

Navios de Concreto

Juliana Ferreira Fernandes
Paulo Helene
Escola Politécnica
Universidade de São Paulo

Este artigo relata o maior programa de construção de navios de concreto descrito na literatura internacional. Esse programa decorreu durante as duas guerras mundiais quando houve grandes perdas de navios mercantes devido à ação de submarinos, aumentando a demanda de aço no uso militar.

Os americanos, os alemães e os ingleses sugeriram o uso do concreto armado como um material alternativo na construção do casco do navio, a partir daí foi estabelecido o “emergency shipbuilding programmes” nos Estados Unidos.

A necessidade de uma estrutura forte, durável, simples e econômica para a casca de navio favoreceu a opção por estrutura de concreto que é um material versátil e rápido de construir, transformando-o numa grande e efetiva alternativa para a substituição do aço em estruturas flutuantes.

Introdução

Foi em 1848 que por primeira vez o concreto armado foi utilizado ainda de uma forma primitiva. Na França, Joseph Louis Lambot desenvolveu a primeira aplicação do concreto armado ao construir um barco. Ele o construiu com uma amarração de barras de ferro finas e grossas, moldando o esqueleto do barco com o formato desejado. Depois da malha de

ferro pronta, Lambot a preencheu com argamassa, de cimento Portland primitivo obtido de fornos verticais, ao estilo da hoje denominada argamassa armada, Fig. 1. Em 1855, obteve a patente para seu produto, então denominado barco de “cimento armado”.

Em Roma por volta de 1890, um engenheiro italiano denominado Carlo Gabelline também começou a construir barcos e pequenos navios de concreto, sendo que o mais conhecido destas embarcações foi o navio Liguria, construído em 1905. Doze anos depois, foi relatado por Eberhardt(1995), que ele se encontrava em bom estado de conservação.

No Reino Unido por volta de 1910, vários pequenos barcos foram construídos, sendo um dos mais conhecidos o Violette, construído em 1917 e utilizado por décadas como casa noturna sobre o rio Medway na Inglaterra. Nesse mesmo ano, no mês de abril, os Estados Unidos se associaram à primeira guerra mundial. Naquela ocasião, houve uma grande falta de aço no mercado, além de vários navios mercantes afundados.

No mês de agosto de 1917, o norueguês Nicoley K. Fougner lançou o primeiro navio de concreto para navegação em alto-mar, possuindo 28 metros de comprimento e denominado Namsenfjord. Nesse mesmo ano, o governo americano convidou Fougner para liderar o “Emergency Concrete Shipbuilding Programme” recém-criado.

O executivo W. Leslie Comyn tomou a iniciativa e constituiu a empresa “San Francisco Ship Building Company” com sede em Oakland na Califórnia, para ser a construtora dos navios de concreto para o governo americano. Ele em conjunto com os engenheiros Alan Macdonald e Victor Poss projetaram a primeira embarcação de concreto americana, um navio cargueiro, denominado S.S. Faith. Essa embarcação foi lançada ao mar em 18 de março de 1918, com um custo de U\$750.000,00. Ele foi usado como navio cargueiro até o ano de 1921, quando foi vendido a Cuba.

