

RESISTÊNCIA AO DESGASTE POR CAVITAÇÃO DE AÇOS REVESTIDOS COM POLIURETANO¹

Aurélio Alves Pinto²

Universidade Federal de Uberlândia – End.: Avenida João Naves de Ávila nº 2160

aurelio_femec@yahoo.com.br

Flávia Cavalcanti Miranda³

fcavaltantim@gmail.com

Bruno Costa Camargo⁴

bc_camargo@gmail.com

Alberto Arnaldo Raslan⁵

ltm-raslan@ufu.br

Resumo

A cavitação é um processo de desgaste por fadiga em que o material está sujeito a forças consecutivas no processo de colapso de bolhas de gás ou vapor próximo à sua superfície. Entre os materiais metálicos empregados na fabricação de componentes mecânicos sujeitos à cavitação, destacam-se os aços inoxidáveis e os aços nitretados. Alguns materiais poliméricos possuem um conjunto de propriedades mecânicas, tais como alta resistência ao desgaste por abrasão, baixo coeficiente de atrito, boa elasticidade, resistência a impacto e boa resiliência, que os tornam promissores em termos de resistência à cavitação. O objetivo do presente trabalho é avaliar a resistência à cavitação de aço-carbono revestido com poliuretano. Os ensaios de cavitação foram realizados segundo a norma da ASTM G32-98, modificada para o método indireto, em um equipamento Sonic-Mill com potência de 1790 W, frequência de vibração de $19,3 \pm 0,1$ KHz, amplitude de vibração de 45 μ m (pico a pico) e sonotrodo de titânio. A ferramenta foi confeccionada em aço inoxidável austenítico. O tempo total dos ensaios foi de 80 horas. A caracterização das amostras foi feita através de microscopia eletrônica de varredura e interferometria laser. Os resultados mostraram que o aço revestido com poliuretano é altamente resistente à cavitação e com grande potencial de uso como revestimentos em, por exemplo, pás de turbinas hidráulicas.

Palavras Chave: Desgaste, Cavitação, Poliuretano, Revestimento.

1. INTRODUÇÃO

A cavitação é um fenômeno de formação e subsequente colapso, dentro de um líquido, de bolhas ou “cavidades” contendo vapor, gás ou ambos. A cavitação resulta de uma redução localizada da pressão hidrostática, produzida pela movimentação de líquido (escoamento) ou de uma superfície sólida (vibração). A cavitação é um processo de desgaste por fadiga, ou seja, o material é sujeito a forças consecutivas no processo de colapso de micro-cavidades próximas à superfície sólida. Portanto, o material cavitado precisa absorver impactos consecutivos para não sofrer os desgastes devido à cavitação.

Segundo Li e Mão (1996), o poliuretano é um material de engenharia, altamente sofisticado, que substitui com grande vantagem a borracha, aço e outros plásticos estruturais, graças às suas propriedades mecânicas, tais como alta resistência ao desgaste por abrasão, baixo coeficiente de atrito, boa elasticidade, ótima resistência ao rasgo (corte) e a sua propagação, excelente capacidade de suportar grandes cargas (tração e compressão) sem deformações permanentes, resistência a impactos, boa resiliência, entre outras.

