

08 a 11 de Outubro de 2018
Instituto Federal Fluminense
Búzios - RJ

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO EM FLUÊNCIA DE JUNTAS METÁLICAS COLADAS

Milla Siqueira de Paula¹ – msiqp@yahoo.com.br

Felipe Pereira da Silva² – fps.felipesilva@gmail.com

Eduardo Martins Sampaio³ – edu.msampaio@gmail.com

Ranulfo Martins Carneiro Neto⁴ – ranulfocarneiro@yahoo.com.br

¹ Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto Politécnico – Nova Friburgo, RJ, Brasil

² Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto Politécnico – Nova Friburgo, RJ, Brasil

³ Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto Politécnico – Nova Friburgo, RJ, Brasil

⁴ Universidade Federal do Rio de Janeiro – Macaé, RJ, Brasil

Resumo. Juntas coladas tem sido muito utilizadas pelas vantagens fornecidas pela colagem com adesivos, como melhor distribuição de tensões e ausência de aporte de calor. Pouca informação encontra-se na literatura sobre o comportamento dessas uniões sob fluência, devido esses tipos de ensaios apresentarem elevado tempo de execução quando comparados com outros ensaios destrutivos, pois testam apenas um corpo de prova por vez. O Laboratório de Adesão e Aderência (LAA/UERJ/IPRJ) desenvolveu o Equipamento Pneumático de Fluência (EPF) que pode testar dez corpos de prova simultâneos com diferentes parâmetros de ensaio. Este trabalho em andamento investiga o comportamento em fluência de juntas de cisalhamento simples (SLJ) compostas de substratos metálicos e coladas com adesivo de base epóxi. A fabricação das juntas foi conforme o procedimento de reparo RT-003/08 – TMC/CENPES/PETROBRAS e a norma ASTM D 1002.

Palavras-chave: Fluência, Juntas coladas, Epóxi

1. INTRODUÇÃO

Os adesivos estruturais têm ganhado destaque nos últimos anos. As inúmeras vantagens fornecidas como: não precisar de aporte térmico, não concentrar tensões, entre outras; são motivos para a substituição de parafusos, soldas e rebites por esses adesivos. Um outro benefício da colagem por adesivos, é que esta é a principal forma de unir materiais diferentes, sendo mais difícil com os outros tipos de uniões, como a solda por exemplo. Juntas metálicas unidas por adesivos estruturais tem encontrado enormes aplicações nos processos industriais.

O projeto consiste em estudar o comportamento de juntas metálicas coladas com um adesivo estrutural de base epóxi, através do Equipamento Pneumático de Fluência (EPF), que

possibilita testar até 10 espécimes de material simultaneamente, desenvolvido pelo Laboratório de Adesão e Aderência (LAA).

2. DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO

Esse trabalho utilizou 3 amostras no mínimo para cada condição de ensaio, em conformidade com a norma ASTM D 1002, utilizada para a fabricação dos corpos de prova. Porém em casos com maior dispersão dos resultados, utiliza-se uma quantidade maior destes corpos de prova. As condições de ensaio foram as mesmas para todas as amostras.

A tensão será variada em 90, 80, 70, 60 e 50 % da tensão máxima.

2.1 Adesivo utilizado

O adesivo utilizado foi o NVT, que trata-se de um adesivo estrutural semiflexível de base epóxi, criado pelo LAA. A espessura do adesivo foi de 0,3 mm.

2.2 Cálculo da tensão máxima admitida nas juntas

A equação 1, de acordo com a norma ASTM D 1002, mostra que as dimensões dos substratos metálicos são dependentes do limite de escoamento do material e da geometria final das juntas.

$$L = \sigma_{xy} \frac{t}{1,5\tau_f} \quad (1)$$

Onde:

L = comprimento do *overlap*, [mm];

σ_{xy} = tensão de escoamento do material do substrato, [MPa];

t = espessura do substrato, [mm];

τ_f = tensão cisalhante de fratura da junta, [MPa];

O aço ASTM A36 foi escolhido como o substrato metálico, assim o limite de escoamento é fixo. O gabarito restringe variações da espessura do substrato e do comprimento do *overlap* (região da camada adesiva entre os dois substratos).

Como o limite de escoamento do substrato é de 250 MPa, a espessura do substrato é 1,5 mm e o comprimento do *overlap* é 12,7 mm, logo é possível a fabricação de juntas cujas tensões cisalhantes não ultrapassem 19,5 MPa.

2.3 Corpo de prova utilizado

O material das chapas metálicas escolhido foi o ASTM A36, laminado a frio, com as seguintes dimensões 25,4 mm X 101,6 mm X 1,5 mm. A figura 1 mostra o corpo de prova utilizado.