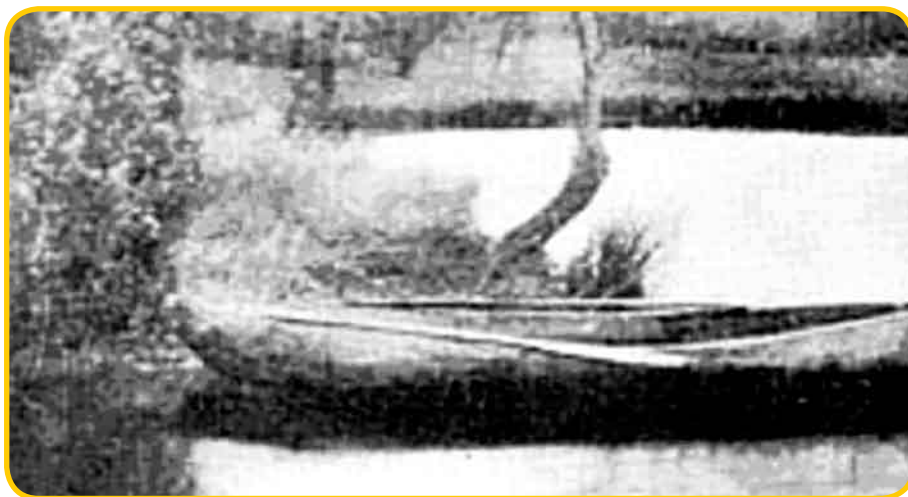


Figura 1 – Foto de um barco de “cimento armado” de Lambot.
(<http://www.concreteships.org>)

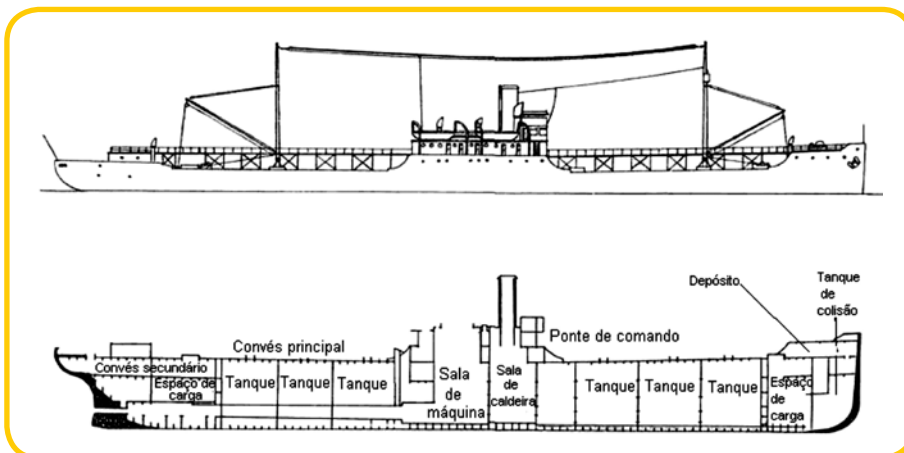


Figura 2 – Perfil de um navio de concreto petroleiro com peso próprio de 7500t, construído pela “U.S. Shipping Board’s Emergency Fleet Corporation” em 1920 e 1921. (Eberhardt, 1995)

Com o desenvolvimento da técnica, da construção e da qualidade operacional de vários navios de concreto construídos em toda a parte do mundo, o presidente dos Estados Unidos, naquela época, Woodrow Wilson finalmente aprovou um outro programa, o “Emergency Fleet Program” com uma verba de U\$ 500.000.000,00. Inicialmente, o programa consistia na construção de aproximadamente 24 navios com casca de concreto armado, com perfil indicado na Fig. 2.

Somente 12 embarcações foram construídas durante a 1ª guerra. Esses navios mais tarde foram vendidos para companhias particulares, os quais foram usados para transporte de passageiros, armazenagem e até para quebra-mares constituindo uma das primeiras aplicações bem sucedidas de reciclagem do concreto. De acordo com Rowland Morgan(1972), foram lançados ao mar mais de 500.000 toneladas de concreto em navios durante as duas guerras mundiais, veja Tabela 1.

No intervalo entre as duas guerras mundiais, não foi dada continuidade ao programa de construção de navios de concreto. Mas, na primavera de 1941, a produção de placas de aço não atendia toda a demanda do mercado. Então, a “US Maritime Commission” aprova mais uma vez a construção de navios de concreto.

Existiram cinco projetos de navios diferentes e mais um projeto que foi uma extensão do programa inicial, veja Tabela 2.