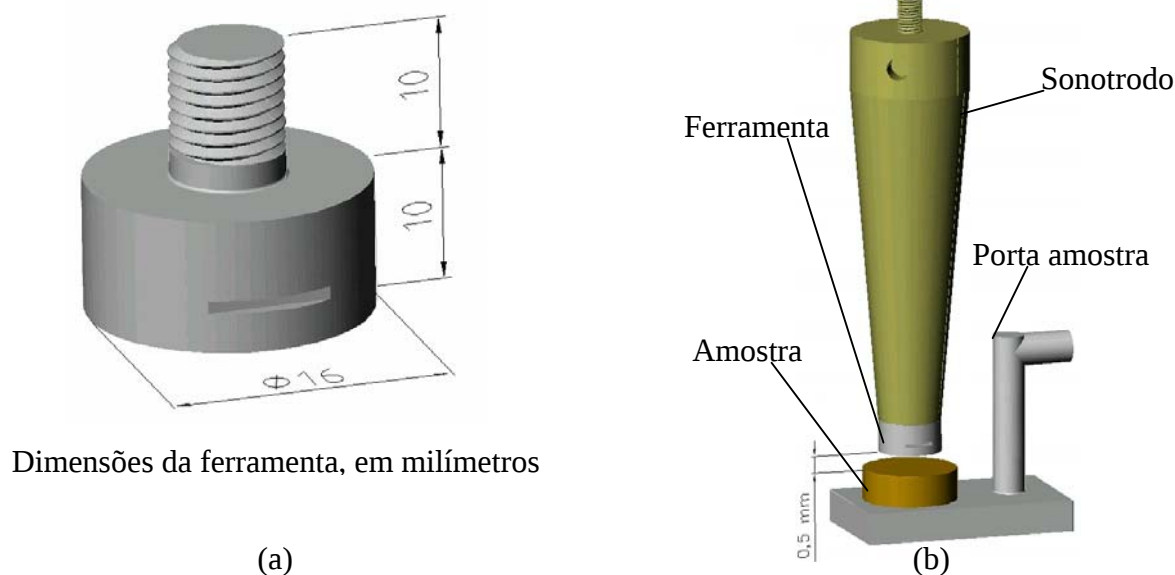
O objetivo do presente trabalho é avaliar a resistência à cavitação de aço-carbono revestido com poliuretano, com vistas a algumas aplicações que os tornem competitivos com os aços, materiais normalmente utilizados em situações que requerem resistência ao desgaste por cavitação.

2. METODOLOGIA

Os ensaios de cavitação foram realizados em uma máquina Sonic-Mill com potência de 1790 W, frequência de vibração de $19,3 \pm 0,1$ KHz, amplitude de vibração de 45 μ m (pico a pico) e sonotrodo de titânio. A ferramenta foi confeccionada em aço inoxidável austenítico, com geometria e dimensões mostradas na figura 1-(a) e foi rosqueada na ponta do sonotrodo, figura 1-(b). O diâmetro da rosca da ferramenta é de 8,10 mm. As dimensões do sonotrodo são: altura = 123,9 mm, diâmetro inferior = 15,9 mm e diâmetro superior = 38,2 mm.

Como amostras a serem ensaiadas foram usadas barras de aço-carbono com revestimentos de poliuretano com as seguintes dimensões: comprimento = 33 mm, largura = 19 mm e espessura = 9 mm. Após o jateamento com granalha de aço de uma das duas superfícies de maior área, foram aplicados, por aspersão, os revestimentos de poliuretano com espessura aproximada de 3 mm. Os testes de aderência foram feitos de acordo com a norma ASTM D-429 / B, após um tempo de cura de 72 horas à temperatura ambiente.

Os ensaios de cavitação foram realizados segundo a norma da ASTM G32-98, modificado para o método indireto.



Dimensões da ferramenta, em milímetros

Figura 1 – Ferramenta empregada: (a) dimensões e (b) montagem para ensaio

A amostra a ser analisada foi colocada em um porta-amostra e posicionada a uma distância de 0,5 mm do contra corpo de aço inoxidável AISI 36 com o auxílio de um micrômetro com resolução de 0,01 mm. O meio utilizado foi água, mantida a uma temperatura de ensaio de $29 \pm 2^\circ\text{C}$. Os tempos de ensaio foram de 12 e 80 horas. Este tempo foi escolhido aleatoriamente, mas com um mínimo de 12 horas de teste, que foi usado como limite superior por Da Silva et al, em 2003 (2), em ensaios com aços.

A perda de massa, tradicionalmente usada para avaliar o desgaste, não foi determinada, já que a mesma foi, praticamente, inexistente.

A caracterização das superfícies das amostras cavitadas foi realizada com o auxílio de microscopia eletrônica de varredura (MEV), em equipamento Carl Zeiss DSM 94A e interferometria laser em equipamento UBM Microfocus Expert.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na figura 2 tem-se a morfologia das superfícies das amostras, obtidas através do MEV, mostrando o estado das amostras com 12 horas de trabalho (figura 2-a) e 80 horas (figura 2-b).