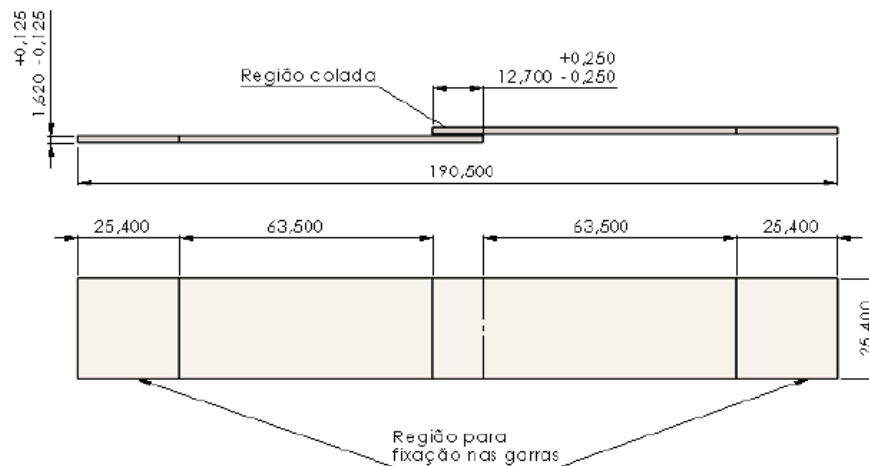


Figura 1 – Corpo de prova utilizado nos ensaios

2.4 Tratamentos superficiais

Foram realizados o jateamento e a silanização como tratamentos superficiais antes da colagem.

Jateamento. O jateamento foi realizado com o auxílio da empresa MacSeal em Macaé-RJ. A granalha utilizada no jateamento foi a G25 para conseguir o nível de rugosidade exigido, que é o R_t maior que $85\mu\text{m}$, de acordo com o anexo N-9 Petrobras. Observou-se que as amostras se apresentaram um pouco empenadas devido à pressão do jateamento, então foi necessário desempená-las formando uma espécie de sanduíche com a chapa e uma placa de PVC. Após o desempenamento, a rugosidade de alguns corpos de prova foram analisadas com o rugosímetro tridimensional TalyScan 150 (as figuras 2 e 3 mostram exemplos de medição com esse rugosímetro), e a quantidade de amostras aleatórias analisadas foi de acordo com a equação 2, dada pela ISO 4288:1996 :

$$N_a = \sqrt{N_t} \quad (2)$$

N_a = número de amostras a serem analisadas;

N_t = quantidade de itens do lote;

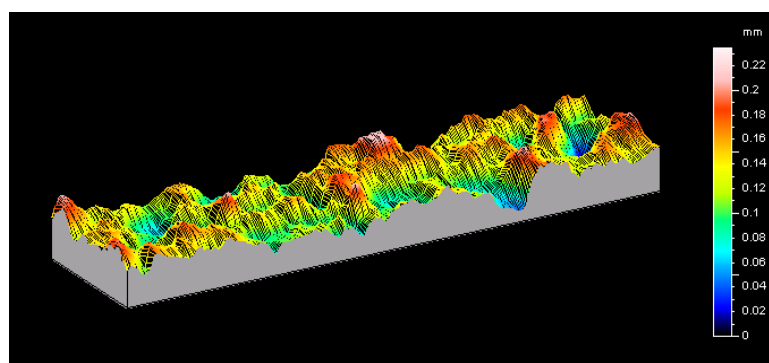


Figura 2 – Medição de rugosidade de uma amostra do lote 3 com o rugosímetro tridimensional

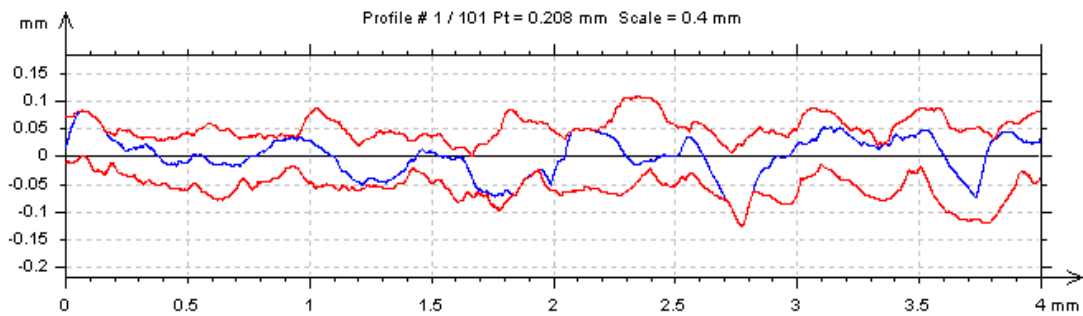


Figura 3 – Gráfico de rugosidade de uma amostra do lote 3 gerado pelo rugosímetro tridimensional

Silanização. Utilizou-se o silano, ao invés de um ataque químico, pois de acordo com a pesquisa realizada por Limaverde et al. (2008) os substratos silanizados apresentaram um maior fator de influência na tensão máxima das juntas coladas, com um grau de influência superior a 99,9%, já o ataque químico apresentou um grau de influência de apenas 18,7%.

