

EROSÃO POR CAVITAÇÃO NA SUPERFÍCIE DO CONCRETO

Palavras-Chave: Cavitação, UHPC (Concreto de Ultra Alto Desempenho), CJA (Cavitation Jet Apparatus)

Autores(as):

DENNIS LOPES GOMES, FECFAU - UNICAMP

Prof^(a). Dr^(a). JOSÉ GILBERTO DALFRÉ FILHO (orientador), FECFAU – UNICAMP

SEYEDMEHDI MOHAMMADIZADEH (co-orientador), FECFAU – UNICAMP

INTRODUÇÃO:

As superfícies das estruturas hidráulicas de concreto (como os vertedouros e bacias de dissipação) podem ser danificadas pela cavitação, levando a longos períodos de suspensão da operação da estrutura. Portanto, vários métodos foram propostos para avaliar os efeitos da cavitação nas superfícies sólidas. O presente estudo visa ter uma abordagem simples, efetiva e prática sobre os efeitos da cavitação e procura controlá-la. A avaliação da cavitação é feita com o CJA (cavitation jet apparatus), que consiste em alguns maquinários, aparelhos e dispositivos que juntos têm o objetivo de produzir e avaliar a cavitação. Ademais, foi usado um aparelho de super câmera lenta, para a obtenção de vídeos e imagens que auxiliassem o grupo no estudo do jato cavitante. Ainda, foi necessário o desenvolvimento de amostras de concreto UHPC com e sem fibras para que então fossem submetidas ao CJA e então ser avaliada a perda de material. A abordagem dos resultados pode ser apresentada em diferentes subseções, visto que o trabalho foi desenvolvido em diferentes frentes. O objetivo final do trabalho é avaliar a resistência à abrasão dos materiais propostos, analisar a cavitação aplicada pelo CJA através do cálculo do índice de cavitação e propor um mecanismo capaz de atenuar a abrasão gerada pela cavitação através de tubos injetores de ar comprimido.

OBJETIVO:

O estudo visa analisar qualitativamente e quantitativamente a cavitação feita em um experimento em microescala. Através dos instrumentos utilizados é possível obter um conjunto de dados que permitem a análise da cavitação, sendo observadas a sua forma e magnitude. O experimento proposto visa ser prático pela rapidez que pode ser realizado, por ser de simples manuseio e por permitir a variação da pressão aplicada pela bomba. Ademais, o estudo procura uma forma eficiente de avaliar os danos sofridos pela amostra após ter sofrido cavitação. Para tanto, o

Grupo deve procurar a melhor forma de trabalhar com o CJA, os sensores envolvidos na medição e na obtenção de imagens e vídeos com a super câmera lenta.

Além disso, o estudo busca aumentar a gama de utilização dos concretos de ultra desempenho, aproveitando suas resistências à tração e compressão de forma eficiente em obras hidráulicas, como vertedouros e condutos forçados, com ênfase em UHPC com fibras metálicas e poliméricas. Em adição a isso, o grupo busca conseguir a melhor relação de agregados, buscando o melhor desempenho em termos de resistência à tração e compressão, trabalhabilidade e resistência à abrasão pelo efeito de cavitação imposto por obras hidráulicas de grande porte.

METODOLOGIA:

A cavitação é analisada com o CJA (cavitation jet apparatus). Uma bomba hidráulica pressuriza a água que é conduzida até um tanque. No tanque, um bico produz o jato de cavitação. A pressão é monitorada por manômetros e um sensor de pressão. Outro sensor no tanque avalia o impacto na amostra. Esses sensores são conectados ao dispositivo SPIDER8, que envia os dados ao software *CATMAN EXPRESS 4.5* para análise. O medidor de fluxo ultrassônico *TUF-2000H* fornece dados de vazão e velocidade da água. O CJA permite experimentos controlados de cavitação, submetendo as amostras por intervalos de tempo variados, com a pressão variando de 1 a 15 Mpa.

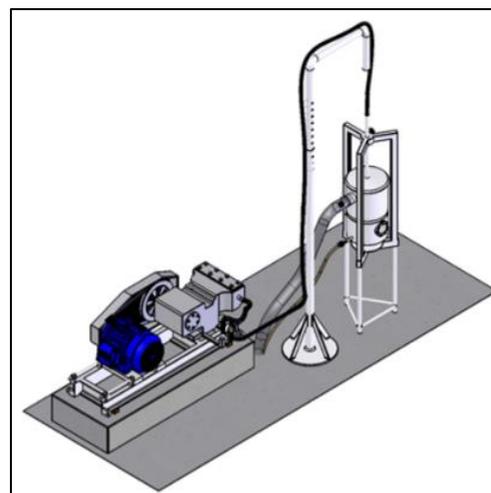


Figura 1 - Esquema do CJA

Os corpos de prova são de alumínio e concreto. As amostras de alumínio são do tipo 6351 T6 e foram usinadas com 9,95 cm de diâmetro e polidas até 0,03 μm . Os corpos de prova de concreto foram moldados com 9,95 cm de diâmetro e feitos de UHPC no laboratório, contendo sílica, areia, pó de quartzo, cimento CP-V e superplastificante. Os corpos de prova passam por testes de compressão, módulo de elasticidade, cavitação e são escaneadas em scanner 3D. Os concretos são classificados em três categorias: referência, fibras metálicas e fibras sintéticas.

