

# Estudo do tipo de bloco para estrutura hidráulica para proteção de ondas marinhas e comparação da resposta estrutural com outros blocos

**Fernando M. Menandro<sup>1</sup>, Maria Antonina Magalhães Coelho<sup>2</sup>, Maristela Gomes da Silva<sup>3</sup>, Fernando Lordêllo dos Santos Souza<sup>4</sup>, Robson Sarmento<sup>5</sup>, Tsutomu Morimoto<sup>6</sup>, Luiz Herkenhoff Coelho<sup>7</sup>**

<sup>1</sup> Professor Departamento de Engenharia Mecânica, UFES.

<sup>2</sup> NEXES, Núcleo de Excelência em Escórias Siderúrgicas do Centro Tecnológico da UFES, Prof. no curso de Arquitetura da UNIVIX e no curso de Eng. de Produção Civil da UCL - [antonina@oi.com.br](mailto:antonina@oi.com.br)

<sup>3</sup> NEXES; Professora e Diretora do Centro Tecnológico da UFES - [margomes@npd.ufes.br](mailto:margomes@npd.ufes.br)

<sup>4</sup> Pesquisador do NEXES; Prof. do Centro Tecnológico da UFES - [fernador@npd.ufes.br](mailto:fernador@npd.ufes.br)

<sup>5</sup> Pesquisador do NEXES - [robson.sarmento@terra.com.br](mailto:robson.sarmento@terra.com.br)

<sup>6</sup> CST – Arcelor Brasil - [morimoto@arcelor.com.br](mailto:morimoto@arcelor.com.br)

<sup>7</sup> Professor do Departamento de Engenharia Civil, UFES – [lhcoelho@ct.ufes.br](mailto:lhcoelho@ct.ufes.br)

## RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo sobre a análise da resposta estrutural do bloco *hydrus* para estrutura hidráulica para proteção de ondas marinhas. Foi utilizado o método dos elementos finitos para este estudo e foi feita uma comparação com os valores de tensões de blocos como o *core-loc*, *dolos*, *accropode* e *tribar*, obtidos por outros autores. As análises realizadas neste trabalho são referentes aos blocos *hydrus*, *core-loc* e *x-bloc*. Os resultados se mostram compatíveis para a utilização a que se destinam os blocos.

**PALAVRAS-CHAVE:** estrutura hidráulica, elementos finitos.

## 1 INTRODUÇÃO

A utilização de blocos de concreto para proteção contra a ação de ondas marinhas tem já uma história de sucesso. Os blocos utilizados, no entanto, podem ser de difícil produção ou aplicação. Os blocos utilizados também podem apresentar problemas estruturais internos ou no inter-travamento, químicos, tais como suscetibilidade à corrosão, e econômicos. Estas restrições fizeram com que se proliferasse o número de modelos geométricos para estes blocos. Cada modelo proposto tem utilidade para determinadas situações e apresenta melhor desempenho sob determinadas condições que outros, além de apresentar desempenho aquém do desejável em outro conjunto de condições.

Neste trabalho procurou-se comparar os valores de tensões de blocos como o *core-loc*, *x-bloc*, *dolos*, *accropode* e *tribar*, com os valores obtidos para o bloco *hydrus*, aqui apresentado. Esta comparação se baseia no exposto pelo relatório de J. Melby e G. Turk ref. [1], que descreve comparações entre o bloco de concreto *core-loc* e alguns outros blocos encontrados na literatura. Para nossa comparação se utilizou o programa Ansys™, com as especificações de esforços descritas na ref. [1] e em simulações realizadas *in-loco*. Um problema de escala foi detectado nesta análise: os resultados obtidos pela referência estão aproximadamente dez vezes maiores que os resultados aqui obtidos. Esta discrepância já foi relatada em outro trabalho anterior [3]. Como não foi objeto deste estudo determinar as cargas pertinentes à

aplicação prática destes blocos foi relevada esta discrepância, tendo o resultado sido utilizado como valor comparativo entre os blocos core-loc, x-bloc e hydrus.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Forma e geometria de estruturas hidráulicas em uso atual em diferentes países

Existem diversas formas de blocos utilizadas em estruturas marinhas. A geometria ótima dos blocos deve conferir à estrutura alta estabilidade, não deve apresentar tendência ao rolamento, deve permitir que a estrutura continue estável mesmo quando alguns blocos se rompam e deve permitir que os blocos sejam facilmente moldáveis. Além disso, é desejável que durante a situação de serviço não sejam causadas elevadas tensões internas nos blocos.

