

Faculdade de Engenharia da Universidade de Engenharia



Processos de Fabrico I

Licenciatura em Engenharia Mecânica

Influência dos tratamentos de superfície na carga de rotura de juntas adesivas

Trabalho realizado por:

André Almeida up202107170

André Teixeira Pinto up202106890

Leonor Morgado Pinto up202105113

Miguel Brandão up202104776

Miguel K. Coutinho up202108755

Docente

Eduardo Marques

Dezembro de 2023

Resumo

O presente trabalho foi elaborado no âmbito da Unidade Curricular de Processos de Fabrico I da Licenciatura em Engenharia Mecânica e tem como finalidade estudar o comportamento das juntas adesivas utilizando diferentes tipos de preparações nas respetivas juntas e perceber quais os melhores critérios que avaliam os determinados tipos de juntas.

Para dar início ao nosso trabalho, começou-se por realizar uma revisão bibliográfica dos conceitos abordados no trabalho para melhor compreender os métodos utilizados e assim tomar as melhores conclusões do ato experimental.

Durante a atividade experimental, os alunos prepararam ensaios de três tipos de amostras com tratamentos superficiais diferentes para notar quais seriam as consequências para tais diferenças de tratamentos. Os tratamentos foram a limpeza superficial com acetona, a lixagem e por fim, um tratamento de plasma que altera a superfície química do material. Seguidamente com base numa ferramenta digital, foi conseguido prever os vários resultados com os critérios de Volkersen e Adams et al. no que diz respeito à cedência da junta após ensaio de tração.

Já no laboratório foram realizados os ensaios de tração para comprovar os resultados anteriormente obtidos. E, tal como previsto, foi possível concluir que o tratamento de plasma traz uma maior resistência à junta do que os restantes e que o aumento da área de contacto e o aumento das irregularidades na superfície do substrato que a lixagem fornece, faz com que este seja o segundo mais resistente tratamento superficial, deixando assim a limpeza com acetona como o menos resistente. Algo que também podemos perceber neste ensaio, vem do facto de a resistência ser tão alta com o tratamento de plasma que o tipo de rotura na junta passou de uma rotura adesiva para uma rotura do substrato.

Finalmente para o cálculo destes valores de resistência, foi também concluído que, por ocorrer uma rotura adesiva nos primeiros dois tratamentos superficiais, o melhor tipo de critério para o avaliar seria o critério de Volkersen, enquanto para o tratamento de plasma, dado que a rotura ocorreu no substrato, o melhor critério a utilizar seria o Adams et al.

Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer ao Professor Eduardo Marques, pelas bases teóricas e fundamentos essenciais que nos foram transmitidos, assim como todo o apoio e esclarecimento de dúvidas ao longo do trabalho.

Aos Professores Eduardo Marques e Ricardo Carbas agradecemos pela concretização e ajuda nas aulas laboratoriais durante os tratamentos superficiais e preparação dos adesivos, assim como na execução dos ensaios de tração. Ainda gostaríamos de agradecer ao monitor Luís Peixoto pela ajuda e disponibilização para esclarecer dúvidas pontuais que surgiram.

Índice

1. Introdução	1
2. Revisão Bibliográfica	2
3. Influência dos tratamentos de superfície na carga de rotura.....	4
3.1 Tratamentos Passivos.....	4
3.2 Tratamentos Ativos	4
4. Critérios de rotura	6
4.1 Critério de Volkersen.....	6
4.2 Critério de Cedência Generalizada.....	6
4.3 Critério de Cedência no Substrato	7
5. Procedimento Experimental	8
5.1 Adesivo e Substratos.....	8
5.2 Limpeza com Acetona	8
5.3 Abrasão com Lixa	9
5.4 Tratamento de Plasma	11
5.5 Preparação do adesivo e da união dos substratos.....	11
5.6 Ensaio de tração	12
6. Previsão de Resultados	13
6.1 Critério de Volkersen.....	13
6.2 Critério de Adams et al.....	13
7. Resultados experimentais:	15
7.1 Limpeza manual com acetona:.....	15
7.2 Abrasão manual com lixa:	16
7.3 Tratamento de plasma:	17
8. Discussão de Resultados	19
8.1 Limpeza manual com acetona.....	19
8.2 Abrasão manual com lixa	19
8.3 Tratamento de plasma	19
9. Conclusão	21
Referências Bibliográficas	22
Anexos.....	23

Lista de Figuras

Figura 1:Constituintes de uma junta adesiva	2
Figura 2: Casos de esforços envolvidos na solicitação do adesivo.....	2
Figura 3:Ancoragem mecânica	4
Figura 4: Aplicador do tratamento com plasma	5
Figura 5:Análise de Volkersen	6
Figura 6:Representação do critério de cedência de substrato e do modelo de cedência generalizada	7
Figura 7: Junta de sobreposição simples.....	8
Figura 8: Limpeza dos substratos com acetona	9
Figura 9: Substratos apenas tratados com acetona.....	9
Figura 10: Adesivo e Substrato com marcas de abrasão por lixa.....	10
Figura 11: Direções da abrasão por lixa: a) Vertical; b) Horizontal; c) Diagonal (45 graus para a esquerda e direita)	10
Figura 12: Jato de plasma sob o substrato.....	11
Figura 13: Doseamento do adesivo Araldite 2015	11
Figura 14: Colocação dos pesos	12
Figura 15: Efeito do tratamento de plasma no ensaio de tração	12
Figura 16: Gráfico da distribuição de tensões aplicadas no critério de Volkersern.....	13
Figura 17: Gráfico da carga aplicada no critério de Adams et al.....	14
Figura 18: Rotura da junta de limpeza manual com acetona.	15
Figura 19: Gráfico carga-extensão da amostra de limpeza manual com acetona.	16
Figura 20: Rotura da junta de abrasão manual com lixa.....	16
Figura 21: Gráfico carga-extensão da junta de abrasão manual com acetona.....	17
Figura 22: Rotura da junta de tratamento de plasma.....	17
Figura 23: Gráfico carga-extensão da junta de tratamento de plasma.	18

Lista de Tabelas

Tabela 1: Dimensões da junta	8
Tabela 2: Propriedades do Polietileno de alta densidade.....	8
Tabela 3: Propriedades do Araldite 2015.....	8

1. Introdução

O objetivo deste trabalho é analisar os efeitos que diferentes tratamentos superficiais (limpeza com acetona, abrasão por lixa e tratamento de plasma) têm quando aplicados a juntas de sobreposição simples compostas por substratos de polietileno de alta densidade e Araldite 2015 como adesivo e, conseqüentemente, nos seus ensaios de tração.