Após a cavitação, a abrasão é avaliada pela perda de massa das amostras, medida com balanças de precisão. As amostras de alumínio utilizam uma balança *SARTORIUS PRACTUM224-10BR* que mede até 1 mg, enquanto as de concreto utilizam uma balança comum de precisão de 1g. Análises visuais do jato de cavitação são feitas com uma super câmera lenta modelo *Phantom v7.3* e iluminação LED. As imagens são tratadas pelo software *Phantom Camera Control (PCC)*. Amostras de concreto são analisadas antes e depois da cavitação com o Scanner 3D para gerar modelos virtuais e analisar a abrasão.



Figura 2 - Modelo 3D de uma amostra de concreto

Experimentos futuros incluirão o uso de tubos de ar comprimido no tanque do CJA para verificar se o ar injetado pode reduzir a abrasão causada pela cavitação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

A etapa de concretagem e usinagem dos corpos de prova é fundamental para o desenvolvimento das etapas subsequentes e para o estudo da cavitação a partir de materiais com diferentes características. Ao todo foram usinados 17 corpos de prova de alumínio que tiveram a superfície trabalhada com uma sequencia de lixas de até 0,03 μm . Tivemos mais 224 corpos de prova concretados em 15 traços diferentes, incluindo concreto convencional, UHPC e UHPC com fibras metálicas e sintéticas. Todas essas amostras foram escaneadas no scanner 3d. O traço do UHPC que foi mais promissor está tabelado na Figura 3 e teve resistência média de 137,05 Mpa.

| Material | Quantidade (kg) | Traço |
|--------------------|-----------------|-------|
| CP-V | 8,000 | 1,000 |
| Sílica | 1,920 | 0,240 |
| Areia | 9,359 | 1,170 |
| Pó de Quartzo | 1,280 | 0,160 |
| Água | 1,760 | 0,220 |
| Superplastificante | 0,496 | 0,062 |

Figura 3 - Traço do concreto mais resistente

Um dos principais fatores analisados quando uma amostra era submetida no CJA foi a perda de massa da amostra. O grupo procurou por um padrão na quantidade de massa perdida por uma amostra quando ela sofria a cavitação por um intervalo de tempo. Os testes foram ajustados com seguintes parâmetros: pressão da bomba em 14,5 Mpa, bico de 2mm de abertura, tempo de 20 minutos de teste, distância entre o bico e o corpo de prova em 5 cm. Contudo, mesmo após 16 testes realizados, não foi possível observar um comportamento constante de perda de massa nas amostras de alumínio e ainda, algumas vezes foi acusado um acréscimo de massa mesmo com o corpo de prova apresentando marcas de abrasão.

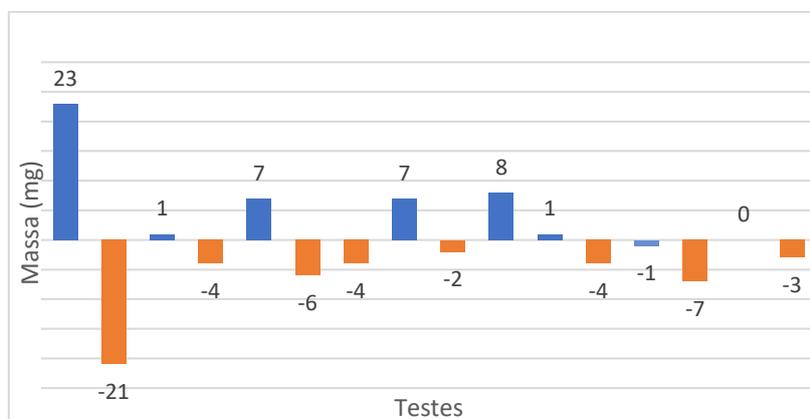


Figura 4 - Variação de massa das amostras de alumínio

Um teste preliminar foi realizado com amostras de concreto para verificar o comportamento das mesmas quando submetidas à cavitação. Foram usados três corpos de prova nesse teste, sendo uma de concreto convencional e duas de UHPC de diferentes traços. Os resultados exibem um desempenho melhor das amostras de UHPC com uma quantidade menor de massa perdida.