Tabela 1

Embarcações de concreto durante as duas guerras mundiais em toneladas (Morgan,1972)

País	Peso próprio total das embarcações x 1000t			
	Primeira Guerra Mundial		Segunda Guerra Mundial	
	Projetadas	Construídas	Projetadas	Construídas
Estados Unidos	560	69	700	488
Reino Unido	250	2	–	4
Alemanha	–	–	21	18
Escandinávia	–	13	–	2

Tabela 2

Navios de concreto construídos na segunda guerra mundial (Tuthill, 1945)

Local de produção	Número navios	Comprimento (m)	Largura (m)	Profundidade (m)	Deslocamento* (tf)	Concreto (m³)	Aço (kg)
Savannah	7	106,7	16,5	10,7	10930	2084,5	1525
Houston	4	106,7	16,5	10,7	10930	2084,5	1520
Tampa	24	106,7	16,5	10,7	10930	2368,4	1250
San Francisco	20	106,7	16,5	10,7	10930	1986,4	1100
Nacional City	22	109,8	17,1	11,6	12750	2444,8	1655
Nacional City	27	80,8	14,6	5,33	4000	859,5	490

* Peso de água deslocada por um navio flutuando em águas tranquilas

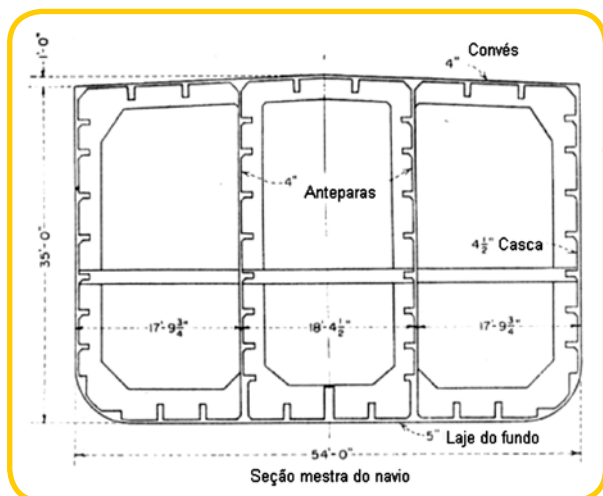


Figura 3 – Seção mestra dos navios construídos em Savannah e Houston (Tuthill, 1945)

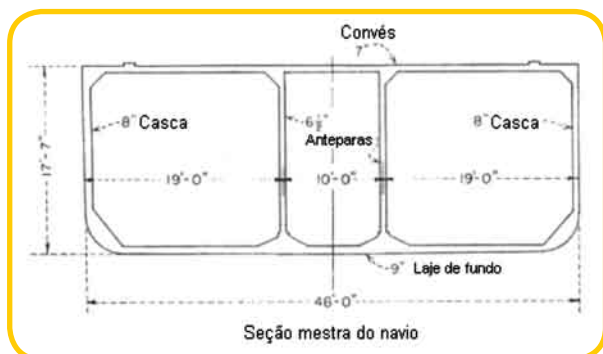


Figura 4 – Seção mestra do navio construído em Nacional City (Tuthill, 1945)

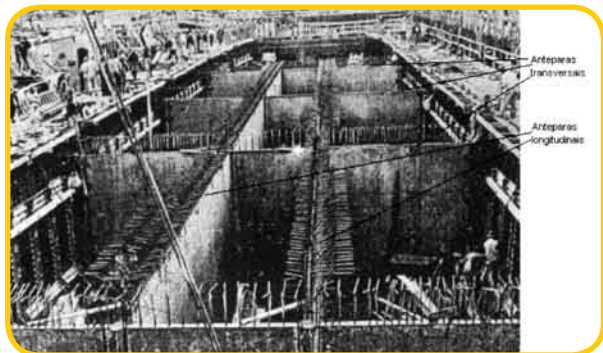


Figura 5 – Anteparas ou painéis parcialmente pré-fabricados em Nacional City (Tuthill, 1945)

As embarcações de Savannah, Houston e o da primeira National City foram navios petroleiros. Os navios de Tampa foram barcas com a finalidade de transportar cargas secas. Todas as embarcações foram submetidas a testes hidrostáticos com água a 2,5 metros acima do convés através de "bottle tight". As espessuras das cascas dos navios variaram de acordo com cada projeto de aproximadamente 11,4 cm (4 1/2 polegadas) à 20,3 cm (8 polegadas) de espessura. Nessas cascas havia dois painéis (anteparas) longitudinais e dez transversais. As espessuras do convés e da laje de fundo do casco variaram de

acordo com o projeto de 10,2 cm (4 polegadas) à 17,8 cm (7 polegadas) e de 12,7 (5 polegadas) cm à 22,9 cm (9 polegadas), respectivamente, conforme Fig. 3 e 4.