Ao longo do relatório, iremos explicar como procedemos na componente experimental de cada tratamento superficial para retirar dados que, posteriormente, serão analisados e comparados com valores obtidos analiticamente através do software *JointDesigner*. Os parâmetros analíticos serão obtidos através do critério de Volkersen, o modelo de cedência generalizada e o critério de cedência do substrato.

Por fim, determinaremos qual o critério que mais se adequa para cada par junta-tratamento superficial.

2. Revisão Bibliográfica

Neste trabalho é abordado o tema de juntas adesivas estruturais, mas de forma mais próxima a temática de juntas de simples sobreposição. Deste modo, é essencial referir e expor previamente os conceitos mais relevantes.

Uma junta adesiva é o conjunto composto pelo adesivo, aderentes (ou substratos antes da colagem) e interface. O adesivo é o material polimérico que quando aplicado em superfícies pode ligá-las e resistir à separação. A interface é o plano de contacto entre as superfícies de dois materiais. [1]

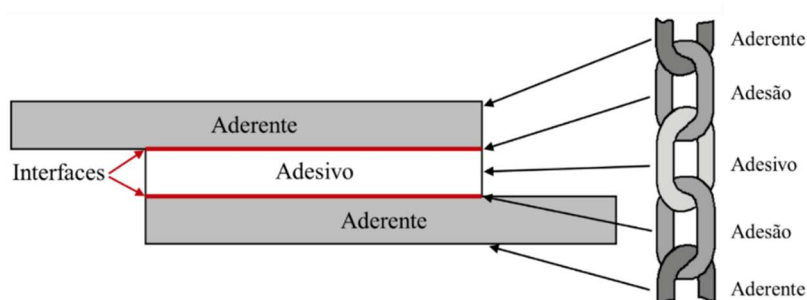


Figura 1:Constituintes de uma junta adesiva

As juntas adesivas apresentam grandes benefícios, tais como, propiciam uma distribuição das tensões uniformes acompanhado com o amortecimento de vibrações o que permite que as tensões sejam absorvidas ou transferidas, resultando numa maior resistência à fadiga. Assim sendo, é necessário ter em atenção quando a carga é concentrada numa extremidade da junta e os dois materiais dos substratos são rígidos (clivagem), ou quando as cargas de arrancamento estão concentradas ao longo de uma linha fina, na beira da camada adesiva, e um dos substratos possui alta flexibilidade (esforços de arrancamento).[1]

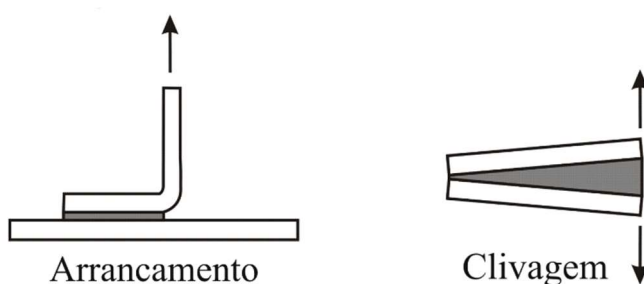


Figura 2: Casos de esforços envolvidos na solicitação do adesivo

Ainda importante de referir, os adesivos ligam materiais diferentes em composição e coeficientes de expansão sendo as juntas adesivas o método mais conveniente e efetivo de ligar dois materiais. O recurso a juntas adesivas permite uma projeção mais flexível, contornos regulares que evitam furos e marcas devidas à soldadura, contacto contínuo entre as superfícies ligadas e pode reduzir os custos.[1]

Existem dois tipos de forças atuantes em juntas adesivas: forças de adesão e coesão. Podemos designar a adesão como a atração entre duas substâncias resultante das forças intermoleculares entre as substâncias e a coesão que só envolve as forças intermoleculares dentro de uma substância. No interior do adesivo e do substrato, ocorrem as forças de coesão que são responsáveis por manter o material coeso. Nesse contexto, a rutura das juntas adesivas

pode acontecer de três maneiras diferentes: ruptura coesiva (que pode ocorrer tanto no seio do adesivo como no aderente), ruptura adesiva (que ocorre na interface) e mista (uma combinação das duas falhas anteriores). [1]

Numa junta, é sempre ideal que o componente mais fraco seja o aderente. Dessa forma, a ruptura preferencial que ocorre é a ruptura coesiva no substrato, uma vez que é presumido que o componente mais frágil não é o adesivo. Além disso, é sempre necessário evitar a ruptura adesiva, que é causada pela falta de adesão entre o substrato e o adesivo, uma vez que, dado que não conhecemos as propriedades da interface, é impossível prever como ela se comportará.

A molhagem do adesivo, determinado pelo ângulo de contato do líquido com o substrato, também tem um papel importante na aderência. O ângulo de contato está relacionado com energia superficial, que surge devido ao desequilíbrio das forças de atração entre as moléculas. Quanto maior a energia superficial do substrato relativamente à do adesivo, maior será a molhagem e, conseqüentemente, a adesão. Em situações em que a energia superficial é baixa, como em materiais poliméricos, é necessário melhorá-la por meio de tratamentos superficiais.

3. Influência dos tratamentos de superfície na carga de rotura

Como referido na secção anterior, uma forma de aprimorar a adesão entre o adesivo e o substrato é por meio da execução de tratamentos de superfície, os quais compõem um dos estágios do processo de preparação da superfície. Na verdade, a preparação da superfície desempenha um papel crucial na obtenção de uma junta de boa qualidade, uma vez que a diferença de energia superficial entre o adesivo e o substrato é determinante para evitar problemas como a rotura adesiva.

Assim sendo, é necessário assegurar que a energia de superfície do adesivo usado seja inferior à energia superficial do substrato, para que seja alcançada uma adequada molhagem e, consequentemente, uma adesão mais eficiente entre os dois materiais.