Primeiramente utilizou-se a acetona para a limpeza dos corpos de prova, após, foi aspergido silano nos corpos de prova (figura 4-a). Optou-se pela aspersão de silano, para simular melhor a situação em campo. O revestimento foi feito com silano 1% hidrolizado (levou 35 minutos batendo em água hidrolizada para ser preparado). Todo procedimento ocorreu em uma capela, com a utilização de luvas e máscaras. O pH da solução foi conferido, sendo considerado ideal, pois estava entre 3 e 4 (figura 4-b). Após 30 minutos de secagem, foi medida a rugosidade dos corpos de prova novamente.



(a) Aspersão de Silano



(b) Aferição do pH

Figura 4 – Procedimento para a aspersão de silano

2.5 Colagem dos corpos de prova

Foi utilizado o gabarito de colagem (10 juntas por etapa de colagem, conforme norma ASTM D 1002). As condições climáticas, temperatura e umidade, foram controladas para a colagem das juntas, de acordo com a norma ASTM E 337, conforme mostrado na tabela 1. Misturados os compostos A e B do adesivo NVT nas proporções indicadas pelo fabricante.

Chapas para controle de espessura, barras de distribuição e contrapesos foram utilizados para auxiliar o processo de colagem das juntas com o adesivo. O gabarito com as 10 juntas posicionadas foi colocado na estufa para a secagem à 40°C por 24h, para a total cura do adesivo.

Tabela 1 – Condições adequadas de colagem

Condição	Temperatura	Umidade Relativa
1	16 a 20°C	< 55%
2	21 a 25°C	< 70%
3	26 a 31°C	< 75%
4	32 a 38°C	< 80%

2.6 Testes das juntas

Testes no Equipamento Pneumático de Fluência (EPF). O ensaio convencional de fluência resulta em baixa reprodutividade, pois permite poucos ensaios por vez, o que conduz a baixa confiabilidade dos dados estatísticos. O Laboratório de Adesão e Aderência (LAA) criou o Equipamento Pneumático de Fluência (EPF), capaz de testar até 10 espécimes diferentes de uma só vez, garantindo uma maior precisão nos dados estatísticos. Os ensaios são realizados ao mesmo tempo e pode substituir a junta rompida em alguma das unidades de ensaio, por outra que precise ser testada, não interferindo nos resultados do ensaio. A figura 5 mostra o EPF.

O equipamento converte a pressão pneumática de entrada em força aplicada nos corpos de prova. Essa força depende da área útil e da pressão exercida, como a área útil permanece inalterada, ajusta-se a pressão para variar a tensão de tração do ensaio.

Os corpos de prova serão ensaiados na máquina variando a tensão em 90, 80, 70, 60 e 50% da tensão máxima e os resultados serão apresentados na forma de gráficos.



Figura 5 – Equipamento Pneumático de Fluência (EPF)

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises de rugosidade após o jateamento abrasivo e após a silanização estão apresentadas nas tabelas 2, 3 e 4. Nota-se que esse procedimento altera pouco a rugosidade dos substratos, porém pode auxiliar no resultado dos ensaios.

Tabela 2 – Resultados análise das rugosidades do lote 1

Lote 1 - 03/07/18 Amostra	Pós jateamento abrasivo				Pós silanização			
	Ra(mm)	Rq(mm)	Rt(mm)	Rz(mm)	Ra(mm)	Rq(mm)	Rt(mm)	Rz(mm)
1	0,0131	0,0161	0,0917	0,0625	0,0120	0,0147	0,0848	0,0576
2	0,0116	0,0142	0,0812	0,0546	0,0112	0,0140	0,0878	0,0564
3	0,0133	0,0159	0,0879	0,0597	0,0126	0,0153	0,0818	0,0585
4	0,0115	0,0140	0,0784	0,0549	0,0121	0,0148	0,0859	0,0584
5	0,0123	0,0151	0,0827	0,0611	0,0120	0,0146	0,0819	0,0572
Média	0,0124	0,0151	0,0844	0,0586	0,0120	0,0147	0,0844	0,0576
Máximo	0,0133	0,0161	0,0917	0,0625	0,0126	0,0153	0,0878	0,0585
Mínimo	0,0115	0,0140	0,0784	0,0546	0,0112	0,0140	0,0818	0,0564