As espessuras das anteparas ou dos painéis longitudinais para cada projeto variaram de aproximadamente 10,2 cm (4 polegadas) à 16,5 cm (6 1/2 polegadas) e foram executados com o lançamento da armadura pronta, pré-fabricada, como ilustra a Fig. 5. As anteparas ou os painéis transversais eram construídos de uma só vez, e os longitudinais, em várias vezes de comprimento igual ao vão entre as transversais.

Materiais utilizados

O material utilizado nas embarcações da primeira guerra mundial foi o concreto leve, com valores de resistência à compressão próxima de 35MPa (um ano mais tarde chegou-se a 46MPa) e massa específica em torno de 1760 kg/m³, enquanto o valor usual de resistência à compressão dos concretos tradicionais era de 15MPa, naquela época. O conteúdo de cimento utilizado na mistura foi alto chegando até 528kg/m³. O agregado leve utilizado foi o xisto expandido fabricado em forno rotativo de marca comercial Haydite. Esse agregado foi desenvolvido por Stephen Hayde em meados de 1900 em Kansas City, Missouri nos Estados Unidos.

Nas embarcações construídas durante a segunda guerra mundial, foram gastos aproximadamente 2300 m³ de concreto leve no casco de cada navio. O agregado leve utilizado foi o da marca comercial Haydite, o mesmo utilizado nos navios

Tabela 3

Composições químicas do cimento Portland tipo II utilizado nas misturas do concreto (Tuthill, 1945)

Local de produção Cimento Portland Análise química [%]	San Francisco Tipo II
CaO	65,0
SiO ₂	21,4
Al ₂ O ₃	5,4
Fe ₂ O ₃	4,3
MgO	1,6
SO ₃	1,7
Perda ao fogo	0,6
Resíduo insolúvel	0,1
Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃	1,2
C ₃ S	55
C ₃ A	7
Total de álcalis expresso em Na ₂ O	1,06

Tabela 4
Dosagem do concreto Portland
utilizado nos navios construídos
em San Francisco

Materiais	Proporções
Cimento Portland II	589 kg
Agregado leve graúdo (Haydite)	
3/8" (% de volume de sólido)	20
1/2" (% de volume de sólido)	35
Areia natural (% de volume de sólido)	45
Relação água/cimento (kg/kg)	0,43
Slump (mm)	155
Tempo de mistura (minutos)	3

da década de 20. O cimento Portland tipo II foi selecionado para ser utilizado no traço do concreto por apresentar moderado calor de hidratação, boa durabilidade e melhor resistência ao ataque de sulfatos. Por essas razões, a fabricação desse cimento sofreu algumas alterações em sua composição, com o intuito de reduzir o calor e aumentar a resistência a sulfatos. As Tabelas 3 e 4 ilustram a composição do cimento Portland tipo II e a dosagem do concreto utilizado nas embarcações construídas em San Francisco. O diâmetro máximo do agregado utilizado nessas embarcações foi de 12,7 mm, a

quantidade de cimento foi de aproximadamente 589kg por metro cúbico

A resistência média à compressão para esse concreto foi, aos 28 dias, de 40MPa e, aos 365 dias, de 52MPa. O módulo de elasticidade, aos 28 dias, foi 22,4GPa.

Mistura

A mistura do concreto era executada no canteiro por betoneira estacionária, próximo à estrutura, depois de pronta ela era colocada em grandes caçambas e içada até o nível mais alto do navio. As caçambas eram levadas por carrinhos de mão até a linha central do esqueleto da embarcação, Fig. 6(a). O lançamento do concreto era por escorregamento através de grandes tubos inclinados até o local de moldagem, Fig. 6(b).