Existem dois grupos nos quais os procedimentos de tratamento de superfície podem ser agrupados: tratamentos passivos e tratamentos ativos. Durante a realização da atividade laboratorial, foram executados três tratamentos de superfície, sendo dois deles passivos e um deles ativo. Qualquer tratamento contém limpeza e abrasão mecânica ou modificação química.

3.1 Tratamentos Passivos

Os tratamentos passivos não causam alteração na composição química do substrato. Estes restringem-se a eliminar e limpar as substâncias que estão fracamente ligadas, aumentando a energia superficial do substrato e, consequentemente, melhorando a adesão. Neste trabalho foram realizados dois tratamentos passivos: Limpeza química com solventes e métodos abrasivos.

O objetivo principal do tratamento de limpeza química é eliminar os locais com acumulação de óleos ou gordura, os quais resultam em baixa adesão. Há diversas formas de realizar a limpeza química, porém o método escolhido para este trabalho foi a limpeza manual com acetona.

O objetivo final da abrasão é desgastar a superfície para obter um substrato mais rugoso. Isso levará ao aumento das forças de encravamento mecânico, resultado da ancoragem mecânica (figura 3), que por sua vez melhorará a adesão. Na atividade laboratorial, adotou-se o processo de lixagem para realizar a abrasão.

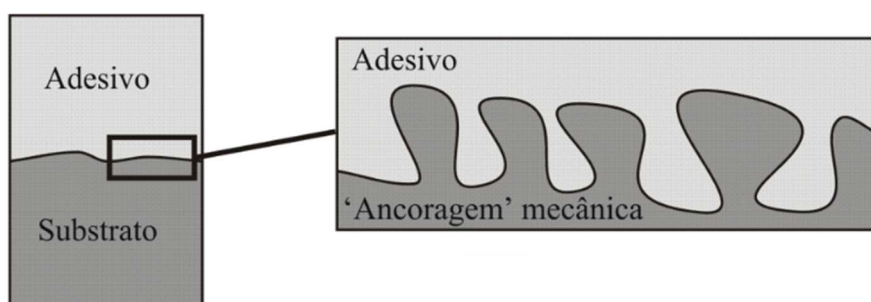


Figura 3: Ancoragem mecânica

3.2 Tratamentos Ativos

Os tratamentos ativos podem ser empregues para a higienização e remoção das camadas frágeis, porém a sua principal vantagem reside no facto de serem capazes de modificar

a natureza química da superfície. O tratamento ativo realizado neste estudo foi o tratamento com plasma.

A maioria dos materiais poliméricos apresenta superfícies quimicamente inertes e não porosas, com uma baixa energia superficial, o que resulta numa baixa receptividade à aderência por parte do adesivo. No entanto, por meio de tratamento com plasma, é possível resolver esse problema, pois ocorre a formação de uma superfície quimicamente ativa, que se adere rapidamente ao adesivo.



Figura 4: Aplicador do tratamento com plasma

4. Critérios de rotura

4.1 Critério de Volkersen

Volkersen (1938) introduziu à análise o conceito de deformação diferencial (*differential straining ou shear lag analysis*). Se os substratos forem elásticos e houver continuidade na interface adesivo/substrato, os paralelogramos presentes na Figura 4a) na junta não solicitada sofrem distorções, conforme ilustrado na Figura 4b). A solução analítica desenvolvida por Volkersen para a tensão de corte está esquematicamente representada na Figura 4c). A tensão de corte no adesivo é máxima nas extremidades da junta e mínima no centro. A análise de Volkersen considera um comportamento elástico. No entanto, o adesivo e os substratos podem deformar-se plasticamente. [2]

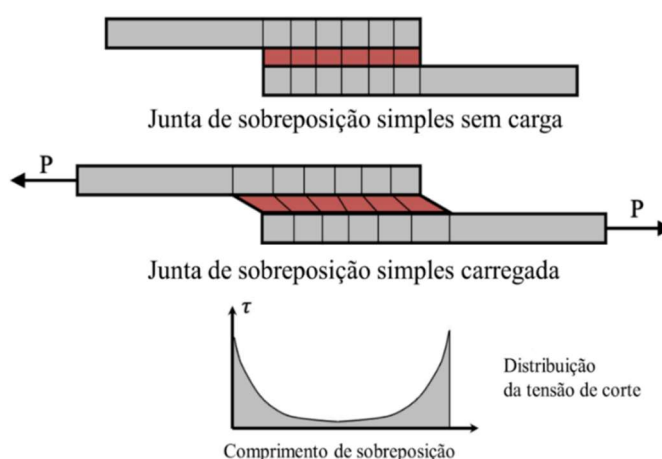


Figura 5: Análise de Volkersen

4.2 Critério de Cedência Generalizada

O Critério de Cedência Generalizada, em comparação ao critério mencionado anteriormente, possibilita a inclusão do comportamento plástico do adesivo no cálculo da resistência da junta.

Esta análise é aplicada em casos nos quais os adesivos são dúcteis, resultando na ocorrência de deformação plástica nos adesivos, e não no substrato. Noutras palavras, teremos um adesivo a ser completamente explorado até sua rutura, momento em que toda a camada adesiva está em funcionamento.

Contudo, este critério não abrange a deformação plástica de toda a área de sobreposição, o que ocorre em adesivos com alta ductilidade.

As distribuições de tensões no adesivo são uniformes, pois presume-se que ocorrerá cedência quando todo o adesivo sofrer deformação plástica. A força máxima admissível é calculada quando todo o comprimento da junta de sobreposição está submetido à tensão de cedência do adesivo. Essa força é calculada pela expressão abaixo:

$$P_{max} = \tau_y \cdot b \cdot l$$

4.3 Critério de Cedência no Substrato

Considerando todos os critérios mencionados anteriormente, é sempre tido em conta que a cedência ocorre no adesivo e não no substrato. No entanto, a rutura no substrato ocorre principalmente quando a área de sobreposição é alta, portanto, a plasticidade do substrato não pode ser ignorada, devido a um momento fletor na área de sobreposição.

Este critério, assim como o critério de cedência generalizada, também propõe a ocorrência de deformação plástica no adesivo, mas além disso, considera ao mesmo tempo a deformação plástica no substrato, que é um fator importante que deve ser levado em conta, como pode ser observado na figura 6. Além disso, para este critério é importante considerar a razão entre a espessura do substrato e o comprimento de sobreposição (k).