Na literatura pesquisada foram encontradas as seguintes formas: cubos, tetrápodes, tribar, dolos, gassho, accropode e core-loc ref. [1], mostrados na Figura 1, Figura 2 e Figura 3.



Figura 1 - Blocos construídos pela NKK a partir de escória de aciaria.

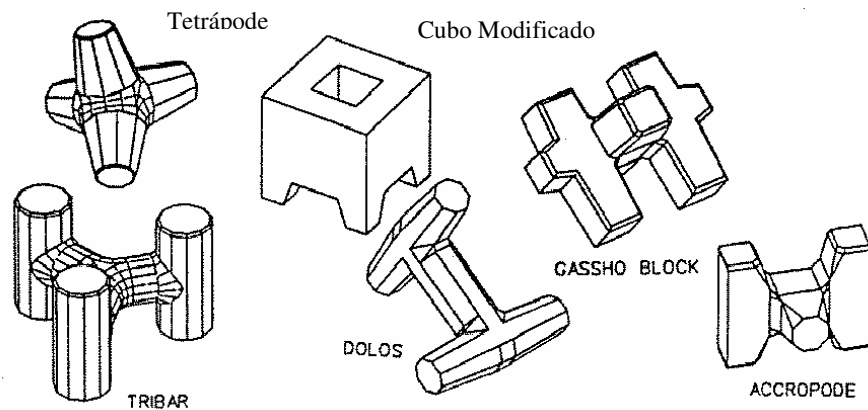


Figura 2 - Formas de blocos para estruturas de proteção hidráulica  
LOC

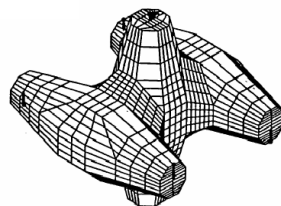


Figura 3 – Core-loc.

Um estudo feito pelo corpo americano compara os esforços internos gerados por carregamentos típicos nos blocos com as geometrias Core-loc, Accropode, Dolos e Tribar, e sugere que a geometria empregada nos blocos Core-loc é a mais favorável ref. [1]. A Figura 4

mostra a comparação entre as tensões internas nos blocos na flexão e na torção, de cada um dos tipos de blocos estudados.

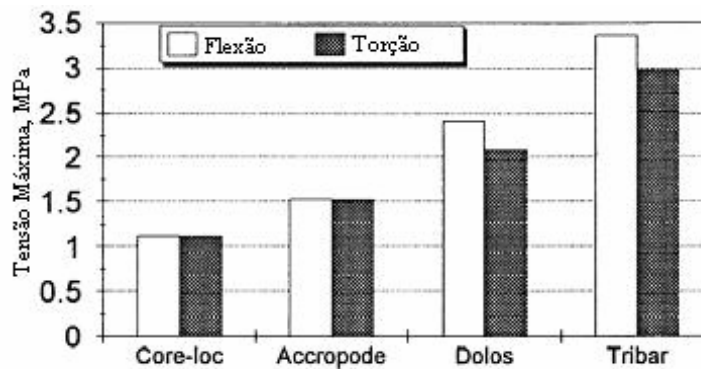


Figura 4 - Comparação entre as tensões internas nos blocos na flexão e na torção ref. [1].

Outra vantagem oferecida por essa geometria é sua grande estabilidade quando comparada à outras formas também utilizadas. Essa maior estabilidade possibilita a utilização de blocos menores na construção da estrutura de proteção hidráulica. A comparação entre uma estrutura construída com blocos maciços é apresentada no Quadro 1.

Quadro 1– Comparação entre o peso de um bloco de rocha natural e de um Core-loc.

Altura de onda (m)	Peso do Core-loc (kg)	Peso de um bloco de rocha natural de geometria angulosa (kg)
0,5	6	20
1	48	164
2	387	1308
3	1306	4415
4	3095	10466
5	6046	20441

Para o dimensionamento dos *core-locs* foi utilizada a Equação conhecida como fórmula de Hudson:

$$W = \frac{w_r \cdot H^3}{K_d \cdot (S_r - 1)^3 \cdot \cotg(\alpha)} \quad \text{Equação 1}$$

sendo:

W : a massa do bloco (kg);

$w_r$  : a massa específica do material empregado no bloco ( $\text{kg/m}^3$ );

H: altura da onda para a qual a estrutura será projetada (m);

$K_d$  : coeficiente de estabilidade;

$S_r$  : relação entre o peso específico do material e o peso específico da água;

$\alpha$  : angulo de inclinação da camada de revestimento.