A mistura do concreto na segunda guerra mundial foi executada em caminhões betoneiras, Fig. 7. Naquela ocasião, não havia métodos novos de lançamento do concreto para o preenchimento das fôrmas. Na maioria dos casos, o lançamento do concreto foi similar ao lançamento da primeira guerra já descrito anteriormente.

Slump

Nos concretos utilizados nos cascos dos navios, a questão da consistência foi muito discutido, o slump do concreto do primeiro navio foi em média 7,6 cm (3 polegadas). À medida que foram construindo mais navios, o slump variava de 10,2 cm (4 polegadas) à 15,2 cm (6 polegadas), por fim, chegou-se a 11 cm, para o mesmo conteúdo de água. A intenção era obter um

concreto mais trabalhável, pois o casco do navio era delgado além de toda a armação existente.

Em alguns casos, houve imperfeições na concretagem devido a vazamentos ou à ruptura da fôrma, contudo os problemas foram fácil e rapidamente contornados.

Fôrmas

Em todos os projetos de navios de concreto, foram utilizados fôrmas de madeira, exceto os projetos da Nacional City e de Tampa que foram utilizados fôrmas de aço na seção mestra do navio.



Figura 6 – Concretagem de uma embarcação construída durante a primeira guerra mundial (Eberhardt, 1995)

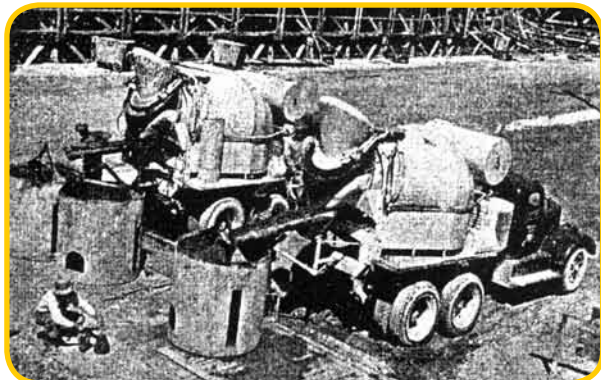


Figura 7 – Slump-teste realizado no canteiro de Tampa, Florida

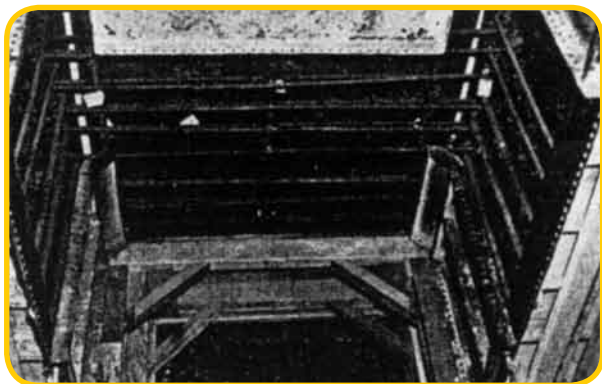


Figura 8 – Fôrmas de aço deslizante utilizada nas embarcações de Nacional City

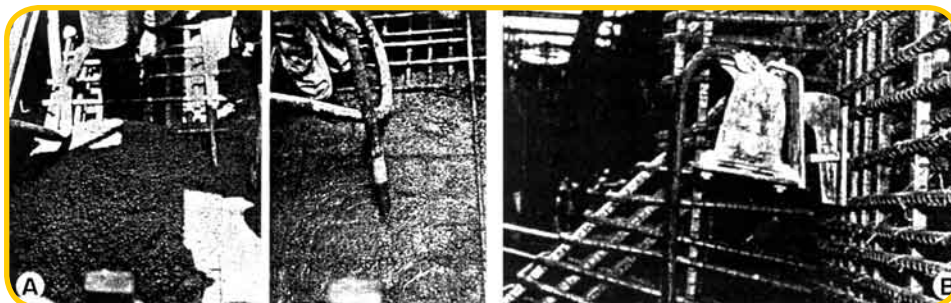


Figura 9 – (A) Vibrador de imersão utilizado no lançamento do concreto; (B) equipamento vibratório acoplado diretamente na armadura durante o lançamento do concreto, utilizado nos navios da Nacional City