Tabela 3 – Resultado da análise das rugosidades do lote 2

Lote 2 - 04/07/18 Amostra	Pós jateamento abrasivo				Pós silanização			
	Ra(mm)	Rq(mm)	Rt(mm)	Rz(mm)	Ra(mm)	Rq(mm)	Rt(mm)	Rz(mm)
1	0,0114	0,0141	0,0785	0,0545	0,0124	0,0153	0,0936	0,0630
2	0,0128	0,0156	0,0844	0,0596	0,0116	0,0143	0,0825	0,0569
3	0,0137	0,0166	0,0952	0,0647	0,0134	0,0164	0,0927	0,0647
4	0,0134	0,0162	0,0939	0,0614	0,0130	0,0156	0,0831	0,0601
5	0,0135	0,0164	0,0898	0,0633	0,0122	0,0150	0,0868	0,0584
Média	0,0130	0,0158	0,0884	0,0607	0,0125	0,0153	0,0877	0,0606
Máximo	0,0137	0,0166	0,0952	0,0647	0,0134	0,0164	0,0936	0,0647
Mínimo	0,0114	0,0141	0,0785	0,0545	0,0116	0,0143	0,0825	0,0569

Tabela 4 – Resultado da análise das rugosidades do lote 3

Lote 3 - 05/07/18 Amostra	Pós jateamento abrasivo				Pós silanização			
	Ra(mm)	Rq(mm)	Rt(mm)	Rz(mm)	Ra(mm)	Rq(mm)	Rt(mm)	Rz(mm)
1	0,0121	0,0148	0,0843	0,0566	0,0132	0,0161	0,0890	0,0629
2	0,0120	0,0147	0,0830	0,0573	0,0131	0,0158	0,0834	0,0609
3	0,0122	0,0149	0,0828	0,0589	0,0129	0,0157	0,0926	0,0605
4	0,0104	0,0126	0,0717	0,0487	0,0111	0,0137	0,0812	0,0551
5	0,0130	0,0160	0,0883	0,0626	0,0132	0,0163	0,0974	0,0641
Média	0,0119	0,0146	0,0820	0,0568	0,0127	0,0155	0,0887	0,0607
Máximo	0,0130	0,0160	0,0883	0,0626	0,0132	0,0163	0,0974	0,0641
Mínimo	0,0104	0,0126	0,0717	0,0487	0,0111	0,0137	0,0812	0,0551

As tabelas 5 e 6 apresentam os resultados dos ensaios de tração realizados pela máquina universal de ensaios Shimadzu e pelo EPF, simultaneamente. Logo, foi utilizado o valor de 10Mpa como tensão máxima do ensaio, correspondendo à média de ambos ensaios de tração.

Tabela 5 – Resultado do ensaio de tração pela máquina universal de ensaios Shimadzu

Corpo de prova	Força de ruptura [N]	Tensão de ruptura [Mpa]	Deslocamento [mm]	Velocidade [mm/min]	Tempo [s]
L321	4450,5	13,8	0,4	1,3	20,5
L324	2241,1	6,9	0,4	1,3	16,2
L325	3608,1	11,2	0,3	1,3	16,1
L329	3131,2	9,7	0,4	1,3	18,5
L330	2209,3	6,8	0,4	1,3	19,2
Média	3128,1	9,7	0,4	1,3	18,1
Desvio Padrão	849,7	2,6	0,0	0,0	1,7

Tabela 6 – Resultado do ensaio de tração pelo EPF

Corpo de prova	Pressão de ruptura [bar]	Tensão de ruptura [Mpa]	Tempo [s]	Taxa aplicação pressão [bar/min]	Taxa aplicação tensão [kpa/s]
L322	2,8	9,9	404,0	0,42	24,6
L323	2,0	7,1	305,0	0,39	23,3
L326	3,4	12,1	490,0	0,42	24,7
L327	3,0	10,7	425,0	0,42	25,2
L328	3,0	10,7	446,0	0,40	24,0
Média	2,8	10,1	414,0	0,0	24,3
Desvio Padrão	0,5	1,7	61,5	0,4	0,7

O projeto encontra-se em andamento, logo apenas alguns ensaios no Equipamento Pneumático de Fluência (EPF) foram realizados. A tabela 7 informa os resultados dos ensaios de fluência para 80% da carga máxima.

