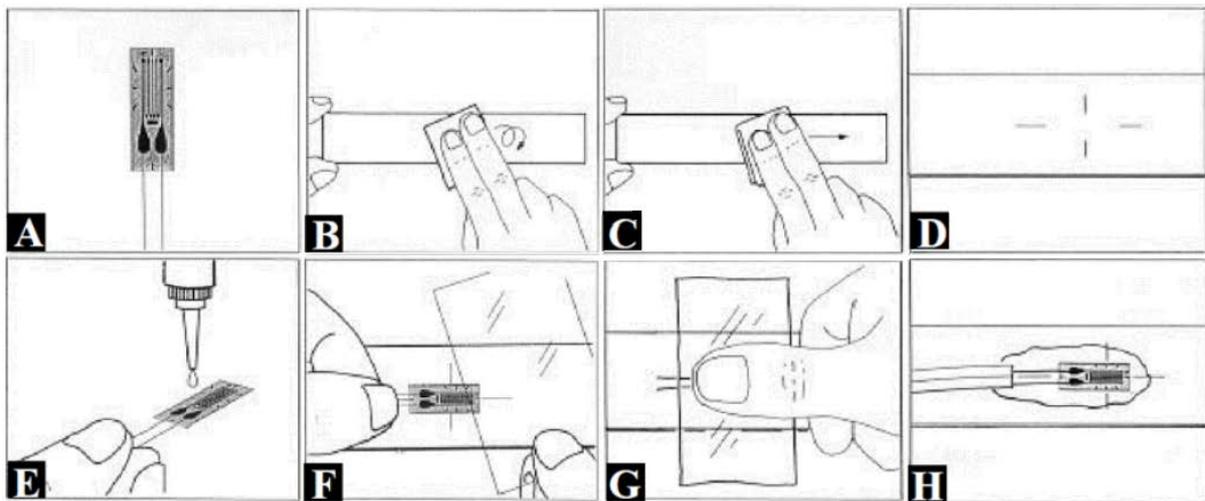
Além disso, para escolha do modelo, é preciso observar se as condições de operação desejadas estão de acordo com as especificações do produto, tais como: faixa de temperatura a qual o *strain gage* será submetido, limite de alongamento máximo do *strain gage*, corrente

máxima suportada pelo *strain gage*, resistência à umidade, durabilidade necessária (ANDOLFATO; CAMACHO; BRITO, 2004).

3.3.2.3 Instalação do *strain gage*

A instalação do *strain gage* se subdivide em 8 etapas conforme representado esquematicamente na Figura 3.4:

Figura 3.4 – Instalação do *strain gage*



(A); Limpeza física da superfície (B); Linhas de marcação (C); Limpeza química da superfície (D); Aplicação o adesivo (E); Orientação do *strain gage* (F); Fixação (G); Cura da resina (H).

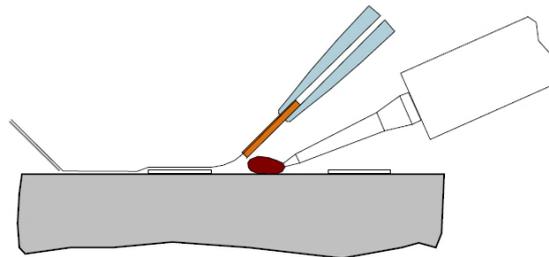
FONTE: KYOWA modificado

A imagem A representa a seleção inicial do modelo de *strain gage* conforme já mencionado no tópico anterior. Em B, ocorre a limpeza física da superfície em área um pouco maior do que a do *strain gage* no intuito de remover ferrugem, pó, óxidos, tintas, rebarbas, entre outros. Isso é feito com o auxílio de uma lixa ou micro retífica. Em C, ocorre a limpeza química da superfície para remoção de óleos, graxas e gorduras através de um algodão ou uma gaze embebida em solvente. Não se deve utilizar o material absorvente por mais de uma vez. Em D, são feitas linhas de marcação perpendiculares entre si por meio de uma ponta metálica. Nesta etapa, não se pode utilizar grafite ou lápis, pois eles funcionarão como lubrificantes, portanto, dificultando a colagem (ANDOLFATO; CAMACHO; BRITO, 2004).

A partir de então, torna-se importante a utilização de pinças: em E, aplica-se a cola no local de colagem do corpo de prova e do *strain gage*. Em F, realiza-se o posicionamento do *strain gage* com o auxílio de fitas adesivas. Uma prática muito utilizada é a de inverter a etapa

F com a E, de modo que a fita adesiva fique parcialmente fixa ao corpo de prova e parcialmente solta para que ocorra a aplicação da cola diretamente a interface corpo de prova-*strain gage* (Figura 3.5) (ANDOLFATO; CAMACHO; BRITO, 2004).

Figura 3.5 – Aplicação do adesivo junto ao *strain gage*



FONTE: APLICAÇÃO, 2019

Em G, aplica-se uma pressão sobre o adesivo com os dedos ou com um homogeneizador de tensões. Este último, consiste em um material com uma camada metálica de aço ou alumínio e uma camada polimérica de borracha de silicone, esta fica em contato com o adesivo e aquela fica voltada para cima. A princípio ele é preso por adesivos, mas, em seguida, colocam-se pinças de mola visando alcançar a pressão estabelecida pelo fabricante. Por fim, em H ocorre a cura da cola por meio da utilização de tempo e temperaturas adequadas de acordo com as especificações do fabricante (ANDOLFATO; CAMACHO; BRITO, 2004).

3.3.2.4 Realizar os Testes e Coleta de Dados

Para verificar o sucesso desta última etapa, o procedimento de inspeção analisa se há vazios entre o *strain gage* e o corpo de prova e se o adesivo está devidamente curado ou não. Esses vazios podem surgir a partir de bolhas originais do adesivo ou da liberação de voláteis durante o processo de cura. Para realizar essa primeira verificação é preciso pressionar a instalação com uma borracha macia e observar o efeito em um indicador de tensão. Caso apareça algum valor de tensão, a adesivagem não foi satisfatória e existem vazios. A segunda verificação, de que o adesivo está efetivamente curado, pode ser feita de duas formas. O tipo A usa a medida da resistência entre o *strain gage* e o corpo de prova como uma indicação do estágio de cura. A resistência aumenta à medida que o material vai sendo curado. O tipo B está relacionado a submeter a instalação do manômetro a um ciclo de tensão enquanto as medidas de resistência mudam (DALLY; RILEY, 2005, p.179).

A deformação dos sensores precisa ser zerada e os parâmetros de aquisição de sinal precisam ser definidos. Com o equipamento em funcionamento, realiza-se a coleta de dados (GUILHERME, 2016).

3.3.2.5 Analisar os dados

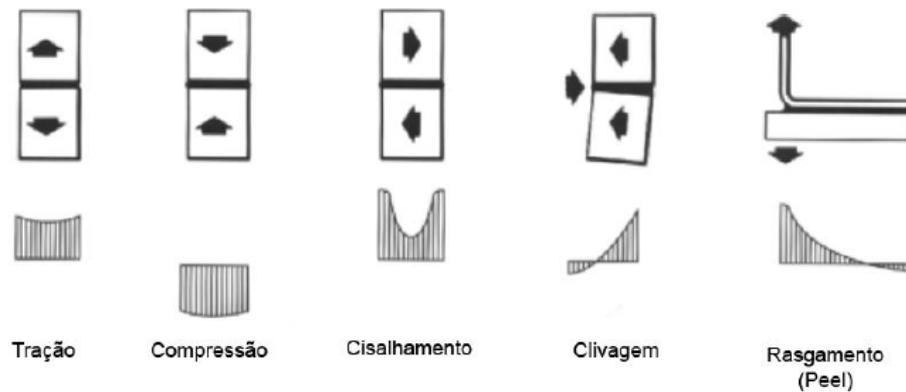
De acordo com os objetivos do ensaio, realizam-se análises e/ou cálculos para que os valores de deformação, tensão, entre outros, sejam encontrados. Esses resultados precisam ser confrontados com os resultados esperados (GUILHERME, 2016).