A superfície da amostra de poliuretano pode ser observada na figura 3. Pode-se notar que não há diferença visível na morfologia da superfície cavitada e a que não sofreu cavitação.

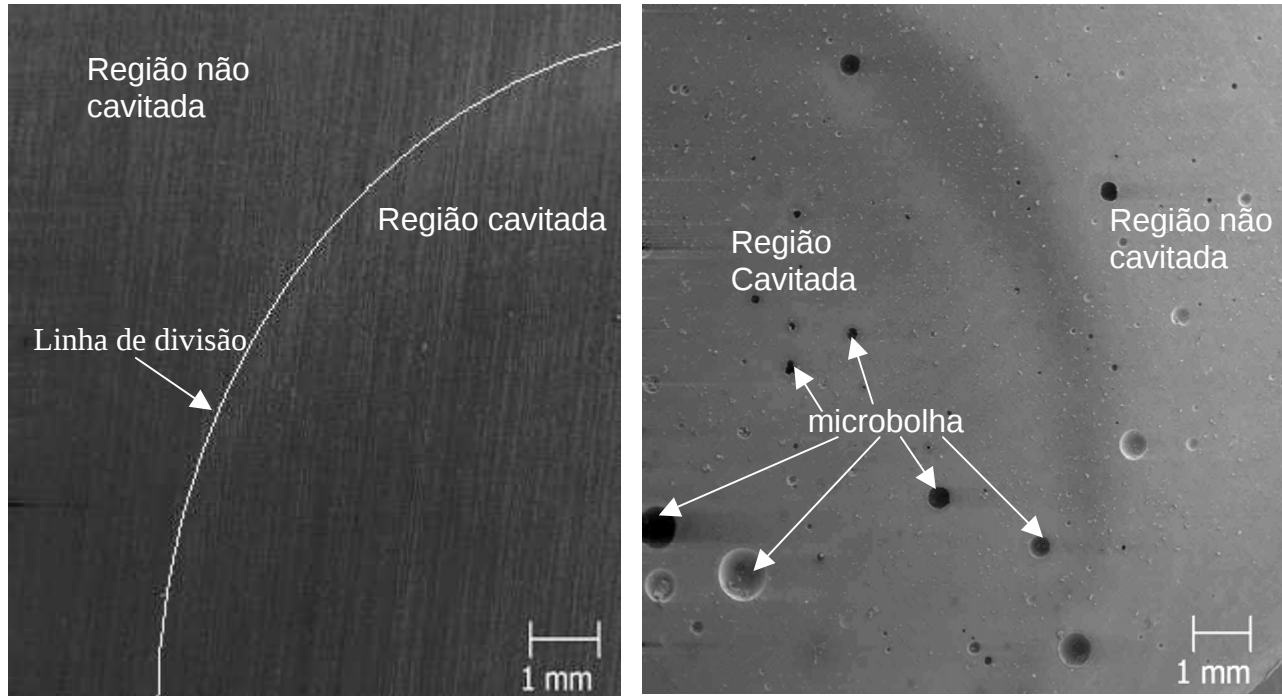


Figura 2 – Morfologia das superfícies das amostras: (a) – 12 horas de ensaio, (b) – 80 horas de ensaio, MEV.