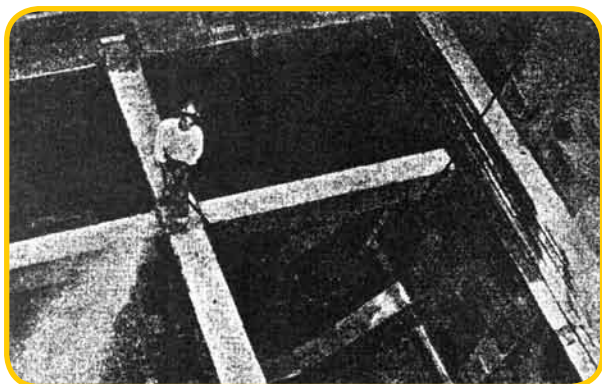


Figura 10 – Cura do concreto feita por jatos de água lançada nas fôrmas da parte interna dos navios de Nacional City

As espessuras das fôrmas de madeira eram de aproximadamente 1,9 cm ($\frac{3}{4}$ polegadas), exceção nas lajes de fundo dos cascos do projeto de Tampa, as fôrmas possuíam 2,5 cm (1 polegada).

Vibração

Um dos fatores de sucesso do lançamento do concreto foi a eficiente vibração e o adensamento do concreto. O vibrador que obteve melhores resultados foi o do tipo imersão, Fig. 9a. Foram utilizados outros dispositivos para a acomodação do concreto, como ilustra a Figura 9b.

Cura

A cura nas primeiras idades do concreto foi realizada com jatos de água lançados da parte interna do navio, como ilustra a Fig. 10, exceção à superfície do convés do navio. As fôrmas externas dos navios não eram removidas antes da concretagem do convés. Foi decidido pelo programa que a cura através de jatos d'água perdurariam no mínimo por 30 dias.

Peso do casco

Essas embarcações foram construídas sob condições emergenciais e sob pressão. Os cascos dos navios de concreto construídos durante as duas guerras mundiais eram muito mais pesados do que se fossem construídos de aço, mas mesmo assim, obtiveram uma excelente performance em alto-mar, além de mostrar

um ótimo comportamento ao impacto, à colisão, à explosão e ao fogo.

Estimativas realizadas por Morgan(1972) prediz que o peso do casco para embarcação de concreto protendido acima de 100.000t tende a se igualar ao peso do casco de aço.

O peso do casco não é necessariamente o único critério para estimar a eficiência do casco de um navio, mas é o maior problema que o concreto pode enfrentar para este tipo de aplicação. Para que haja sucesso neste tipo de empreitada o peso do casco de concreto deve ser tratado realisticamente.

Quantidade de aço armado

Foram utilizadas uma grande quantidade de armaduras nas embarcações de concreto construídas durante as duas guerras mundiais, veja Fig. 11. Na ocasião, foi estimado que se utilizaria em armaduras o equivalente a 33% da quantidade de aço necessário para construir um navio metálico.

Custos de construção

A principal proposta do "emergency ship-building programmes" foi economizar placas de

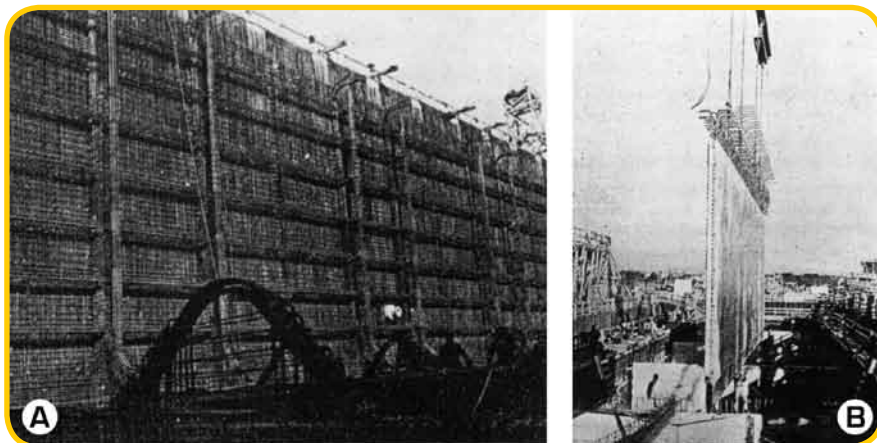


Figura 11 – (A) Excesso de armaduras nas cascas laterais dos navios de Savannah; (B) posicionamento das armaduras prontas na execução da antepara longitudinal, projeto em Nacional City. (Tuthill, 1945)