3.4 Adesivos

Conforme descrito na norma ASTM D 907 (PRUDENTE, 2014), adesivo é a substância capaz de reter materiais juntos pela superfície de contato. Já os adesivos denominados estruturais são aqueles em que a junta adesiva precisa ter resistência quando submetida a algum esforço mecânico. Eles possuem função fundamental nos testes de extensometria, pois são responsáveis por transmitir a tensão do corpo de prova para o sensor do *strain gage* sem distorções (PRUDENTE, 2014). Em termos de adesivos estruturais, os principais são de: epóxi, acrílico, poliuretano, uretano, silicone e acrilato (DIRECTINDUSTRY). Já em termos de adesivos para aplicação extensométrica, os mais comuns são os de cianoacrilatos, epóxi, poliéster e cimentos cerâmicos (DALLY; RILEY, 2005).

Eles são fabricados por diversas empresas, mas podem também ser encontrados no formato de produtos caseiros ou artesanais, que não são recomendados por poderem incluir modificadores e plastificantes. Para seleção de adesivos, alguns fatores devem ser considerados, são eles: material, temperatura operacional, temperatura de cura e a tensão máxima a ser medida (DALLY; RILEY, 2005, p.173, 175). Nesse contexto, também se torna importante compreender qual é o tipo de carregamento que está sendo aplicado a esta junta, que pode ser de: tração, compressão, cisalhamento, clivagem ou rasgamento (peel), conforme indicado na Figura 3.6 (MADUREIRA, 2018).

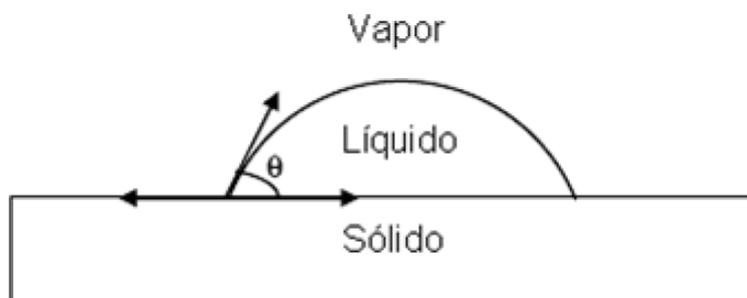
Figura 3.6 – Principais tipos de tensões atuantes numa junta adesiva



FONTE: MADUREIRA, 2018

Outro fator que precisa ser avaliado é a molhabilidade: a propriedade referente ao quanto um líquido pode espalhar-se em uma superfície sólida. Se ocorrer bom espalhamento significa que há boa afinidade adesivo-substrato (SILVA, 2018). Para encontrar a molhabilidade, utiliza-se um ângulo de contato (θ) que é medido entre a linha que tangencia a gota nas imediações da superfície e a linha horizontal da superfície, como indicado na Figura 3.7 (GONDIM, 2016). Diante de tudo isto, há no mercado grande variedade de tipos de adesivos e os principais dentre eles serão descritos em seguida.

Figura 3.7 – Esquematização de um ângulo de contato (θ) entre uma gota líquida e uma superfície



FONTE: SILVA, 2018

3.4.1 Cianoacrilatos

Os cianoacrilatos possuem como grande vantagem, o seu tempo reduzido de cura, e, por isso, também são conhecidos como colas instantâneas. Eles possuem alta aderência a

diversos substratos e boa resistência ao corte. Entretanto, isso se torna uma desvantagem quando se deseja colar grandes áreas: possuem baixa resistência à umidade e ao calor, são frágeis e com baixa capacidade de preenchimento (FANECO, 2014).

Devido a todas estas características, os cianoacrilatos se tornaram uma boa opção para a extensometria, pois são um material de simples utilização e com possibilidade de uso do *strain gage* 10 minutos após a aplicação do adesivo. Nesse caso, não é necessário que haja calor nem catalisador para que a polimerização aconteça, ainda que em alguns casos, estes últimos, possam ser utilizados para diminuir o tempo de reação. Ao que tudo indica, isso ocorre porque quando o adesivo é espalhado na interface dos materiais de estudo, a pequena quantidade de água e de bases fracas são suficientes para desencadear a polimerização. Assim sendo, é necessário imprimir uma pequena pressão durante um período de 1 minuto a 2 minutos para que a polimerização aconteça. Após iniciada, ela prossegue a temperatura ambiente sem aplicação de pressão (DALLY; RILEY, 2005, p.176).

3.4.2 Epóxi

Segundo Dally e Riley (2005), epóxios são polímeros termoendurecíveis que apresentam como vantagens uma alta força de ligação e suporta altas tensões antes de falhar, quando comparado a outros adesivos utilizados na prática de extensometria. Esses sistemas são compostos por um monômero e um agente endurecedor de modo que, quando miscigenados, promovem a polimerização. Os agentes de cura se dividem em dois grupos:

1- Tipo amina: produzem uma reação exotérmica que promove a cura (temperatura ambiente ou temperaturas de cura relativamente baixas);

2- Tipo anidrido: a partir de uma fonte de calor, promovem a polimerização;

Nos sistemas epóxi, deve-se ter cautela na pesagem da quantidade de endurecedor adicionada ao monômero. Caso contrário, as temperaturas de cura do adesivo e as tensões residuais podem ser significativamente adulteradas. Além disso, às vezes são utilizados materiais de enchimento para melhorar a resistência da ligação e reduzir o coeficiente de temperatura de expansão do epóxi. Por exemplo, a inserção de partículas micrométricas de sílica pura em quantidades de 5% a 10% (DALLY; RILEY, 2005, p.175).

3.4.3 Adesivos de poliéster

Os poliésteres também são um sistema de dois componentes, que possuem como benefícios a alta resistência e o alto módulo de cisalhamento, além de ter a capacidade de polimerizar em temperaturas baixas (5°C). Suas desvantagens estão relacionadas a baixa resistência ao descascamento e a solventes quando comparado aos epóxis (DALLY; RILEY, 2005, p. 177).

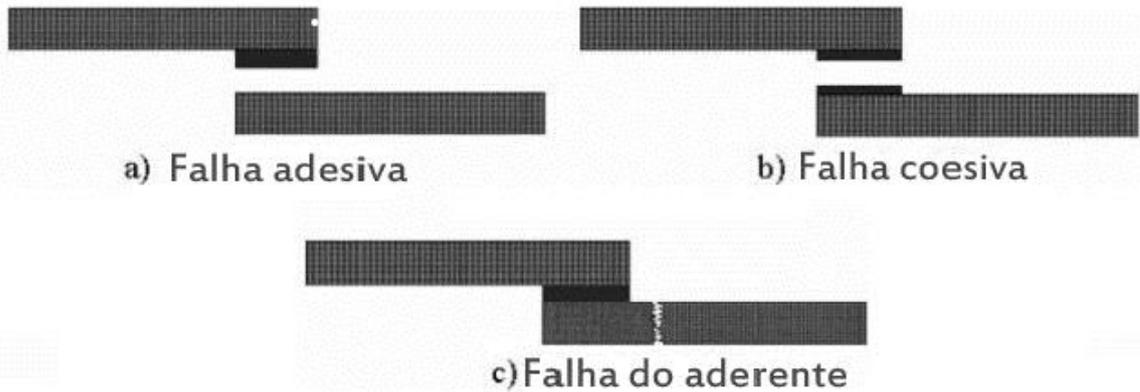
3.4.4 Cimentos Cerâmicos

No caso dos adesivos cerâmicos, é utilizada uma mistura de pós-combinados com ácido fosfórico, além de solventes e aglutinantes. Tudo isso visa formar uma mistura líquida de fácil manuseio. Inicialmente, aplica-se uma camada de cimento cerâmico que é queimada, formando um isolamento entre a grade de medição e o componente. Em seguida, aplica-se uma segunda camada para unir o medidor. Esse tipo de cimento é utilizado, sobretudo, para aplicações em altas temperaturas ou em ambientes contendo radiação, locais em que adesivos orgânicos não podem ser utilizados. Por outro lado, infelizmente, muitos desses produtos possuem composições próprias que dificultam a seleção adequada (DALLY; RILEY, 2005, p.177).

3.5 Modos de falha de juntas adesivadas

Os modos de falha de juntas coladas podem ocorrer devido aos tipos de carregamento, à geometria da junta e à qualidade da união adesiva, ou seja, a qualidade das forças de adesão e de coesão. Neste contexto, os principais tipos de falha de juntas simples coladas são o de falha adesiva, falha coesiva e falha do aderente (Figura 3.8).