Foram adotados para o *Core-loc* um coeficiente de estabilidade de 13, massa específica do concreto de 2300 kg/m<sup>3</sup>, enquanto que para o bloco de rocha natural foram adotados um coeficiente de estabilidade de 2 e a massa específica de 2580 kg/m<sup>3</sup>. A equação e os valores adotados foram retirados do U.S Army Corps of Engineers, Shore Protection Manual 1984.

## 2.2 Análise de tensões

Para efetuar a análise de tensões optou-se pela utilização do Método dos Elementos Finitos, devido à disponibilidade de ferramentas computacionais comerciais de comprovada acuidade e estabilidade, bem como de fácil utilização. Utilizou-se na análise de tensões via método dos elementos finitos uma descrição linear elástica do material constitutivo do bloco, considerando os dados do Quadro 2.

Quadro 2 – Propriedades do material utilizadas na análise.

Propriedade	Símbolo	Unidade	Valor
Módulo de Elasticidade	E	MPa	$3,5 \times 10^4$
Coefficiente de Poisson	$\nu$	(adimensional)	0,21
Peso Específico	$\Gamma$	kN/m <sup>3</sup>	22,74

A análise de elementos finitos demonstrou que a imposição de peso específico não alteraria de forma significativa os resultados. Por esta razão optou-se pela não imposição deste tipo de carregamento.

Para geometria dos blocos core-loc utilizou-se a descrição conforme Figura 5. Os blocos hydrus foram modelados utilizando-se os mesmos parâmetros fornecidos para o core-loc, mas com as características específicas destes blocos.

A imposição de cargas também seguiu o exemplo da literatura. Quatro tipos de carregamentos foram utilizados para comparação: um carregamento de torção aplicado às quatro pontas (unhas) externas do bloco mantendo-se a porção central na posição vertical; um carregamento de flexão centrado aplicado à porção extrema do bloco, mantendo-se a porção na outra extremidade engastada; um carregamento de flexão aplicado à ponta da unha extrema, mantendo-se a porção na outra extremidade engastada; e, por fim, um carregamento de flexo-torção, combinando-se a força de flexão na extremidade (unha) da porção extrema com uma força de torque na mesma face, mantendo-se a porção na outra extremidade engastada. Estas forças impostas estão mostradas nas Figuras 6 a 9. Para todos os carregamentos a que foram submetidos os blocos as forças mostradas têm a magnitude de 88,2 kN, exceto para o primeiro, de torção simples, em que cada uma das 4 forças aplicadas têm a magnitude 44,1 kN.