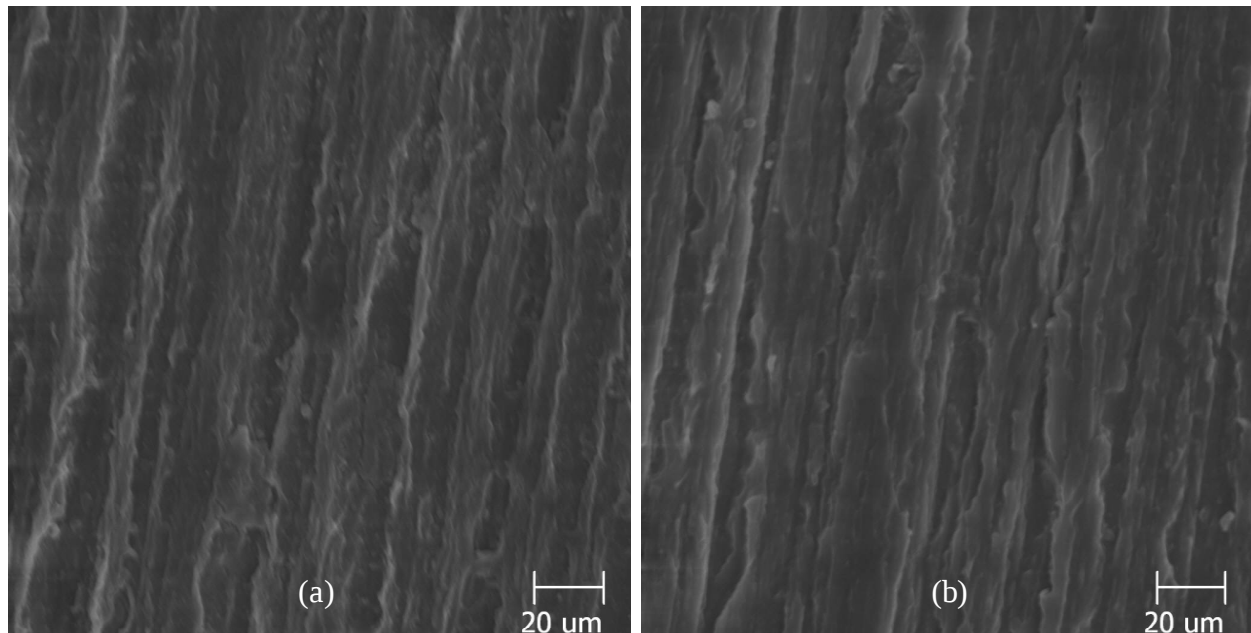


Figura 3 – Morfologia de superfície da amostra de poliuretano (a) sem cavitação e (b) após 12h de cavitação. MEV.

Como nos ensaios de cavitação realizados na amostra revestida com poliuretano não apresentaram perda significativa de massa, a força da cavitação não foi avaliada, como é tradicionalmente mensurada em ensaios de cavitação. A força de cavitação é medida pela massa do material perdida através da verificação pelo tempo. Quanto maior a perda de massa, pior é a resistência

à cavitação do material. De acordo com Da Silva et al. (2003), a média de perda de massa para o aço DIN 1.8550 temperado e recozido é de 26,5 mg para 12 horas de ensaio.

Para os resultados de interferometria laser, tabela 1, observa-se que os valores de rugosidade média (Ra) para as amostras de poliuretano são semelhantes, evidenciando o pouco efeito de desgaste por cavitação no poliuretano. O mesmo pode ser dito para os outros parâmetros mensurados, Rq (raiz quadrada da média aritmética dos quadrados dos desvios do perfil em relação ao plano médio) e Rmax, que corresponde ao Zmax (profundidade máxima), onde o poliuretano não apresentou contraste entre a região cavitada e a não cavitada.

Tabela 1 : Rugosidade média das amostras de poliuretano.

Poliuretano		
Região interna (µm)		Região externa (µm)
Ra	$1,82 \pm 0,24$	$1,73 \pm 0,47$
Rq	$2,31 \pm 0,36$	$2,31 \pm 0,36$
Rmax	$16,38 \pm 2,87$	$16,68 \pm 1,66$

O perfil de superfície da amostra de poliuretano pode ser observado na figura 4, onde a região cavitada é representada pela depressão, se iniciando no ponto de 2 mm e termina no ponto 21 mm. A região cavitada é evidenciada pela depressão formada. Porém, a diferença entre picos e vales da superfície se manteve na depressão.