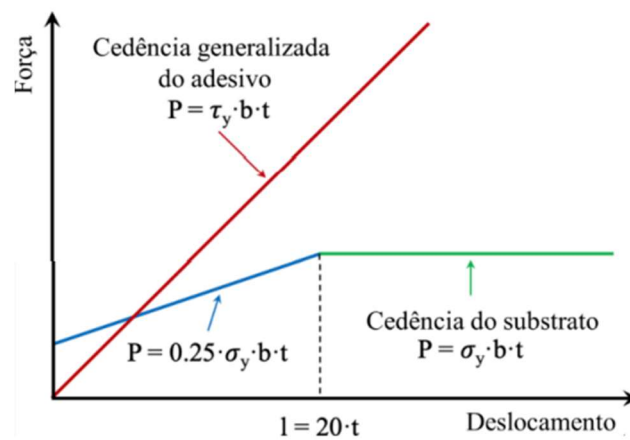


Figura 6: Representação do critério de cedência de substrato e do modelo de cedência generalizada

Esse fator k é importante porque no cálculo da carga máxima, a rotação da junta em relação ao momento fletor e à solicitação está incluída, e essa rotação aumenta com a diminuição de k .

$$P_{max} = \frac{\sigma_y \cdot b \cdot t}{1 + 3k}$$

No limite, quando $l \geq 20 \cdot t$, $k \approx 0$, e obtemos a simplificação seguinte:

$$P_{max} = \sigma_y \cdot b \cdot t$$

Este critério possibilita, assim, antecipar qual comprimento de sobreposição é que ocorre a cedência no substrato e não no adesivo. Esse tipo de cedência é previsível em aços macios e em substratos anisotrópicos, como, por exemplo, compósitos.

5. Procedimento Experimental

O propósito deste trabalho laboratorial é a produção e a determinação da resistência mecânica de três juntas de sobreposição simples (JSS) submetidas a diferentes processos de tratamentos superficiais. Tais processos são:

- Limpeza das superfícies dos substratos com acetona;
- Aumento da rugosidade superficial através da passagem de uma lixa;
- Tratamento de plasma.

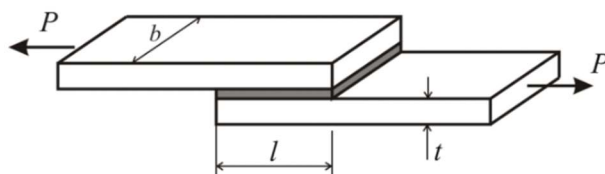


Figura 7: Junta de sobreposição simples

Comprimento de sobreposição (l)	Largura do substrato (b)	Espessura do substrato (t)	Espessura do adesivo
25 mm	25 mm	2 mm	0,2 mm

Tabela 1: Dimensões da junta

5.1 Adesivo e Substratos

Para a realização destas experiências, recorreu-se ao polietileno de alta densidade (HPDE) como substrato com dois milímetros de espessura em conjunto com o adesivo Araldite 2015 para fazer a união entre os dois substratos de HPDE.

E (MPa)	Coefficiente de Poisson, ν	σ_y (MPa)
1000	0,3	20

Tabela 22: Propriedades do Polietileno de alta densidade

E (MPa)	Coefficiente de Poisson,	Tensão de Corte, τ_y (MPa)
1600	0,33	18

Tabela 33: Propriedades do Araldite 2015

5.2 Limpeza com Acetona

Este tratamento é classificado como passivo pois não altera a composição química da superfície, mas, por outro lado, remove contaminantes (óleos, gorduras, impressões digitais,

entre outros) que diminuem a molhagem e adesão entre adesivo e substratos uma vez que têm baixa energia superficial.



Figura 8: Limpeza dos substratos com acetona

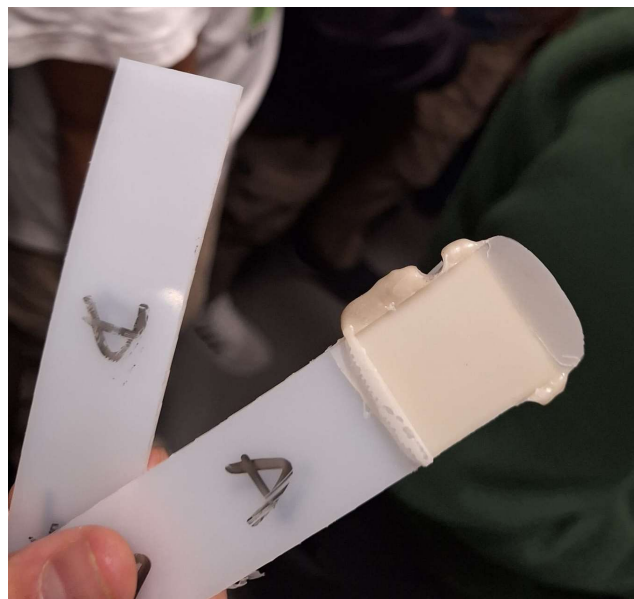


Figura 9: Substratos apenas tratados com acetona

5.3 Abrasão com Lixa

Como o nome deste método indica, a junta que foi submetida à abrasão de uma lixa teve um aumento da sua rugosidade superficial que, por sua vez, aumentou a energia superficial dos substratos. No entanto, é necessário ter alguns cuidados na direção pela qual se faz a passagem da lixa na peça devendo-se, assim, realizar a abrasão com uma orientação de 45 graus segundo duas diagonais diferentes assegurando a uniformização das propriedades na zona de sobreposição.