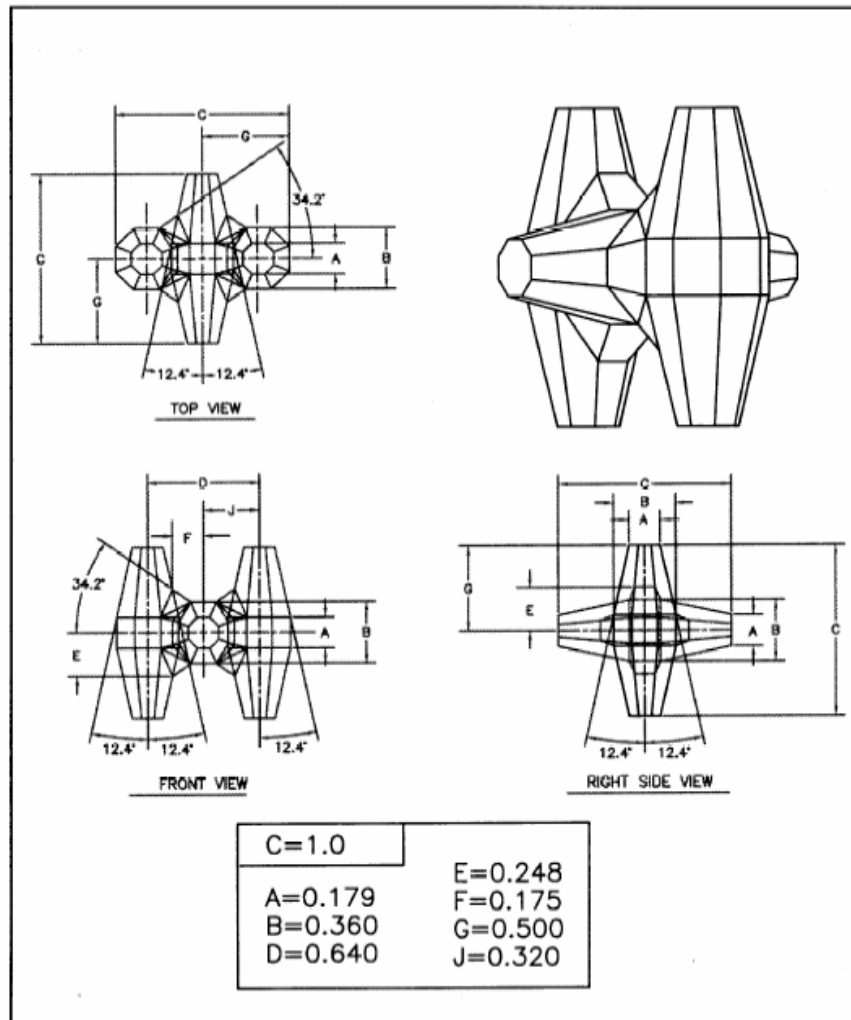


Figura 5 – Desenho do bloco *core-loc* utilizado ref. [1].

### CORE-LOC

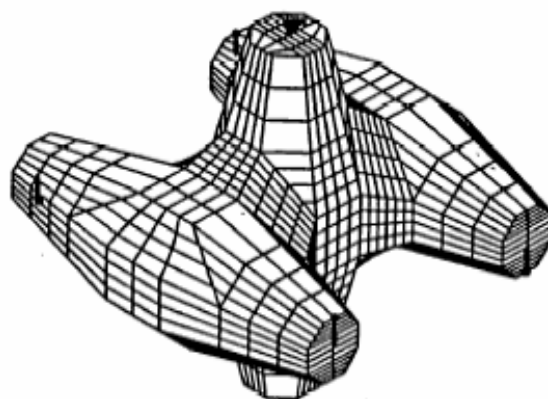


Figura 6 – Carregamento de torção simples no bloco.

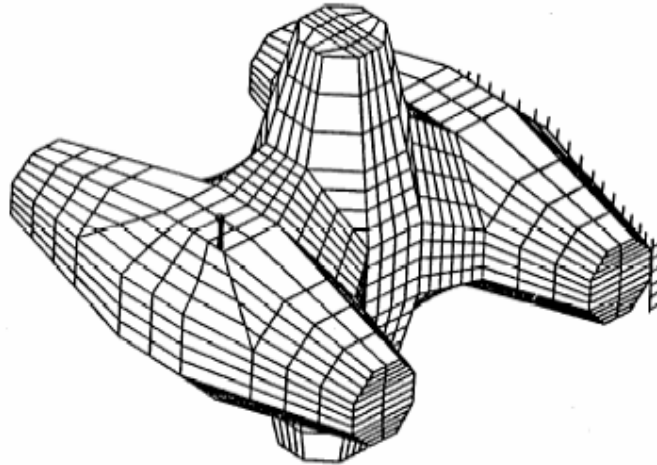


Figura 7 – Carregamento de flexão centrada.

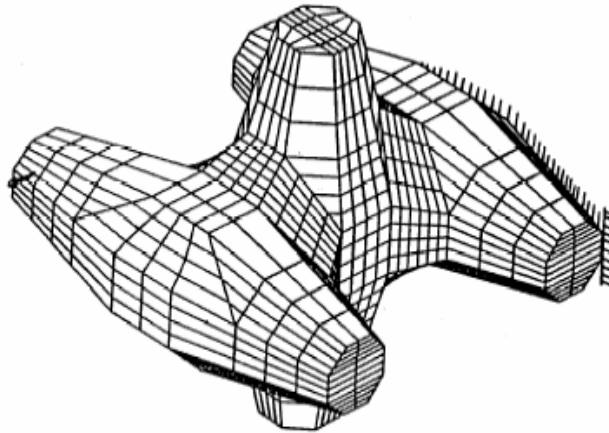


Figura 8 – Carregamento de flexão na extremidade.

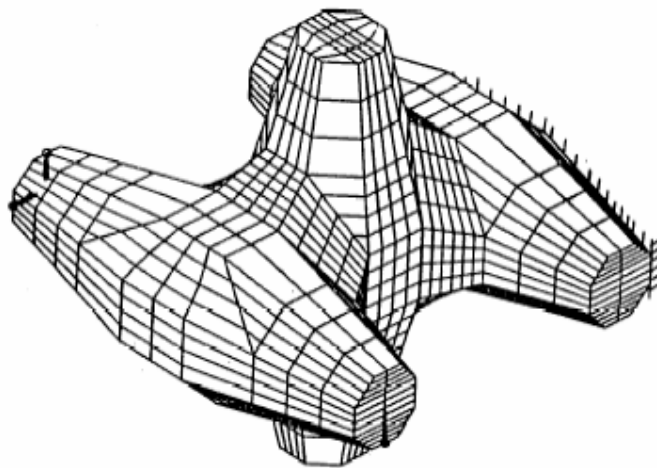


Figura 9 – Carregamento combinado de torção e flexão.