Tabela 7 – Resultados do ensaio de 80% da carga máxima

Corpo de prova	Pressão [bar]	Tensão [Mpa]	Tempo [h]	Equipamento de teste	Data atualização
L301	2,3	8,0	30,8	EPF	03/09/2018
L302	2,3	8,0	39,6	EPF	03/09/2018
L303	2,3	8,0	24,0	EPF	03/09/2018
L304	2,3	8,0	52,9	EPF	03/09/2018
L305	2,3	8,0	Andamento	EPF	13/09/2018
L306	2,3	8,0	14,0	EPF	03/09/2018
L307	2,3	8,0	12,8	EPF	03/09/2018
L308	2,3	8,0	17,1	EPF	03/09/2018
L309	2,3	8,0	12,6	EPF	03/09/2018
L310	2,3	8,0	7,3	EPF	03/09/2018
Média	2,3	8,0	21,1		
Máximo	2,3	8,0	Andamento		
Mínimo	2,3	8,0	7,3		
Desv. Padrão (%)	0,0	0,0	15,2		

Os ensaios com 70% da carga máxima estão em andamento no momento da escrita deste artigo.

4. CONCLUSÕES

O estudo em andamento avalia o comportamento em fluência de juntas metálicas coladas com os adesivos de base epóxi. Os ensaios estão em andamento no Equipamento Pneumático de Fluência (EPF). Com os resultados dos ensaios no EPF será possível obter equações que representem o comportamento em fluência das juntas. Com auxílio da técnica de regressão linear, pode-se prever o comportamento das juntas em longo prazo para a temperatura ambiente.

Agradecimentos

Em primeiro lugar a Deus, à minha família e aos amigos do LAA.

REFERÊNCIAS

- Albani, R. Queiroz. (2013), “*Estudo do Comportamento em Fluência de Juntas Metálicas Coladas*”, Tese de Mestrado IPRJ/UERJ, Nova Friburgo.
- American Society for Testing and Materials. ASTM D 1002 (1999): “*Apparent Shear Strength of Single-Lap-Joint Adhesively Bonded Metal Specimens by Tension Loading (Metal to Metal)*”, Philadelphia.
- American Society for Testing and Materials. ASTM A 36 (1996): “*Standard Specification for Carbon Structural Steel*”.
- American Society for Testing and Materials. ASTM E 337 (2015): “*Standard Test Method for Measuring Humidity with a Psychrometer (the Measurement of Wet- and Dry-Bulb Temperatures)*”, West Conshohocken, PA.
- International Organization for Standardization. ISO 4288 (1996): “*Geometrical Product Specifications (GPS) — Surface Texture: Profile Method — Terms, Definitions and Parameters of Surface Texture*”.
- Limaverde, A.M. et al. (2008), “Estudo da Influência de Diferentes Tratamentos Superficiais na Resistência Mecânica de Juntas de Aço Carbono Coladas com Adesivo Epóxi”, *Congresso Brasileiro de Engenharia dos Materiais*, IPRJ/UERJ, Nova Friburgo.
- Petrobras. Disponível em: <http://www.petrobras.com.br/>, Acesso em 15 junho de 2018.

ANALYSIS OF THE BEHAVIOR IN FLUENCE OF METAL BONDED JOINTS

Milla Siqueira de Paula¹ – msiqp@yahoo.com.br

Felipe Pereira da Silva² – fps.felipesilva@gmail.com

Eduardo Martins Sampaio³ – edu.msampaio@gmail.com

Ranulfo Martins Carneiro Neto⁴ – ranulfocarneiro@yahoo.com.br

¹ Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto Politécnico – Nova Friburgo, RJ, Brasil

² Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto Politécnico – Nova Friburgo, RJ, Brasil

³ Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto Politécnico – Nova Friburgo, RJ, Brasil

⁴ Universidade Federal do Rio de Janeiro – Macaé, RJ, Brasil

Abstract. *Bonded joints have been widely used for the advantages provided by bonding with adhesives, such as better stress distribution and absence of heat input. Little information is found in the literature on the behavior of these unions under creep, because these types of tests have low reliability, because they rehearse only one test piece at a time. The Laboratory of Adhesion and Adherence (LAA / UERJ / IPRJ) developed the Fluid Pneumatic Equipment (EPF), which can test ten simultaneous test specimens with different test parameters. This ongoing work investigates the creep behavior of simple shear joints (SLJ) composed of metallic substrates and glued with epoxy-based adhesive. The joint manufacturing was in accordance with the repair procedure RT-003/08 - TMC / CENPES / PETROBRAS and the ASTM D 1002 standard.*

Key words: *Fluency, Bonded Joints, Epóxi*