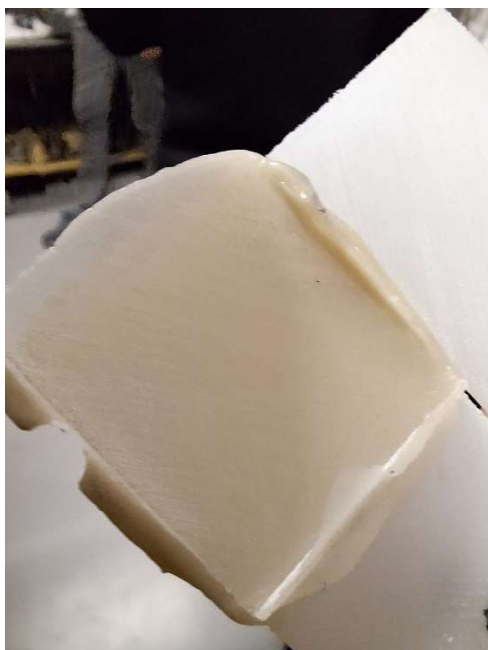


Figura 10: Adesivo e Substrato com marcas de abrasão por lixa

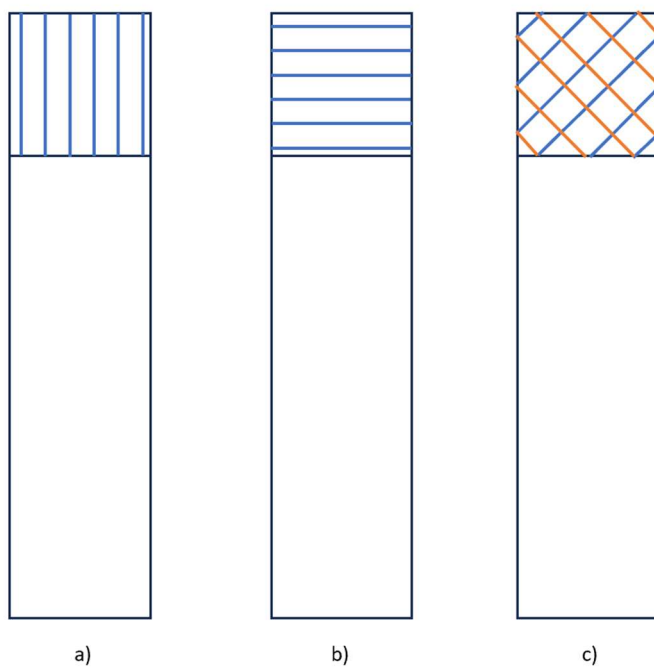


Figura 11: Direções da abrasão por lixa: a) Vertical; b) Horizontal; c) Diagonal (45 graus para a esquerda e direita)

Após o uso da lixa nas superfícies dos substratos, submete-se os mesmos a uma limpeza por acetona para remover possíveis contaminantes que tenham aparecidos depois do tratamento prévio.

5.4 Tratamento de Plasma

As juntas que foram submetidas a este tratamento ativo já que tiveram uma alteração causada na composição química das superfícies dos substratos através de um jato de elétrons. Este método leva a um grande aumento da energia superficial do substrato de uma forma rápida, porém tem um custo muito superior comparando com o simples uso de uma lixa e acetona.



Figura 12: Jato de plasma sob o substrato

5.5 Preparação do adesivo e da união dos substratos

Para o nosso trabalho foi utilizado um adesivo composto por dois elementos que se devem misturar antes de este ser aplicado na área de sobreposição de um dos substratos. O Araldite 2015 apresenta-se num estado de pasta, devendo ser aplicado através de uma pistola específica tornado, assim, a sua aplicação bastante simples e com pouco desperdício.

A distribuição do adesivo pela superfície percorre um padrão de ziguezague de forma a evitar que se formem bolsas de ar quando se sobrepõe um substrato em cima do outro. Este deve colocado com uma inclinação moderada também para não causar regiões de ar dentro do adesivo.



Figura 13: Doseamento do adesivo Araldite 2015

Para garantir o alinhamento correto entre componentes foi necessário recorrer a um molde com vários pinos espalhados uniformemente e o uso de calços metálicos para garantir a espessura da camada adesiva.

Para finalizar a união dos substratos, adicionou-se uma carga específica em cima de uma placa metálica para se certificar da junção dos dois substratos e evitar possíveis derrames de adesivo pelas laterais da zona de sobreposição.



Figura 14: Colocação dos pesos

5.6 Ensaio de tração

Após o tempo de cura para assegurar uma boa adesão submeteu-se as três juntas a um ensaio de tração tendo obtido dados experimentais que irão ser comparados com os resultados previstos pelo software *JointDesigner*.



Figura 15: Efeito do tratamento de plasma no ensaio de tração

6. Previsão de Resultados

Para este tópico utilizar-se-á um software de estudo chamado *JointDesigner* desenvolvido por estudantes da nossa faculdade, para deduzir quais os resultados esperados para o tipo de critério utilizado, e também perceber qual destes melhor se adequa ao estudo experimental. É importante também sublinhar que ambos os materiais (substratos e adesivos) serão considerados Elásticos e Isentrópicos.

6.1 Critério de Volkersen

Neste caso, para uma carga máxima de 520N e o comprimento de sobreposição de 25mm, teremos uma rotura dos extremos do adesivo a 18.04MPa, e como este critério estuda essencialmente a rotura de adesivos rígidos e frágeis, a sua rotura acontecerá quando a tensão máxima dos mesmos é atingida.

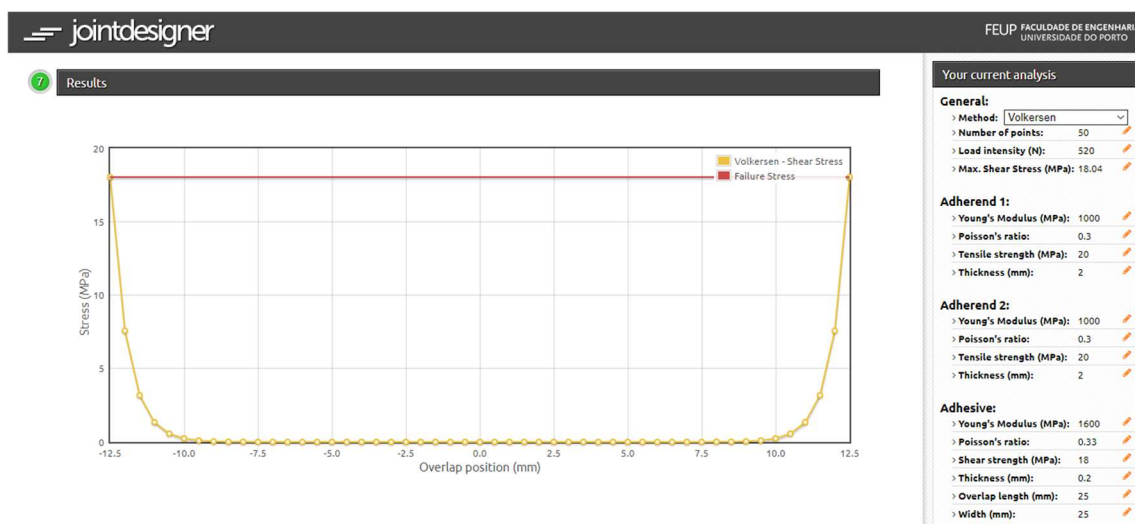
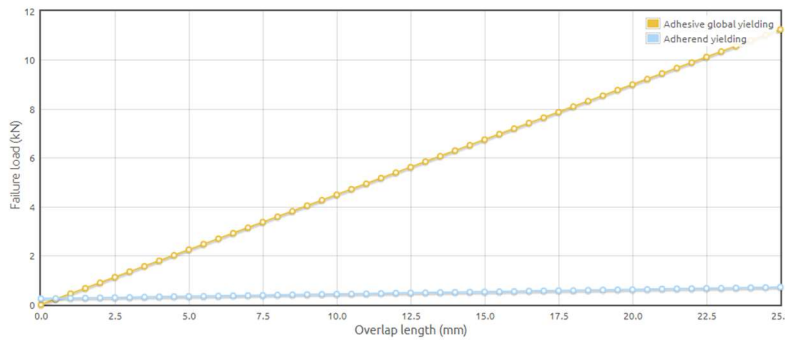