Figura 3.8 – Principais tipos de falha de juntas simples coladas

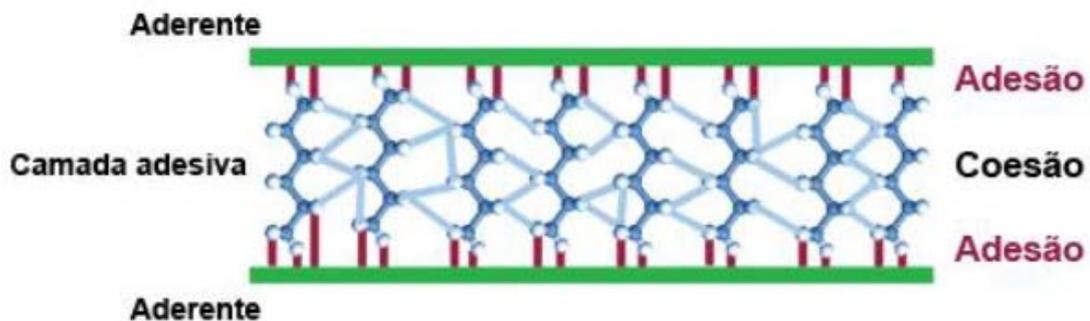


FONTE: MADUREIRA, 2018

A falha adesiva (Figura 3.8a) ocorre na interface adesivo/aderente de modo que um dos aderentes permanece integralmente unido com o adesivo enquanto o outro fica sem resíduos adesivos. Sua causa é atribuída a uma superfície do aderente com tratamento superficial de baixa qualidade, contendo defeitos de fabricação (MADUREIRA, 2018). Vale ressaltar que, em alguns casos, a falha adesiva é confundida com a coesiva, pois pode existir uma película de espessura extremamente fina e que, inicialmente, seja considerada sem adesivo (FANECO, 2014).

A falha coesiva (Figura 3.8b) ocorre quando a interação adesivo-aderente é mais forte que a interação adesivo-adesivo, ou seja, quando as ligações de coesão são rompidas (Figura 3.9). Sendo assim, após o rompimento, é possível perceber fragmentos adesivos nas duas superfícies do aderente (FANECO, 2014).

Figura 3.9 – Exemplo de forças de adesão e coesão entre superfícies aderentes



FONTE: MADUREIRA, 2018

A falha do aderente (Figura 3.8c) é aquela em que a fratura ocorre no próprio substrato, ou seja, ocorre uma falha estrutural do aderente (FANECO, 2014). Nos casos em que

essa falha ocorre nos substratos metálicos, ela geralmente se deve à tensão longitudinal levando a seu rompimento transversal (MADUREIRA, 2018).

Portanto, para evitar falhas em juntas é necessário a avaliação de diversos fatores, o que contribui para a complexidade desta análise. Alguns exemplos desses aspectos são: espessura dos aderentes e adesivos, comprimento da região a ser colada (*overlap*), geometria da junta, tratamento superficial, materiais a serem unidos, propriedades mecânicas do adesivo e do aderente, umidade e temperatura (MADUREIRA, 2018).

3.6 Seleção de Materiais

O trabalho de selecionar materiais busca escolher aqueles que mais se adequam a uma determinada aplicação e que irão exibir melhor custo-benefício (CHATTERJEEA, ATHAWALEB, CHAKRABORTY, 2011) Nesse contexto, surge um dos maiores estudiosos da área: Michael Ashby. Segundo Ashby (2012), para realizar uma seleção de materiais, são necessárias as seguintes etapas:

- 1ª etapa: tradução; este processo, inicia-se a partir de um banco de dados de materiais. Neste momento, são examinados os requisitos de projeto, quais serão as aplicações, quais são as restrições impostas, entre outros. Basicamente, são levantadas as informações e perguntas presentes na Tabela 3.1:

Tabela 3.1 - Função, restrições, objetivos e variáveis livres

Etapa	Descrição da etapa
Função	O que o componente faz?
Restrições	Quais são as condições não negociáveis que ele deve cumprir? Quais são as condições negociáveis, porém desejáveis, que ele deve cumprir?
Objetivo	O que deve ser maximizado ou minimizado?
Variável Livre	Quais são os parâmetros do problema que o projetista tem liberdade de mudar?

* Às vezes é útil distinguir entre restrições “absolutas” e “relativas”. Rigidez e resistência devem ser requisitos absolutos (restrições absolutas); custo pode ser negociável (restrição relativa).

FONTE: Adaptado de ASHBY, 2012

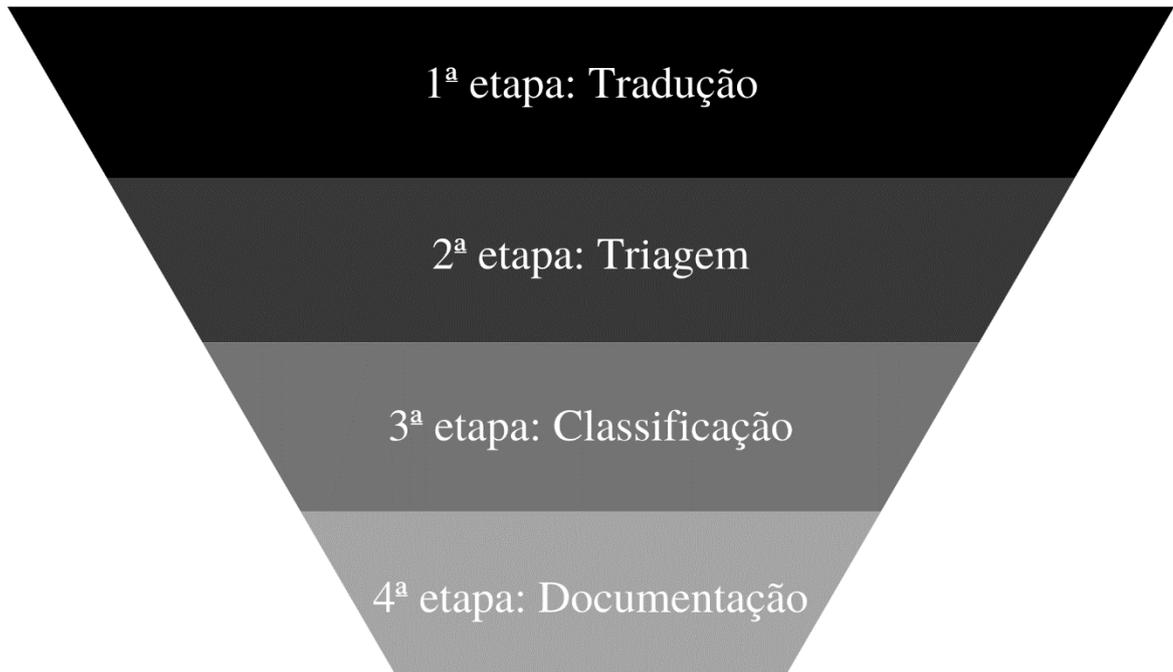
Segundo (BAXTER et al apud SANTOS, 2012), com relação as funções existem 3 básicas: uma função prática, ou seja, referente ao uso do objeto, aspectos ergonômicos, de fabricação, custos, mecanismos de funcionamento, legibilidade, entre outros. Há a função estética, que está relacionada a percepção das pessoas, cores, texturas, odores, sons, sabores, entre outros.

Há também a função simbólica, relacionada ao psicológico, as emoções e a percepção de valor por parte do cliente.

- 2ª etapa: triagem; nesta fase, os materiais que não cumprem os requisitos são eliminados e, somente aqueles que foram aprovados, passam para a próxima etapa.
- 3ª etapa: classificação; nesta etapa, os materiais aprovados na triagem são reavaliados segundo a perspectiva da função requerida. Assim, são selecionados os materiais que tiverem os melhores níveis de desempenho.
- 4ª etapa: documentação; ao chegar nesta fase, temos uma listagem curta de possíveis candidatos. Portanto, o objetivo aqui é encontrar descrições mais detalhadas de cada material, coletando informações dos fabricantes e/ou realizando ensaios. Não consiste apenas em escolher o primeiro candidato da classificação, mas realmente aprofundar e investigar. Por exemplo, há um histórico de utilização desse material em uma aplicação semelhante? Se a resposta for sim, há mais uma certificação de que se tem um bom candidato.