aço, contudo a tentativa de obter uma construção econômica foi de longe excedida. De acordo com Morgan(1972), foram gastos em média de U\$ 200,00 por tonelada do peso próprio. Com o uso repetitivo dos projetos e das execuções, houve uma redução significativa nesses valores. No projeto em Nacional City com 22 embarcações de navios petroleiros de peso próprio 6375 tf cada um, a redução foi de U\$300,00 para U\$135,00 por tonelada de peso próprio. Em Tampa, os 24 tanques auto-impulsionados construídos, com peso próprio de 5200 tf, sofreram redução de gastos de U\$410,00 para U\$314,00 por tonelada de peso próprio.

Custos de reparos e de manutenção

A durabilidade do concreto em alto-mar é bem determinada e mostrou custos consideravelmente econômicos de manutenção em relação aos cascos de aço. Os custos da manutenção média de barcos de concreto citados por Morgan(1972) são em torno de U\$2830,00 por barco por ano, em contrapartida os barcos de aço são U\$8200,00 por barco por ano. Já os custos dos reparos em navios de concreto são cotados em 50% dos valores dos reparos dos navios de aço.

86 anos de vida

Sturm et al.(2000) relatam um estudo com 10 navios de guerra, um da primeira guerra mundial com 80 anos de vida, o “S S Peralta”, e os outros nove são da segunda guerra mundial com 55 anos de vida. Hoje, eles estão na Powell River em British Columbia no Canadá como quebra mar, Fig. 12. Esses pesquisadores fizeram estudos petrográficos nesses navios e constataram excelente contato na zona de

transição agregado/matriz, completa hidratação do cimento e um dano insignificante devido aos efeitos gelo e degelo. Esse estudo microscópico mostrou claramente a hidratação contínua da pasta de cimento, resultando em incrementos contínuos na resistência à compressão nos cascos dos navios. As resistências à compressão do concreto desses navios nos dias de hoje foram superiores a 60MPa.

Berger/Abam Engineers (2000) cita que essas embarcações exibiam excelente durabilidade e baixo custo de manutenção. Um dos relatos mais bem documentados é o do navio USS Selma, construído na primeira guerra mundial com a função de transportar petróleo, Fig. 13a. Durante a inspeção de 1953, testemunhos do tanque de concreto foram retirados acima e abaixo do nível da água. Foram realizados ensaios de compressão simples, de aderência aço-concreto e de módulo de elasticidade. Após 34 anos de vida, foi verificada uma resistência média de 77MPa, praticamente o dobro da encontrada aos 28 dias (39 MPa), uma resistência de aderência média de 3,6MPa e um módulo de elasticidade médio de 22,8GPa. Nessa embarcação, foram utilizadas 1500 toneladas de armaduras de aço doce.

Histórias incríveis são encontradas na literatura sobre esses navios, como a da embarcação S S San Pasqual, Fig. 14b. Essa embarcação, com