Figura 16: Gráfico da distribuição de tensões aplicadas no critério de Volkersen

6.2 Critério de Adams et al.

Para o modelo da cedência generalizada do adesivo e cedência do substrato para um comprimento de sobreposição de 25mm obtemos 11.25kN de carga máxima do adesivo e 0.72kN para o substrato.

7 Results



8 Export options

Your current analysis

General:

- > Method: Adams et al.
- > Number of points: 50
- > Load intensity (N): 1000
- > Max. Adhesive global yielding (MPa): 18
- > Max. Adherend yielding (MPa): 20

Adherend 1:

- > Young's Modulus (MPa): 1000
- > Poisson's ratio: 0.3
- > Tensile strength (MPa): 20
- > Thickness (mm): 2

Adherend 2:

- > Young's Modulus (MPa): 1000
- > Poisson's ratio: 0.3
- > Tensile strength (MPa): 20
- > Thickness (mm): 2

Adhesive:

- > Young's Modulus (MPa): 1600
- > Poisson's ratio: 0.33
- > Shear strength (MPa): 18
- > Thickness (mm): 0.2
- > Overlap length (mm): 25
- > Width (mm): 25

Figura 17: Gráfico da carga aplicada no critério de Adams et al.

Este critério terá um melhor desempenho no estudo de adesivos de elevada ductilidade e no caso da rotura dos próprios substratos.

É possível agora calcular o valor da força máxima no qual ocorrerá a rotura no adesivo ou no substrato:

$$P_{\text{máx}} = \tau_y b l$$

Substituindo:

$$\tau_y = 18 \text{ MPa}$$

$$b = 25 \text{ mm}$$

$$l = 25 \text{ mm}$$

Obtemos:

$$P_{\text{máx}} = \tau_y b l \Leftrightarrow P_{\text{máx}} = 11.25 \text{ kN}$$

7. Resultados experimentais:

Procedemos à análise dos resultados dos ensaios de tração às três juntas. Obtivemos também os respetivos gráficos de tensão-deformação que nos possibilitam a realização de uma análise concreta dos resultados.

De modo a estabelecer conclusões sobre a atividade, realizamos a análise individual de cada junta, segundo a seguinte ordem:

- Limpeza manual com acetona;
- Abrasão com lixa;
- Tratamento de plasma.

7.1 Limpeza manual com acetona:

A junta tratada apenas com limpeza manual com acetona sofreu uma rotura adesiva como podemos observar na Figura 18.

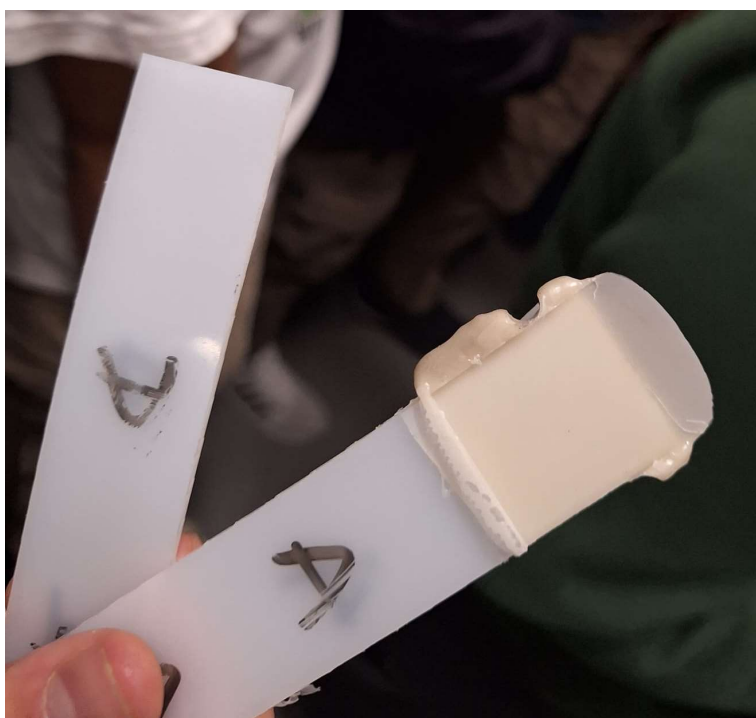


Figura 18: Rotura da junta de limpeza manual com acetona.

Pela análise do gráfico de carga-extensão deste teste de tração (Figura 19) obtemos uma carga máxima de 51.06 N (tensão de 1.28 MPa) equivalente a uma extensão de 0.37 mm. Tal resultado é justificado por se tratar de uma rotura adesiva, onde o deslocamento é muito pequeno por não haver deformação no substrato.