Portanto, a seleção de materiais é ilustrada pela imagem de um funil (Figura 3.10). Ou seja, inicialmente considera-se uma grande gama de materiais. E, a cada etapa do processo, essa quantidade vai sendo reduzida com base nos requisitos de projeto e critérios de eliminação previamente estabelecidos até chegar a um único material (SCHELESKI, 2015). Esta escolha final será baseada em diversos fatores, tais como, questões locais e financeiras, disponibilidade de fornecedores e equipamentos, entre outros (BOTELHO, 2019).

Figura 3.10 – Funil esquemático da seleção de materiais



FONTE: Elaborada pela autora, 2020

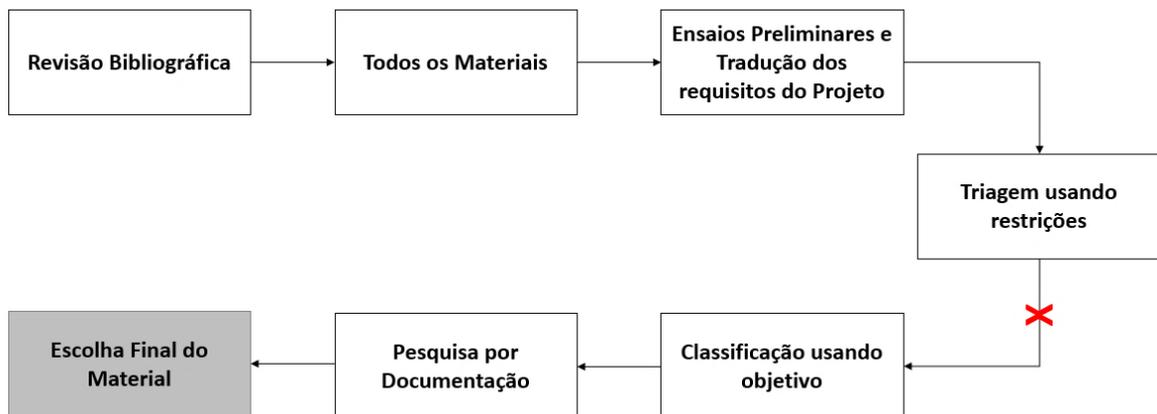
O Índice de Mérito (IM) surge como uma forma de identificar quais características são relevantes para um determinado projeto e como abordá-las de maneira matemática a fim de auxiliar durante o processo da escolha do material. Ele consiste em uma fração da variável que se deseja maximizar dividido pela propriedade que se deseja minimizar. Dessa forma, o melhor e mais adequado material será aquele que apresentar maiores resultados. Para concluir, deve-se estabelecer uma função do produto ou componente (FERRANTE apud SANTOS, 2012).

- Estabelecimento de uma função do produto ou componente: pode ser feita por uma inspeção do objeto;
- Estabelecimento do objetivo principal: apresenta o requisito imposto na etapa de seleção: pode ser expresso por uma equação;
- Identificação da restrição: expressa por uma equação cuja forma é determinada pela função do produto que se deseja obter.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

As etapas utilizadas neste trabalho estão resumidas na figura 4.1.

Figura 4.1 – Fluxograma da Metodologia



FONTE: Elaborada pela autora, 2020

4.1 Materiais

Excepcionalmente, em função da pandemia do Corona Vírus, decidiu-se trabalhar pela via que será apresentada no tópico “4.2 Métodos”. Por meio dela, os únicos materiais utilizados foram computador e internet.

4.2 Métodos

Na etapa inicial, foram analisados artigos relacionados à caracterização de propriedades mecânicas de adesivos; fichas técnicas, fichas de informações de segurança de produto químico e catálogos de produtos em sites de potenciais fornecedores. Ensaio preliminares utilizaram *strain gage* uniaxial com base de poliamida e adesivo do tipo cianoacrilato, base química composta por metil cianoacrilato (produto D1), pois estes foram referenciados como os mais utilizados para ensaios de curta duração. Após a realização dos ensaios observou-se que a falha foi do tipo “falha adesiva”, visto que o adesivo se descola do substrato metálico, mas permanece aderido ao *strain gage*.

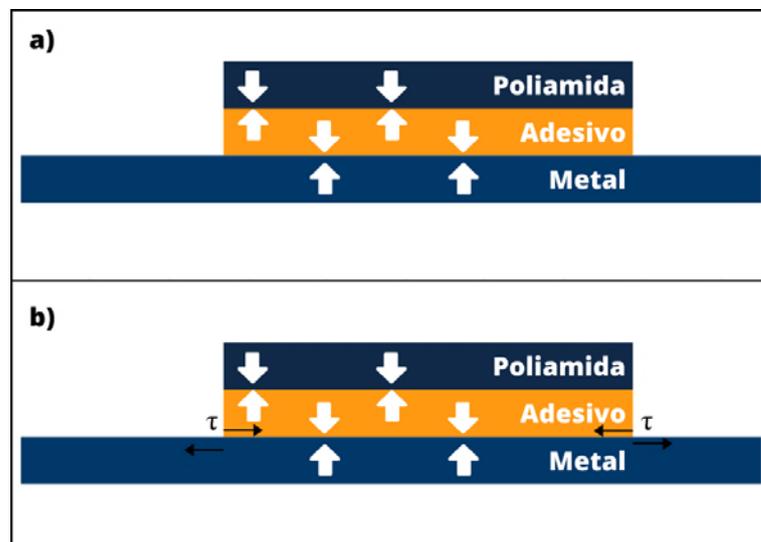
Os requisitos levantados como os mais interessantes para a aplicação demandada foram expressos como tradução dos requisitos do projeto, sendo eles: função, restrições, condições negociáveis, objetivos e variáveis livres. Essa etapa foi considerada para fins de

metodologia deste projeto, mas também pode ser considerada como resultado visto que apenas após todo o estudo levantado é que foi possível definir estes requisitos.

A função do produto foi definida como o de manter duas superfícies unidas (FIGUEIREDO, 2017). As restrições não negociáveis do projeto definidas foram:

- Resistência ao cisalhamento compatível com a demanda: após a cura completa do adesivo, surgem forças de adesão conforme esquematizado pelas setas brancas na Figura 4.2a. Estas são responsáveis por manter o conjunto poliamida-adesivo-metal unidos. Quando o ensaio começa, o corpo de prova metálico vai sendo gradativamente tracionado e, conseqüentemente, surgem as forças de cisalhamento na interface adesivo-metal (Figura 4.2b). Como o modo de falha que ocorreu em testes anteriores foi justamente na interface adesivo-metal, e supondo que a preparação e limpeza da superfície metálica estava correta, entendeu-se ser necessário que a nova solução adesiva possua, comparativamente ao adesivo anterior, uma maior resistência ao cisalhamento.

Figura 4.2 – Representação esquemática das forças de adesão no conjunto poliamida-adesivo-metal



(a) Representação após a cura completa do adesivo. (b) Representação do mesmo conjunto quando submetido à Ensaio de Tração gerando forças de cisalhamento (τ)

FONTE: Elaborada pela autora, 2020

- Temperatura de cura do adesivo até 150°C: a temperatura aproximada de fusão das poliamidas está entre 177°C e 260°C (WIEBECK E HARADA, 2005). Como o ponto de fusão dos polímeros consiste em uma faixa de temperaturas e não um valor único e

preciso, considerou-se uma margem de segurança. Assim, foi estabelecida uma temperatura de cura do adesivo de até 150°C para que não ocorra fusão nem degradação da base do *strain gage*.

- Módulo de elasticidade intermediário: para que o adesivo seja capaz de transferir as deformações do material metálico para o *strain gage* sem atenuação, é necessário que o material possua uma rigidez intermediária: entre a rigidez da Poliamida e a do substrato metálico. Ou seja, não ser nem tão flexível quanto a poliamida nem tão rígido quanto o metal. Dessa forma, a propriedade mecânica que mede a rigidez de um material sólido é o módulo de elasticidade (CALLISTER,2012). Isso é importante para que o adesivo não seja uma resistência a deformação, que ele se deforme juntamente com o metal.
- Quantidade disponibilizada adequada: a área superficial dos *strain gages* é pequena, por isso, a quantidade de adesivo necessário também é. Este é um ponto importante visto que está relacionado ao custo dos materiais e a busca por sustentabilidade, evitando desperdícios.