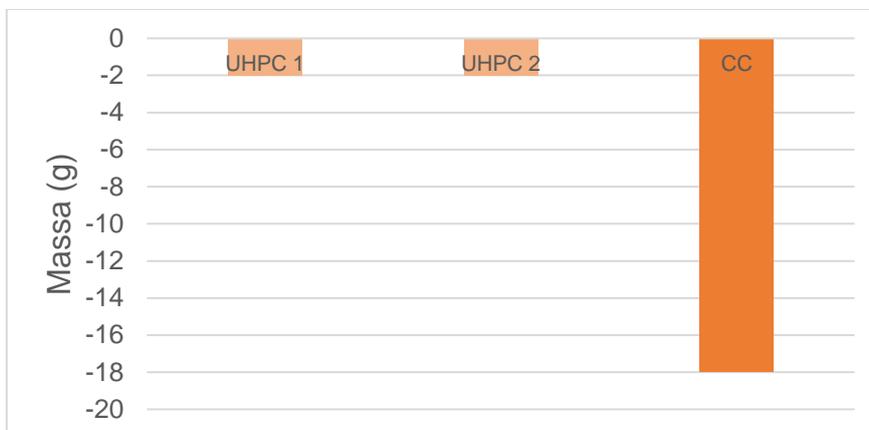


Figura 5 - Perda de massa das amostras de concreto

O estudo visual do experimento foi possível graças ao aparelho de super câmera lenta. A montagem do equipamento e posicionamento da iluminação foi aprimorada ao longo da pesquisa. A configuração que resultou nas imagens mais nítidas foi usando todos os quatro painéis LED com um deles posicionado com o feixe de luz contra a direção da câmera. Os vídeos gravados com menor resolução possibilitavam maior número de frames por segundo, atingindo valores de 17 mil fps.

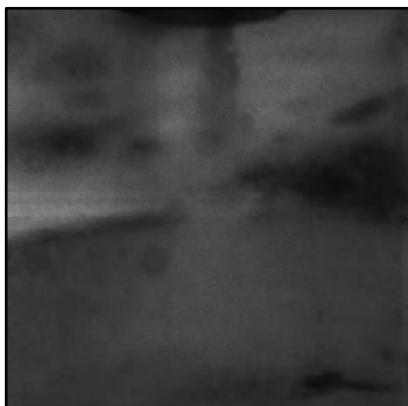


Figura 6 - Captura da câmera em configuração ruim



Figura 7 - Captura da câmera na melhor configuração

CONCLUSÕES:

Em suma, temos que a pesquisa obteve avanços nas diferentes frentes de trabalho. O traço mais conveniente de UHPC foi encontrado e na análise preliminar foi possível ver que ele resistiu melhor à cavitação do que o concreto convencional. Assim, vemos que para obras hidráulicas de grande porte o UHPC se mostra como uma opção de material mais seguro e duradouro do que o concreto convencional.

O alumínio (Alloy 6351 T6) se mostrou um material ainda mais resistente que o UHPC pois os valores de perda de massa foram da ordem de 1 mg. Ademais, vemos que o método de pesagem da

amostra de alumínio é pouco confiável, visto que a quantidade de massa perdida não era mensurada pela balança, que tinha a incerteza na mesma ordem de grandeza que a perda de massa.

A filmagem do experimento foi bem sucedida, pois encontramos uma configuração que favorecesse a obtenção de imagens. O jato de cavitação foi observado e é possível distinguir os diferentes momentos de colapso das bolhas que saem pelo bico.

Uma continuação desta pesquisa deve ser feita visando a obtenção de mais dados a respeito do diferente comportamento dos materiais quando submetidos à cavitação. Uma vez que todas as amostras já foram escaneadas, elas devem passar pelo CJA e serem escaneadas novamente para ter a erosão pela cavitação mensurada por amostra através dos possíveis vazios deixados.

BIBLIOGRAFIA

- [1]Genovez A, Dalfré Filho J.G. Efficiency evaluation of cavitating jet apparatus. In: 2nd International Junior Researcher and Engineer Workshop on Hydraulic Structures, IAHR, Pisa, Italy. PLUS-Pisa University Press; 2008, p. 107–12.
- [2]Dalfré Filho JG, Genovez AIB. Alternative apparatus to evaluate cavitation damage. *Journal of Materials in Civil Engineering* 2009;21(12).
- [3]Mohammadzadeh S.M., Dalfré Filho J. G., Genovez A. I. B., Sampaio Descovi C., Corzo Perez G. A., "Sensitivity analysis of cavitation jet apparatus for erosion of solid surfaces due to variations in standoffs and nozzle geometries", *Journal of Heliyon*, 2023.
- [4]Reisman G, Wang YC, Brennen CE. Observations of shock waves in cloud cavitation. *Journal of Fluid Mechanics* 1998;355:255–83.
- [5]Mohammadzadeh S, Azhdary Moghaddam M, Talebbeydokhti N. Analysis of flow in porous media using combined pressurized-free surface network. *Journal of Porous Media* 2021;24. doi:10.1615/JPorMedia.2021025407.