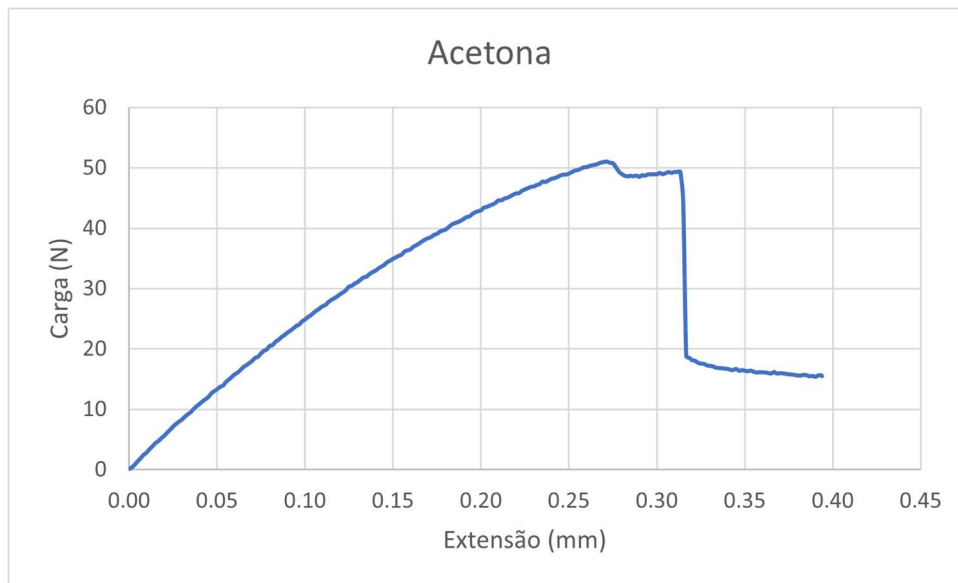


Figura 19: Gráfico carga-extensão da amostra de limpeza manual com acetona.

7.2 Abrasão manual com lixa:

Para a junta em que se procedeu a uma abrasão por lixa de modo a aumentar a rugosidade da superfície de contacto, obteve-se novamente uma rotura adesiva (Figura 20).

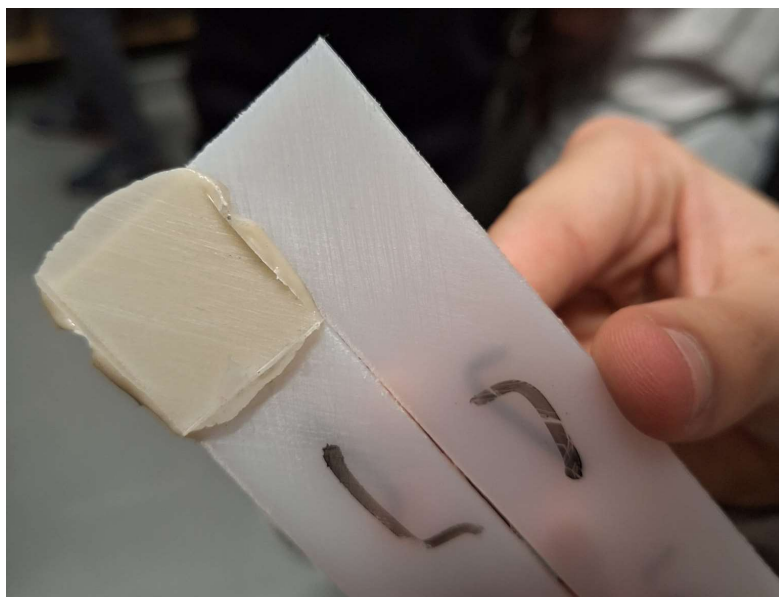


Figura 20: Rotura da junta de abrasão manual com lixa.

Neste ensaio de tração, a carga máxima foi razoavelmente superior, equivalendo a um valor de 384.71N (9.62 MPa), tendo sofrido uma extensão máxima de 2.50 mm (Figura 21).

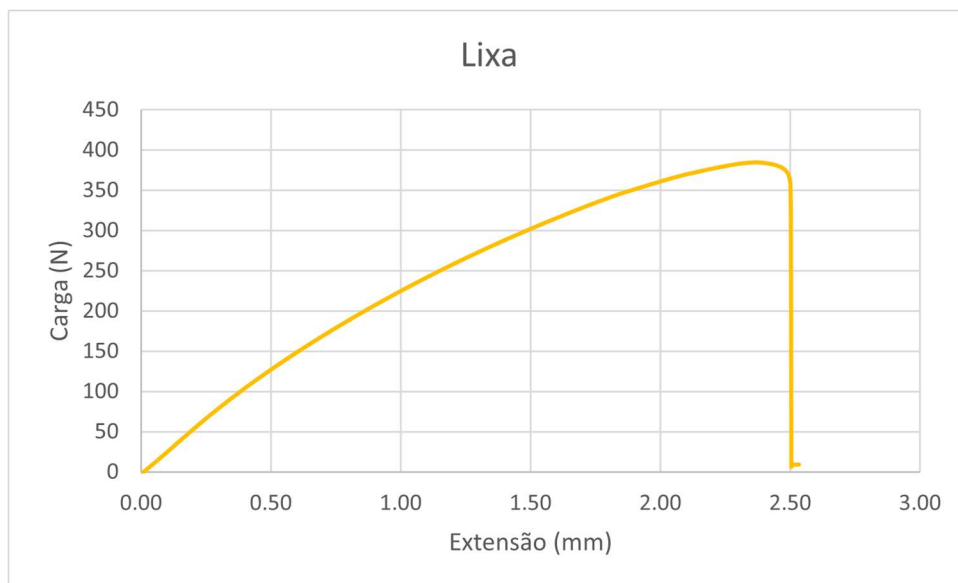


Figura 21: Gráfico carga-extensão da junta de abrasão manual com acetona

7.3 Tratamento de plasma:

Esta junta foi a que ofereceu maior resistência à rotura tendo sofrido uma rotura coesiva do substrato, sem alteração do estado do adesivo. Observou-se também a estrição do substrato, comum de se observar em roturas com deformação plástica (Figura 22).



Figura 22: Rotura da junta de tratamento de plasma.

Pela análise do gráfico de tensão deformação (Figura 23), obtemos uma carga de rotura muito superior visto que, nesta situação, a rotura depende unicamente da resistência à tração do polímero que compõe o substrato e não da força adesiva. Verifica-se então um valor de carga

de rotura 969.15 N (24.22 MPa) e uma extensão máxima de 15.56 mm, resultante da deformação plástica e estrição no substrato.