As restrições negociáveis, porém, desejáveis, do projeto foram definidas da seguinte forma:

- tempo de cura reduzido: em termos de facilidade e praticidade do processo, foi estabelecido o desejo por adesivos com tempo de cura comparativamente menor;
- filme de espessura fina (baixa viscosidade): para que as perdas de energia sejam minimizadas no momento da transferência das deformações, tentou-se encontrar adesivos que formassem filme de espessura fina, o que está relacionado à viscosidade do material;
- tempo de entrega reduzido: quanto mais rápido for possível acessar esses adesivos, mais rapidamente ocorrerá sua aplicação e benefícios;
- temperatura de cura, preferencialmente, a frio: tendo em vista as considerações já mencionadas a respeito do ponto de fusão das poliamidas juntamente com a busca pela praticidade e mais fácil aplicabilidade do processo; estabeleceu-se este critério como desejável;
- adesivo monocomponente: ou seja, adesivo fornecido em um único componente para que não seja necessário dosar os componentes.

O objetivo desejado é que as forças de adesão, sobretudo, com o substrato metálico sejam maximizadas e o custo do adesivo seja economicamente atrativo. Além disso, foram consideradas variáveis livres a empresa fornecedora do adesivo e eventuais características não

abordadas e que poderiam vir a ser estudadas. Todas as especificações abordadas acima foram compiladas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Função, restrições, objetivos e variáveis livres do Projeto

Etapa	Descrição da etapa
Função	Manter duas superfícies unidas (FIGUEIREDO, 2017);
Restrições: condições não negociáveis	<ul style="list-style-type: none"> • Resistência ao cisalhamento compatível com a demanda; • Temperatura de cura do adesivo até aproximadamente 150°C; • Módulo de elasticidade intermediário: Rigidez intermediária: entre a rigidez da poliamida e a do substrato metálico; • Quantidade disponível adequada;
Restrições: condições negociáveis, porém desejáveis	<ul style="list-style-type: none"> • Adesivos acrilatos ou epóxi • Temperatura de cura, preferencialmente a frio; • Tempo de cura reduzido; • Filme de espessura fina (baixa viscosidade); • Tempo de entrega reduzido; • Adesivo pronto para utilização (monocomponente)
Objetivo	A adesão com o substrato precisava ser maximizada e o custo ser atrativo;
Variável Livre	O projetista possuía liberdade de mudar o fornecedor do adesivo, além de restrições que não tivessem sido abordadas acima e que poderiam ser estudadas.

FONTE: Elaborada pela autora, 2020

Após as definições descritas, foi realizada uma ampla busca por empresas fabricantes e distribuidoras de adesivos dos mais variados tipos. O contato foi feito via e-mail, telefone, aplicativo de mensagens, entre outros. Além disso, lojas de distribuição de materiais de construção foram visitadas, buscando encontrar maior quantidade de empresas fabricantes de adesivos, ter referências visuais quanto aos tamanhos disponibilizados e perceber qual a viabilidade prática de compra desses materiais. A partir dessas informações coletadas e dos catálogos de produtos levantados, as informações mais relevantes foram reunidas em planilhas de Excel para melhor controle e acompanhamento. Em seguida, foi realizada uma triagem visando eliminar as empresas e os materiais que não atendiam as restrições do projeto. No entanto, nesta etapa encontrou-se uma objeção.

Inicialmente, foi proposto que após a triagem, seria feita a classificação por meio do objetivo daqueles produtos que, provavelmente, teriam os melhores resultados.

Posteriormente seria realizado a “documentação” dos materiais mais bem classificados, consultando, para isso, os sites de fornecedores do Brasil, catálogos de produtos e artigos complementares. Com os materiais melhor qualificados ao final de todo esse processo, seriam montadas tabelas comparativas das propriedades levantadas com seus respectivos Índices de Mérito e o melhor e mais adequado material seria escolhido.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na etapa inicial realizou-se uma revisão bibliográfica e estabeleceu-se uma metodologia por meio da etapa de tradução dos requisitos do projeto. Então, foi feito o levantamento de dados de 37 marcas diferentes de adesivos levando à triagem dos materiais.

5.1 Triagem das Empresas e dos Materiais

Para realizar a triagem das empresas e dos materiais, entendeu-se a necessidade de que os adesivos a serem selecionados, além de poderem ser utilizados para extensometria, fossem do tipo estruturais. Sendo assim, a partir das pesquisas realizadas, elaborou-se uma representação esquemática em formato de Diagrama de Venn (Figura 5.1). O grupo dos principais adesivos estruturais unido aos principais adesivos recomendados para extensometria, resultou na interseção dos grupos definidos, são eles, os acrilatos e os adesivos epóxi. Os demais adesivos não contemplados nestes dois grupos foram denominados como “outros tipos de adesivos e colas” que são representados, por exemplo, por empresas que fabricam somente fitas adesivas.

Figura 5.1 – Diagrama de Venn dos principais adesivos

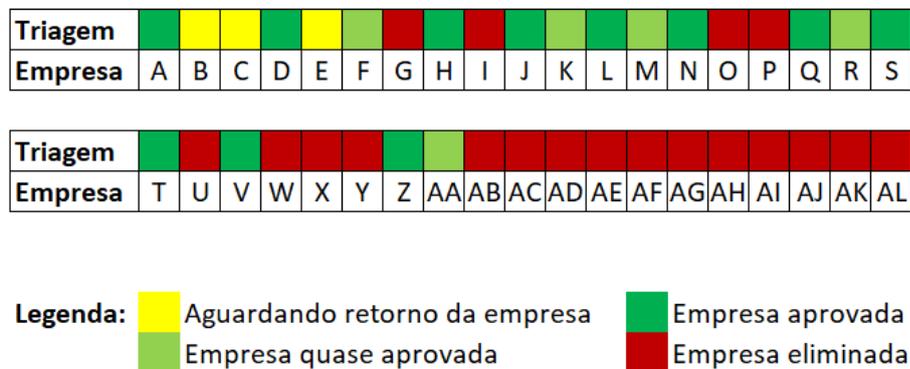


FONTE: Elaborada pela autora, 2020

Para a primeira triagem das empresas, optou-se por aquelas que possuíam viabilidade de compra rápida no Brasil e que vendiam adesivos de acrilato e/ou epóxi. Então, partindo de 37 empresas iniciais, após a etapa de triagem, foram escolhidas somente 10 para a

etapa seguinte. Para preservar o nome das marcas, foi atribuído a cada uma delas letras do alfabeto, conforme ilustrado na Figura 5.2. Na imagem, as empresas com coloração verde escuro são aquelas que forneceram catálogos e/ou informações mínimas suficientes sobre seus produtos, tinham produtos de rápido acesso para o Brasil e que vendiam adesivos do tipo acrilato e/ou epóxi. As empresas em verde claro ou amarelo são aquelas que disseram que ainda dariam algum retorno sobre as informações solicitadas. As empresas em vermelho contemplam as internacionais e/ou com difícil compra em território brasileiro; ou que não possuíam em seu catálogo colas do tipo acrilato e/ou epóxi.

Figura 5.2 – Relação das Empresas Aprovadas na 1ª Triagem



FONTE: Elaborada pela autora, 2020

Entre as 10 empresas inicialmente selecionadas, foi realizada uma segunda triagem levando em consideração os materiais disponíveis em seus respectivos catálogos e os requisitos do projeto descritos anteriormente na metodologia. A empresa G, apesar de ter produtos com base epóxi, foi desconsiderada, pois seus produtos só eram vendidos em grandes quantidades. Neste momento, foram eliminados todos os materiais que não eram compostos por acrilatos nem por epóxi. Ao entrar em contato com o suporte técnico da empresa H, foi recomendado a utilização do adesivo H1 para a aplicação desejada neste projeto. Este adesivo é um bicomponente à base de resina epóxi. Além disso, no site da empresa D foi possível selecionar quais tipos de substratos desejava-se unir; ao escolher a opção poliamida e metal, o adesivo sugerido foi o D2 que também é um adesivo estrutural à base de resina epóxi.

A partir dessa triagem, para cada um dos produtos restantes foi atribuído um código do tipo Letra-Número. Em que a letra representa o nome da empresa conforme já descrito na figura 5.2 e o número representa um material presente no catálogo desta empresa.

5.1.1 Adesivo D1 (Grupo controle)

Segundo informações da empresa D, ela é uma marca mundial que produz adesivos, vedantes e produtos para tratamento de superfícies. Com mais de 10 mil funcionários, oferecem soluções que proporcionam adesivos mais eficientes, resistentes, fortes e duradouros. Assim, possuem uma extensa gama de produtos até mesmo para aplicações industriais muito exigentes.