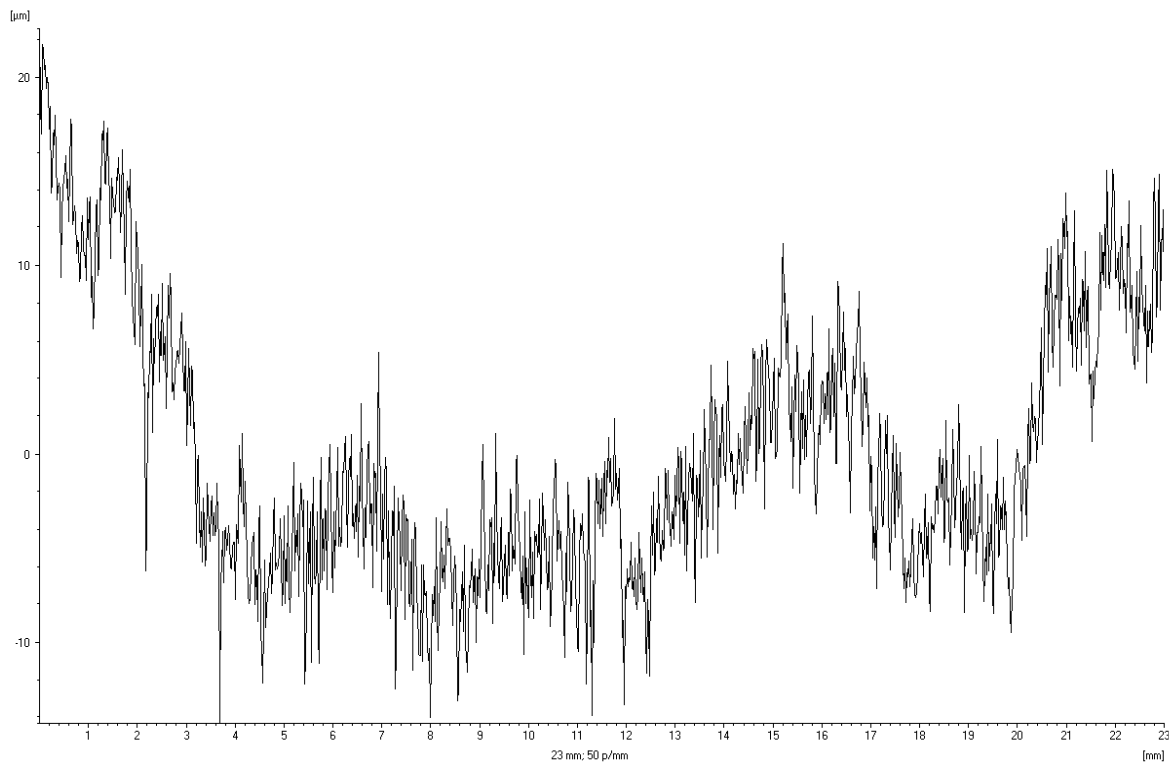


Figura 4 – Perfil de superfície da amostra de poliuretano.

O alto rendimento do revestimento de poliuretano à cavitação tem como origem a sua boa elasticidade e sua grande capacidade de resistir a impactos. Embora ele seja macio, ele se auto-endurece superficialmente devido ao efeito do próprio trabalho, ou seja, as ligações no poliuretano sofrem algumas transformações causadas por deformações oriundas dos colapsos das bolhas e/ou microjatos contra a superfície. Algumas hipóteses são sugeridas para tentar explicar a alta resistência à cavitação. Uma delas é que o ponto de nucleação do arrancamento da liga é pequeno, pois o poliuretano (sem porosidade) tem uma estrutura em bloco, por isso é preciso arrancar moléculas para ocorrer perda de material, enquanto nos aços é necessário arrancar apenas átomos individuais.

Como foi dito anteriormente, os danos da cavitação resultam da energia de vibração do choque das ondas. Quando os materiais absorvem energia e não podem liberá-la ocorre uma deformação plástica dos materiais. No poliuretano, devido ao fato dele possuir uma interpenetração entre redes lineares e redes de interligação, a liberação e transferência da energia são mais fáceis. Ao invés de deformação plástica, ocorre deformação elástica.