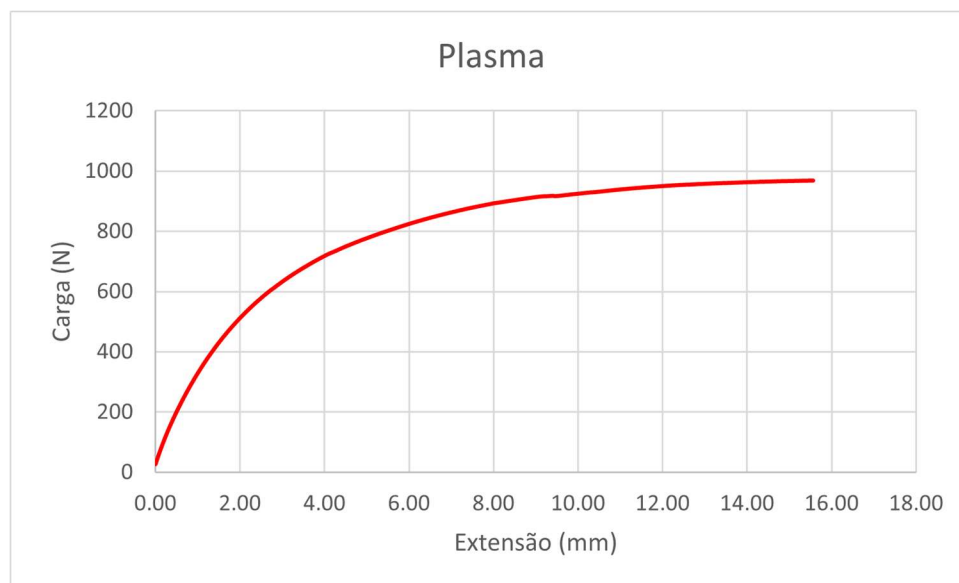


Figura 23: Gráfico carga-extensão da junta de tratamento de plasma.

8. Discussão de Resultados

Após termos apresentado os resultados que obtivemos podemos finalmente fazer a comparação entre estes e aqueles que previmos através do software *JointDesigner*.

8.1 Limpeza manual com acetona

Tal como foi referido no capítulo 7 neste caso ocorreu uma rotura adesiva, ou seja, a rotura ocorreu na interface entre o aderente e o adesivo, quando foi aplicada uma carga máxima de 51,06N.

É importante agora verificar se algum dos critérios de cedência discutidos durante a realização do relatório foi capaz de prever aquilo que se passou neste caso.

De acordo com o critério de Volkersen, ocorreria rotura dos extremos do adesivo quando fosse aplicada uma carga de 520N, o que corresponde a um erro relativo de 918,4%. Este valor de erro leva-me a concluir que este não é um critério adequado para prever situações como esta.

$$\frac{520 - 51,06}{51,06} \times 100 = 918,4\%$$

Em relação ao critério de Adams et al, o erro é ainda maior sendo 219329%, o que é algo inaceitável, portanto este critério também não é adequado.

$$\frac{11250 - 51,06}{51,06} = 219329\%$$

Uma razão possível para estes critérios não serem precisos é o facto de terem em conta uma ligação perfeita entre o adesivo e o substrato, o que não é o caso.

8.2 Abrasão manual com lixa

Neste caso também se verificou rotura adesiva, desta vez para uma carga de 384,71N. Se compararmos este valor com o previsto pelo critério do Volkersen, verificamos que estamos perante um erro de 35,17%. Com isto concluímos que este critério pode ser viável para prever resultados nesta situação.

$$\frac{520 - 384,71}{384,71} \times 100 = 35,17\%$$

Em relação ao critério de Adams et al, este não é viável para prever um caso como este pois apresenta um erro muito grande em relação ao valor experimental (2824,28%).

$$\frac{11250 - 384,71}{384,71} \times 100 = 2824,28\%$$

8.3 Tratamento de plasma

Como foi referido no capítulo 7, a junta cuja superfície sofreu um tratamento de plasma experienciou uma rotura coesiva do substrato.

Nesta situação, podemos descartar o critério de Volkersen logo à partida, pois o mesmo nem apresenta a hipótese de rotura coesiva do substrato, que foi o que acabou por acontecer neste caso.

Quando falamos no critério de Adams et al, por outro lado, já é um critério adequado pois previu um valor próximo ao obtido de forma experimental (um erro de apenas 25,71%), e devido a ter acontecido aquilo que o critério previa, que era uma cedência do substrato antes da cedência do adesivo.

$$\frac{969,15 - 720}{969,15} \times 100 = 25,71\%$$

9. Conclusão

Após observar os resultados obtidos experimentalmente podemos concluir que o trabalho superficial mais adequado para uma junta de maior resistência será, sem dúvida o tratamento por plasma, que por alterar a composição química da superfície do substrato, aumenta a adesão dos dois componentes. Enquanto que, ao comparar com o processo de lixagem, já que este apenas altera as características físicas do substrato, não possui uma ligação desenvolve uma ligação tão forte. E por fim, a limpeza com acetona que não altera nem a composição química nem a disposição física, causando assim uma menor aderência e consequentemente, uma menor tensão de rotura.

Foi possível concluir também que o processo de estudo de rotura que mais se adequa a este tipo de conjunto será o Critério de Adams et al. na componente da Cedência do Substrato, já que esta se deu devido resistência inferior do substrato em comparação com o adesivo e a rotura adesiva.

Assim, em conclusão, podemos retirar que, a obtenção de uma boa ligação adesiva entre dois corpos não depende apenas do tipo de juntas, mas também do tratamento superficial realizado no substrato.

Referências Bibliográficas

- [1] Silva, Lucas, “Processos de Ligação – Juntas adesivas estruturais”, PDF *Slides_Juntas_adesivas* disponível nos conteúdos da cadeira Processos de Fabrico I
- [2] Silva, Lucas, Eduardo Marques, “Trabalho Laboratorial – Influência dos tratamentos de superfície na carga de rotura de juntas adesivas”, PDF *TP_TratamentoSuperficial_PFI_24_24* disponível nos conteúdos da cadeira Processos de Fabrico I

Anexos