Apenas para se ter um objeto de comparação, o adesivo D1 em que ocorreu falha, utilizado nos ensaios preliminares será aqui descrito. Ele é um adesivo a base de metil cianoacrilato, de uso geral e indicado para adesão de substratos metálicos conforme segue a descrição (Tabela 5.1). Sob condições normais, a própria umidade da superfície inicia o processo de cura. Apesar da resistência funcional plena ser obtida em um período relativamente curto, a cura prossegue por no mínimo 24 horas antes que se obtenha a resistência total a produtos químicos/solventes.

Tabela 5.1 – Descrição do produto D1

Descrição	Valores
Tecnologia	Cianoacrilato
Aparência (não curado)	Líquido transparente, incolor
Componentes	Monocomponente – não necessita de mistura
Viscosidade	Baixa
Cura	Umidade
Aplicação	Adesão
Principais substratos	Metais, borrachas e plásticos

FONTE: ADAPTADO DA EMPRESA D

5.1.2 Adesivo D2

O D2 é um adesivo epóxi que oferece excelente resistência a uma ampla variedade de plásticos e metais. Ideal para montagens industriais de uso geral, é um material de viscosidade média e com vida útil média. Segundo o fabricante, após misturado, o epóxi de dois componentes cura em temperatura ambiente para formar uma linha de adesão dura e esbranquiçada que oferece alta resistência ao descascamento e ao cisalhamento. O epóxi totalmente curado é resistente a uma ampla gama de produtos químicos e solventes e atua como um excelente isolante elétrico.

Tabela 5.2 – Informação Técnica do Adesivo D2

Descrição	Valores
Aplicações	Adesão de plástico
Características principais	Resistência ao cisalhamento: resistência de cisalhamento elevada; resistência ao descascamento: resistência ao descascamento elevada; temperado; tempo de trabalho: tempo de trabalho médio; viscosidade: viscosidade média.
Cor	Branco: off-white
Full Cure Temperature	77°F
Mix Ratio	8.402777777777798E-2
Número de componentes	Bicomponente
Shear Strength Unit, Steel	psi
Shear Strength, Steel	3270
Substratos	Concreto, madeira, metal: alumínio, metal: aço – aço inoxidável, plástico, poliamida (Nylon), policarbonato
Tecnologia	Epóxi
Temperature Resistance	250°C
Tipo de cura	Cura à temperatura ambiente
Viscosity	30000 mPa.s (cP) Brookfield
Viscosity Part A (resin)	40000 – 90000 mPa.s (cP) Brookfield
Viscosity Part B (Hardener)	5500 – 8000 mPa.s (cP) Brookfield
Viscosity Temperature	77°F

FONTE: ADAPTADO DA EMPRESA D

5.1.3 Adesivo H1

A empresa H, conforme informações prestadas pela mesma, é uma das únicas empresas nacionais especializadas na produção e comercialização de colas e selantes de alto desempenho e com tecnologia vanguardista. Ela é uma indústria, portanto, do setor químico e seus produtos aplicam-se a todos os segmentos industriais tanto a nível Brasil quanto América Latina.

Ela possui em seu catálogo uma tabela correlacionando o tipo de substrato com o tipo de adesivo mais adequado para cada situação. Dentre as mais de 20 opções de substratos, considerou-se os mais próximos dos desejados para este projeto: aço, alumínio e plástico. Tendo em vista apenas o catálogo disponibilizado, havia 7 opções de adesivos (veja materiais destacados na figura 5.4), entretanto, ao entrar em contato com o suporte técnico da empresa o

produto mais recomendado foi o H1. Além disso, considerando a triagem anteriormente descrita, somente serão avaliados aqueles de acrilato ou epóxi, são eles:

Figura 5.3 – Esquema dos produtos da empresa H

	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	
Aço	●	●	●	●	●	●				●				●			●						
Alumínio	●	●	●	●	●	●				●			●	●	●		●	●					
Plástico*	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●								

● Altamente Recomendável ● Recomendável *Exceto polipropileno, polietileno e Nylon®

FONTE: ADAPTADO DA EMPRESA H

De acordo com seu catálogo, o adesivo H1, em específico, é um material bicomponente à base de resina epóxi. Ele é indicado para reparos domésticos, artesanato e setor industrial. Ele permite a fixação e colagem dos mais diversos materiais lisos, porosos ou irregulares, como azulejos, madeira, vidro, concreto, a maioria dos plásticos, customização de chinelos e outros. Além disso, possui altíssima resistência (até 70°C), sua secagem ocorre em 10 minutos, e cura total em 8 horas. Sua utilização é indicada para indústria moveleira, artesanato e bricolagem.

5.1.4 Adesivo H2

Segundo o catálogo da empresa, H2 é um adesivo bicomponente à base de resina epóxi. É um adesivo transparente que fixa e cola diversos materiais lisos, porosos ou irregulares. Seu acabamento permite a colagem de joias, bijuterias, metal, vidro, acrílico, a maioria dos plásticos e outros materiais. Ele é resistente até 70°C, sua secagem ocorre em 5 minutos e sua cura total em 8 horas. Indicado para área moveleira, artesanato e bricolagem.

5.1.5 Adesivo H3

H3 é um adesivo bicomponente à base de resina epóxi, conforme descrito pela empresa. Este material é indicado para utilização em pequenas superfícies de materiais lisos, porosos ou irregulares, como azulejo, madeira, vidro, concreto, fibras naturais, pedras, a maioria dos plásticos rígidos (exceto PP, PE e Nylon®), metais e outros materiais. Caso

necessário, é possível realizar a colagem debaixo d'água. Ele é resistente até 70°C, sua secagem ocorre em 10 minutos e sua cura total em 8 horas. Indicado para indústria e bricolagem.

5.1.6 Adesivo H4

Segundo o fabricante, H4 é um adesivo bicomponente à base de resina epóxi. Para colar, fixar, vedar, reparar e moldar. Indicado para granito, mármore, vidro, concreto, metais, cerâmica, azulejos, louça, borracha, madeira e outros materiais. Resistente até 80°C, seca em 2 horas e tem sua cura total em 24 horas. Uso em artesanato e bricolagem.

5.1.7 Adesivo H5

Como descrito no catálogo da empresa, H5 é um adesivo bicomponente à base de resina epóxi. Indicado para reparos domésticos e artesanato. Realiza fixação e colagem com rapidez em diversos materiais lisos, porosos e irregulares, como: azulejos, madeira, vidro, concreto e outros. Resistente à 70°C, sua secagem ocorre em 2 minutos e cura total em 2 horas. Uso em artesanato, moveleira e bricolagem.

5.1.8 Adesivo H6

Segundo a empresa, H6 é um adesivo bicomponente à base de resina epóxi. Adesivo de alto poder de adesão para colagem de grandes superfícies lisas, porosas ou irregulares. Altíssima resistência mecânica. Resistente até 80°C, com sua cura total em 24 horas. Uso em indústria moveleira e bricolagem.

5.1.9 Adesivo A1

Semelhantemente ao adesivo H1, tem-se o A1. Conforme descrição do fabricante, este adesivo é um bicomponente de resina (Resina epóxi) e endurecedor (Dimetildipropiltriâmina, trietilenoglicol-dimercaptano; 2,4,6-tris (dimetilaminometil fenol). No uso profissional e doméstico, é indicado para reparos e colagens de pequenas superfícies de materiais lisos, porosos ou irregulares como azulejos, madeira, vidro, concreto, fibras naturais, pedras, a maioria dos plásticos rígidos (exceto polipropileno, polietileno e Nylon®), metais e

outros materiais. Resistente a temperaturas de até 70°C, com cura inicial em 10 minutos e total em 8 horas. Este foi um adesivo recomendado por uma das distribuidoras contactadas.