Li e Mao, em 1996 (3), investigaram a resistência à cavitação de revestimentos à base de poliuretano, epoxy, misturas de poliuretano - epoxy e de aços. Tanto o poliuretano quanto o epoxy tiveram um desempenho bastante inferior aos aços e à mistura epoxy-30% poliuretano. Entretanto, os ensaios de cavitação foram realizados com as amostras imersas em um meio corrosivo, não especificado pelos autores. Além disso, existem vários tipos de poliuretano, eles podem ter utilizado um poliuretano pouco resistente. Esses dois fatores podem explicar a divergência em relação aos resultados do presente trabalho.

4. CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos nos ensaios de cavitação de amostras de aço revestidas com poliuretano, conclui-se que:

- as amostras apresentaram uma elevada resistência ao desgaste por cavitação; mostrando resistentes à cavitação após 80h de teste.
- o revestimento (aço revestido com poliuretano) não se desprende ao ser submetido a 80h de teste. Contudo, a presença de defeitos no revestimento comprometem a aderência do mesmo ao substrato;
- estes materiais podem ser usados em aplicações que requeiram resistência ao desgaste por cavitação, como no revestimento de pás de turbinas hidroelétricas.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o IFM – Instituto Fábrica do Milênio, CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, FAPEMIG – Fundação de Amparo à Pesquisa do estado de Minas Gerais, pelo suporte financeiro e ao doutorando Flavio Jose da Silva pela ajuda.

6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- ASTM G32-98, “Standard Test Metthod for Cavitation Erosion Using Vibratory Apparatus”, American Society for Testing and Materials, 1998.
- Da Silva, F.J., Alves, E.B., Marinho, R.R., Paes, M.T.P. e Franco, S.D. Avaliação dos Efeitos da Camada Branca Sobre a Resistência à Cavitação do Aço 34 CrAlNi 7 Nitretado. In: VI CIBEM - Congresso Ibero-Americano de Engenharia Mecânica 2003, Coimbra-Portugal. Anais ..., Coimbra, 15-18 de outubro de 2003, CD-Room.

Li, Y. and Mao, S. Study on the Properties and Application of Epoxy / Polyurethane Semi-interpenetrating Polymer Networks. Journal of Applied Polymer Science, vol. 61, p. 2059 – 2063, 1996.

Pelizer, M.C., Santos, F.C. e Raslan, A.A. Resistência à cavitação de pás de turbinas hidráulicas revestidas com poliuretano. In: 610 Congresso Anual da ABM, 2006, Rio de Janeiro /RJ. Anais... Rio de Janeiro, 2006, CD-Room.

RESISTANCE TO THE CONSUMING FOR STEEL CAVITATION COATED WITH POLYURETHANE¹

Aurélio Alves Pinto²

Universidade Federal de Uberlândia – End.: Avenida João Naves de Ávila nº 2160
aurelio_femec@yahoo.com.br

Flávia Cavalcanti Miranda³

fcavaltantim@gmail.com

Bruno Costa Camargo⁴

bc_camargo@gmail.com

Alberto Arnaldo Raslan⁵

ltm-raslan@ufu.br

Abstract

Cavitation is a fatigue wear process in which the material involved is exposed to consecutive forces in the collapse of gas or vapour bubbles next to the surface. Amongst the metallic materials, stainless steels and nitrated steels have a great use in the manufacturing of components under cavitation. Some polymeric materials present good mechanical properties, such as low friction coefficient and good elasticity, resilience and impact resistance, which make them good candidates to withstand cavitation. This paper aims to evaluate the cavitation resistance of polyurethane coating applied on carbon steel substrate. Applications where they could compete with metallic materials are investigated. The cavitation tests were carried out according to the ASTM G32-98 standard, modified as an indirect method. A USM equipment with a titanium sonotrode was used, Sonic-Mill model, with a power of 1790 W, a frequency of 19, 3 ± 0,1 ? KHz, and a vibration amplitude of 45 µm. (peak to peak). A stainless steel tool was used. The total test time was 80h. SEM and laser interferometry were used to analyse the tested samples. The results showed that both polyurethane and nylon are highly resistant to cavitation and potentially could be used in hydraulic turbines.

Key Words: Wear, Cavitation, Polyurethane, Covering