Para a análise de elementos finitos utilizou-se a ferramenta Ansys™, disponível na Universidade Federal do Espírito Santo. Foram utilizados elementos hexaédricos

isoparamétricos quadráticos do tipo serendipity de 20 nós. A geometria foi discretizada em 1368 elementos, perfazendo um total de 6569 nós. Esse número nos fornece um sistema de 19707 equações com 19707 componentes de deslocamentos desconhecidas. Esta malha final foi obtida após análise de convergência dos resultados ref. [2] e ref. [3].

#### 4 RESULTADOS

A partir da equação de Hudson foram encontradas as alturas de ondas para o bloco *Hydrus* que podem ser comparadas com as dos bloco *Core-loc*, conforme mostrado no Quadro 3.

Quadro 3 – Altura do *Core-loc* e do *hydrus* para diferentes ondas de projeto.

Altura de onda (m)	Altura do <i>Core-loc</i> (m)	Altura do <i>Hydrus</i> (m)
0,5	0,23	0.226
1	0,46	0.453
2	0,91	0.905
3	1,36	1.358
4	1,81	1.810
5	2,26	2.263

No Quadro 4 são mostradas as tensões principais obtidas para os blocos *core-loc* e *hydrus* para as diversas combinações de ações descritas anteriormente e de acordo com ref. [2] e ref. [3]. Os resultados mostram que as tensões principais no bloco *Hydrus* são superiores em 15 a 25% quando comparadas às tensões desenvolvidas no bloco *Core-loc*.

Os estudos realizados, ref. [1], mostram que as tensões nos blocos *Accropode*, *Dolos* e *Tribar* alcançam valores superiores em aproximadamente 50%, 100% e 200%, respectivamente, às desenvolvidas no bloco *Core-loc*.

Com estes resultados pode-se concluir que o bloco *Hydrus* apresenta comportamento estrutural similar ao bloco *Core-loc* e com tensões menores do que as tensões dos blocos *Accropode*, *Dolos* e *Tribar*.

Quadro 4 – Tensões principais nos blocos *core-loc* e *hydrus*.

	<i>Core-loc</i>	<i>Hydrus</i>
Torção simples	17,23 MPa	23,159 MPa
Flexão centrada	11,247 MPa	12,982 MPa
Flexão na ponta	10,125 MPa	11,62 MPa
Flexo-torção	22,144 MPa	27,27 MPa

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As alturas de ondas encontradas para o bloco *Hydrus* são similares às do bloco *Core-loc*.

Com relação ao comportamento estrutural, pode-se verificar que os resultados de tensões na torção e na flexão encontrados para os blocos *Hydrus* apresentam valores de ligeiramente superiores aos dos blocos *Core-loc*.

## **5 REFERÊNCIAS**

1. MELBY, J. A.; TURK, G. F. *Core-Loc Concrete Armor Units. US Army Corps of Engineers*. Waterways Experimental Station. Technical Report CHL-97-4. 1997.
2. Menandro, F. C. M., Coelho, M. A. M., Gomes da Silva, M., Souza, F. L. S., Sarmento, R., Zandonade, E., Morimoto, T., *Resposta Estrutural do Bloco Hydrus para Estrutura Hidráulica para Proteção de Ondas Marinhas*. VI Simpósio EPUSP de Estruturas de Concreto. São Paulo. 2006.
3. Menandro, F. C. M., Coelho, M. A. M., Gomes da Silva, M., Souza, F. L. S., Sarmento, R., Zandonade, E., Morimoto, T., *Comparação da resposta estrutural do bloco Hydrus para estrutura hidráulica para proteção de ondas marinhas com outros blocos estruturais*. 48º Congresso Brasileiro do Concreto. Rio de Janeiro. 2006.

## **Agradecimentos**

Agradecemos à Companhia Siderúrgica de Tubarão (CST), à FINEP e ao CNPq por fomentar este trabalho. Agradecemos, também, à Fábrica de Cimento Nassau, à Diaton, à Ical, à Holcim e à Mizu por fornecer os materiais. À toda a equipe de CST.