Tabela 5.3 – Informação Técnica do Adesivo A1

ESPECIFICAÇÕES	RESINA	ENDURECEDOR
Aparência visual	Líquido	Líquido viscoso amarelo
Viscosidade aparente a 25°C	20.000 a 40.000 cps	25.000 a 65.000 cps
Relação da mistura em peso A:B (peso ou volume):		1:1
Tempo para utilização da mistura:		5 minutos
Tempo de secagem inicial:		10 minutos
Tempo de cura total:		8 horas
Temperatura de aplicação:		+5 a 35°C
Temperatura de trabalho:		-30 a 70°C
Resistência ao cisalhamento (Kgf/cm ²):		≥ 200

FONTE: ADAPTADO DA EMPRESA A

5.1.10 Adesivo J1

O adesivo J1 é constituído por uma massa epóxi poliamida de dois componentes para uso geral, suas principais características estão descritas abaixo:

Tabela 5.4 – Informação Técnica do Adesivo J1

Descrição	Valores
Características	
Média tixotropia	Resistência mecânica
Aplicada com espátula ou com as mãos molhadas	Resistência à corrosão
Não é solúvel em combustíveis derivados de petróleo	Resistência à abrasão
Não é necessário homogeneizar os componentes em separado	Isolante elétrico
Principais aplicações	
Como revestimento ou reparo em:	Como isolamento elétrico em:
Tubulações, tanques, carcaças de motores e rotores	Emendas e conexões
Estruturas localizadas em ambientes agressivos	Anodos
Características físico-químicas	
Cor do componente A	amarela
Cor do produto pronto para uso	verde
Peso específico a 25°C	1,6g/cm ³
Sólidos totais por volume	100%
Tempo de endurecimento livre ao toque a 25°C	1h30min

Tempo de cura a 25°C		24 horas
Proporção de mistura		1 parte A: 1 parte B em peso
Consumo teórico na espessura de 1 mm		1,6kg/m ²
Resistência à temperatura	Serviço	80°C
	Pico	110°C
Tempo de estocagem	1 ano na embalagem original, em local protegido.	

FONTE: ADAPTADO DA EMPRESA J

5.1.11 Adesivo S1

S1, segundo dados da própria empresa, é um adesivo instantâneo multiuso, possui elevada resistência e alta velocidade de cura, é um adesivo monocomponente com base em cianoacrilato de etila. Sua cura ocorre quando em contato com a umidade do ambiente, assim, promete proporcionar uma distribuição uniforme e alta resistência à tração e/ou corte. Rápida colagem em uma grande variedade de materiais, como: metal, couro, madeira, borracha, EVA, viton, porcelana, cerâmica, ferro, aço, cortiça, cartolina, PVC, papel e plástico (Exceto polietileno, polipropileno, polímeros fluorados / resinas antiaderentes (PTFE), superfícies siliconadas). Não recomendado para tecidos e isopor® (marca reg. Knauff Isopor Ltda.)

Tabela 5.5 – Propriedades do material que compõe o Adesivo S1

Descrição	Valores
Viscosidade (cPs):	80 – 150
Aspecto	Líquido Incolor
Odor	Leve e característico, caracterizado como baixo odor
Cura Inicial (seg.):	02 – 12 (conforme substrato)
Solubilidade	Acetona, MEK

FONTE: ADAPTADO DA EMPRESA S

Apesar da resistência funcional ser obtida em segundos, a cura total do produto ocorre em 24 horas, atingindo sua máxima resistência a produtos químicos/solventes e mecânica. A velocidade de cura deste produto depende da folga, da umidade e do substrato. A velocidade de cura é acelerada quando existem menores folgas e maiores níveis de umidade controlada. Caso isso não ocorra, é possível a aplicação de um ativador na superfície para acelerar a velocidade de cura, nestes casos recomenda-se a realização de testes prévios.

Tabela 5.6 – Propriedades do material curado (S1)

Descrição	Valores
Cor	Translúcido em condições normais de cura
Aspecto	Sólido, material plástico
Ponto de derretimento	130°C
Cura Total	24 horas
Resistência Final	≥ 100kgf/cm ² (variando conforme substrato)
Faixa de trabalho	-50 a 80°C

FONTE: ADAPTADO DA EMPRESA S

5.1.12 Adesivo R1

Segundo informações prestadas pela empresa R, o adesivo R1 é do tipo instantâneo sendo capaz de colar porcelana, metal, couro, madeira, borracha, bijuteria, plástico e papel. Sua recomendação ideal é para artesanato, mas também pode ser utilizada em aplicações profissionais, especialmente, marceneiros que necessitam de força e precisão na finalização de seus trabalhos. Menor tamanho encontrado para venda foi de 3g.

5.1.13 Adesivo R2

A empresa R diz que o adesivo R2 é o mais “forte” do mercado, prometendo adesivar o que outros adesivos não colam. Com relação a sua composição química, é um adesivo epóxi líquido bicomponente para colagens e reparos resistentes em diversos materiais, inclusive vidros. Embalagem mínima contém 16g.

5.1.14 Adesivo Y1

Segundo a empresa, Y1 é um adesivo instantâneo, recomendado para adesões que necessitem alta velocidade de cura e excelente resistência. É um monocomponente a base de cianoacrilato e, portanto, não necessita de mistura. O processo de cura deste material é iniciado quando o adesivo entra em contato com umidade. Embalagem mínima contém 5g.

5.1.15 Adesivo Y2

É um adesivo do tipo epóxi 10 minutos, bicomponente, utilizado para colagem e reparos dos mais variados materiais. Uso profissional e doméstico. Embalagem mínima contém 22g.

5.1.16 Adesivo Y3

Conforme informações disponibilizadas pela empresa, o adesivo Y3 é do tipo instantâneo, monocomponente e foi desenvolvido especialmente para a adesivagem de materiais diversos. A embalagem mínima encontrada é de 5gr.

5.1.17 Adesivo P1

Conforme descrição do fabricante, P1 é um adesivo epóxi, bicomponente, com cura inicial em 10 minutos e total de 24 horas. É um material ideal para pequenos reparos, utilização doméstica, indústria e artesanato, como colagem de superfícies lisas, porosas ou irregulares, por exemplo, de madeira, azulejo, pedra, metal, fibra natural, borracha vulcanizada, entre outros materiais que exigem mais tempo de contato entre as partes para garantia das características mecânicas. Embalagem mínima de 40g (20g de cada componente).

5.1.18 Adesivo P2

O adesivo P2 é um monocomponente a base de cianoacrilato, incolor e, conforme descrito pela empresa, é indicado para adesivagens que necessitam de alta velocidade de cura. É recomendado para borrachas, plásticos e metais. Seu modo de cura ocorre por meio do contato com a umidade do ar, polimerizando em alguns segundos e realizando a adesão.

5.1.19 Adesivo U1 a U12

Tabela 5.7 – Tabela de Produtos da Empresa U

Produto	Polímero	Aspecto	Reatividade	Proporção	Aplicação
U1	Epóxi	Líquido	Média	100:45pp	Sistema para acabamento e laminação para prancha de surf.

U2	Epóxi	Líquido	Média	100:20pp	Sistema para revestimento para prancha de surf.
U3	Epóxi	Líquido	Alta	100:13pp	Sistema para fabricação de maquetes e aeromodelismos e rebolos adesivos.
U4	Epóxi	Líquido Viscoso	Média	100:50pp	Sistema para fabricação de shape de skate e colagem de madeiras diversas (naval).
U5	Epóxi	Líquido Viscoso	Baixa	100:80pp	Sistema universal para colagem 24 horas.
U6	Epóxi	Líquido Viscoso	Alta	100:5pp	Sistema para fixação de cerda de pincéis, cabo de martelo, entre outras ferramentas.
U7	Epóxi	Líquido Viscoso	Média	100:20pp	Sistema para fixação de filtros
U8	Epóxi	Líquido	Alta	100:10pp	Sistema para fixação de cerda de pincéis, cabo de martelo, entre outras ferramentas, podendo ser adicionada carga mineral.
U9	Epóxi	Líquido Viscoso	Alta	100:50pp	Sistema para fixação de mangueiras e mangotes.
U10	Epóxi	Líquido Viscoso	Alta	100:7pp	Sistema para revestimento de britadores.
U11	Epóxi	Pastoso	Baixa	100:80pp	Sistema para colar diversos materiais, entre eles: metais, vidro, pedra, materiais porosos, Sistema Tixotrópico.
U12	Epóxi	Líquido Viscoso	Alta	100:80pp	Sistema indicado principalmente como adesivo ultrarrápido para pequenas áreas, em que é exigida rapidez na fixação aliada ao não escorrimento do adesivo. Cola diversos materiais, entre eles: madeira, metais, azulejo, vidro, cerâmica, borracha, fibras naturais, materiais porosos, plásticos rígidos.

5.1.20 Adesivo M1

Conforme descrição da empresa, M1 contém cianoacrilato, contém 3g e possui um ágil tempo de cura. A fórmula permite ajustar a junta adesivada por cerca de 20 segundos a 60 segundos, possui cura completa de 24 horas, podendo variar de acordo com a superfície, qualidade do produto usado, nível de humidade e temperatura ambiente. É adequada para praticamente todos os materiais flexíveis, sólidos, porosos e não porosos. É um material que suporta vibrações e choques, é flexível, transparente e inodora. Resistente à umidade e a temperaturas de -50 °C a +100 °C. Sua aplicação é universal, porém não recomendada para roupa de cabedal, tecidos, Polietileno (PE) e Polipropileno (PP).

5.2 Discussão dos Resultados levantados

Na etapa de triagem, a maior parte dos fabricantes não possuíam as informações técnicas desejadas e descritas na metodologia, como por exemplo, os valores de resistência ao cisalhamento. Os dados eleitos para pesquisa foram solicitados aos fabricantes, mas até o momento não obtivemos retorno. Levando-se em conta o tempo disponível para finalizar esta etapa da pesquisa, decidiu-se pela avaliação dos adesivos de forma limitada as informações disponibilizadas pelos fabricantes e que não atendiam completamente aos requisitos especificados. Desta forma, adesivos que talvez pudessem preencher os requisitos iniciais não foram escolhidos por ausência de informações e poderão ser testados para verificar suas características mecânicas ao final da pandemia.

6 CONCLUSÕES

Concluiu-se que, os adesivos mais indicados para o tipo de aplicação requerida foram do tipo acrilato e epóxi; o que está alinhado com as referências bibliográficas para o tema. Recomendou-se a padronização das propriedades fornecidas pelos fabricantes de adesivos de forma a permitir a avaliação e uso dos adesivos em mercados diferentes dos que os fabricantes já recomendam para sua utilização. Dentre os adesivos avaliados houve uma correlação maior entre as propriedades requeridas e as propriedades disponíveis dos adesivos H1 e D2.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Recomenda-se a continuidade da pesquisa com ensaios de desempenho dos adesivos estudados para verificação de suas propriedades em condições de uso. Neste projeto, não foram avaliadas a possibilidade de danos a ligação por períodos longos e isso poderá ser objeto de experimentos futuros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, H. C. **Avaliação das características e do desempenho de uma estrutura de paredes finas em ensaios quase estáticos a diferentes taxas de deformação.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) — Departamento de Engenharia de Materiais, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.

AMORIM, C. A. **Efeitos da radiação ionizante nas propriedades de compósitos de poliamida 6 com dióxido de silício coloidal (AEROSIL®).** Dissertação (Mestrado em Ciências) — Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2017.

ANDOLFATO, R. P.; CAMACHO, J. S.; BRITO, G. A. **Extensometria Básica.** Ilha Solteira: Núcleo de Ensino e Pesquisa da Alvenaria Estrutural, 2004.

ANÁLISE experimental de tenso (ESA) com strain-gages. HBM, [201-?]. Disponível em: <<https://www.hbm.com/pt/7226/aANnalise-experimental-de-tenso-esa-com-strain-gages/>>. Acesso em: 14 set. 2020.

APLICAÇÃO de extensômetros. Florianópolis: UFSC, 2019. 22 p.

ASHBY, M. **Seleção de Materiais no Projeto Mecânico.** Tradução de Arlete Simille Marques. São Paulo: Elsevier, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6152: ensaio de tração.** Rio de Janeiro, p.1. 2002.

BOTELHO, T. **Seleção de espuma polimérica para isolamento térmico visando redução de impactos ambientais.** Monografia (Graduação em Engenharia de Materiais) — Departamento de Engenharia de Materiais, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2019.

BRINSON, H. F.). “Engineered Materials Handbook: Adhesives and Sealants. New York: ASM International, 1990 volume 3.

CALLISTER JR., W. D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução.** Tradução de Sérgio Murilo Stamile Soares. 5. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

CANEVAROLO JR., S. **Ciência dos Polímeros**. 2 ed. São Carlos: Artliber, 2006.

CARGAS dinâmicas. Rio de Janeiro: PUC – Rio, 2010. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/16019/16019_5.PDF>. Acesso em: 22 ago. 2019.

CHATTERJEEA, P.; ATHAWALEB, M. V.; CHAKRABORTY, S. **Materials selection using complex proportional assessment and evaluation of mixed data methods**. Elsevier: Materials and Design. 2011.

COMO instalar de forma eficiente os strain gages de elétricos. HBM, [201-?]. Disponível em: <<https://www.hbm.com/pt/8132/videos-sobre-instalaco-de-strain-gauges/>>. Acesso em: 14 set. 2020.

COMO selecionar o strain gauge correto. HBM, [201-?]. Disponível em: <<https://www.hbm.com/pt/7164/como-selecionar-o-strain-gauge-correto/>>. Acesso em: 14 set. 2020.

DALLY, J.; RILEY, W. **Experimental stress analysis**. 3. Ed. Knoxville: CollegeHouseEnterprises, 2005.

DIETER, G. E. **Metalurgia mecânica**. 2. Ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1981.

ESCOLHENDO colas para instalação de strain gauges. HBM, [201-?]. Disponível em: <<https://www.hbm.com/pt/4314/escolhendo-colas-para-instalacao-de-strain-gauges/>>. Acesso em: 14 set. 2020.

EXAMPLE of Strain Gage Bonding Method and Moisture-proof Treatment. KYOWA, [201-?]. Disponível em: <https://www.kyowa-ei.com/eng/technical/notes/bonding_procedure/index.html>. Acesso em: 4 set. 2019.

FANECO, T. M. **Caraterização das propriedades mecânicas de um adesivo estrutural de alta ductilidade**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) — Instituto Superior de Engenharia do Porto. Porto, 2014.

FIGUEIREDO, L. **Propriedades adesivas de polímeros biodegradáveis derivados do glicerol com adição de nanowhiskers de celulose**. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) — Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2017

GONDIM, M. L. **Estudo comparativo do ângulo de contato em tecidos de malha de poliamida tratados com plasma.** Dissertação (Mestrado em Ciências) — Universidade de São Paulo. São Paulo, 2016.

GUILHERME, J. **Extensometria (StrainGauge) – O que é? Quando utilizar?.** Ensus, 2016. Disponível em: <<http://ensus.com.br/extensometria-strain-gauge-o-que-e-quando-utilizar/>>. Acesso em: 27 ago. 2019.

MADUREIRA, Fernando. **Fabricação e controle de espessura de juntas coladas single lap joint:** Caracterização mecânica dos aderentes e do adesivo. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) — Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2018.

MEYERS, M. A.; CHAWLA, K. **Princípios de metalurgia mecânica.** 1. Ed. São Paulo: E. Blucher, 1982.

QUE cola industrial escolher. Disponível em: <<http://guide.directindustry.com/pt/que-cola-industrial-escolher/>>. Acesso em: 11 nov. 2020

PRUDENTE, I. **Comparação de adesivos epoxidícos tenacificados.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e dos Materiais) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

SANTOS, T. **Caracterização experimental de absorvedores de energia híbridos – aço e fibra de carbono.** Monografia (Graduação em Engenharia Automotiva) — Universidade de Brasília. Brasília, 2018.

SANTOS, Z. **Seleção de materiais e análise de valor:** metodologia balanced scorecard de Engenharia da Qualidade aplicada ao estudo do desgaste e coroas de perfuração de uma empresa de sondagem. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) — Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais da REDEMAT. Ouro Preto, 2012.

SCHELESKI, S. **Seleção de Materiais no Projeto de Máquinas e Implementos Agrícolas.** Porto Alegre: PGDesign, UFRGS, 2015.

SILVA, G. B.; COLONETTI, E. **Desenvolvimento e caracterização mecânica de adesivos hot-melt.** Monografia (Graduação em Engenharia Química) — Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC. Criciúma, 2018.

TYPICAL Strain gage Bonding Procedure and Dampproofing. KYOWA, [201-?]. Disponível em: <https://www.kyowa-ei.com/eng/technical/notes/bonding_procedure/index.html>. Acesso em: 17 nov. 2020

WIEBECK, H; HARADA, J. **Plásticos de Engenharia**: Tecnologias e aplicações. Artliber Editora: São Caetano, 2005.