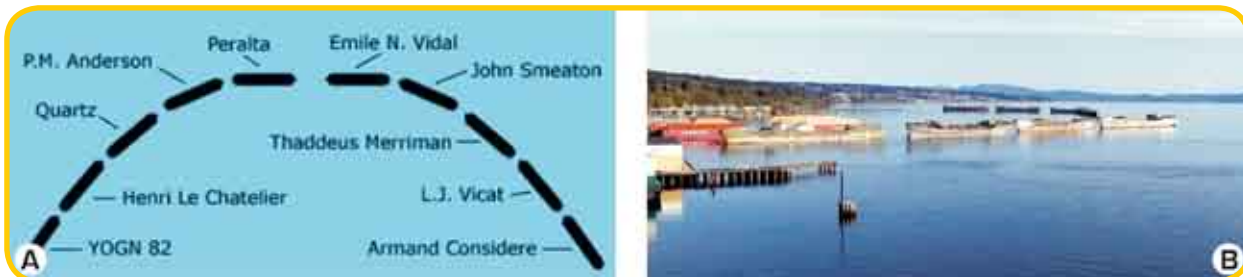


Figura 12. Corrente formada por navios de guerra como quebra mar em Powell River, Canadá. A fig. (a) ilustra a configuração dos navios pelos seus respectivos nomes.(www.concreteships.org)

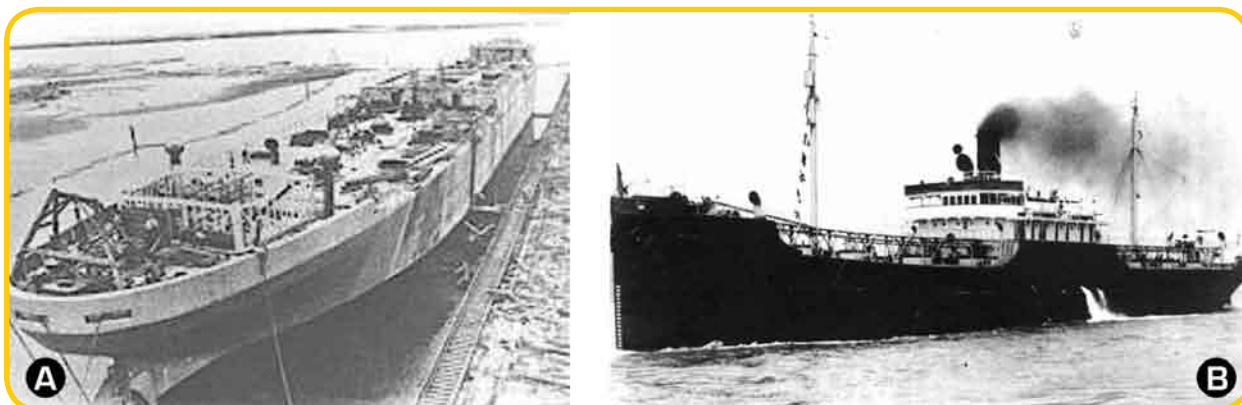


Figura 13 – Navios de concreto construídos na primeira guerra mundial: (a) Navio SS Selma; (b) Navio Palo Alto em alto-mar em 1920



Figura 14 – Navios de concreto construídos na primeira guerra mundial: (a) navio SS Cuyamaca em San Diego, Julho 1920; (b) Navio SS San Pasqual, hoje um hotel em Cuba (www.concreteships.org)

132m de comprimento, 16,5m de largura e 8m de altura, foi lançada ao mar em 28 de junho de 1920 com a função de transportar petróleo. Em março de 1921, ela foi atingida por um temporal e permaneceu durante os três anos seguintes ancorada. Em 1924, ela foi comprada pela Old Times Molasses Company of Havana em Cuba e usada como navio cargueiro em Santiago. Oito anos depois, San Pasqual foi desmontada e usada como depósito de navios em Havana. No período da segunda guerra mundial, essa embarcação foi utilizada para procurar submarinos

alemães. Durante a revolução de Cuba, esse navio serviu como prisão de soldados capturados pelo exército de Che Guavara. Desde então, o navio serviu para várias propostas, incluindo em seu currículo um clube de esporte para homens e um quartel general para competições de pescaria. Finalmente, na década de 90 o navio foi convertido em um hotel e permanece até os dias de hoje. O navio internamente pode ser visto no site: <http://www.geocities.com/vedado-habana/sanpasqual.html>. A embarcação San Pasqual está completando 86 anos e é a mais antiga dos navios de guerra.



Figura 15 – Barcaça Ardjuna construída na Indonésia pela Berger/Abam Engineers

Embarcações futuras

Hoje, com o aprimoramento da tecnologia dos concretos e com o desenvolvimento de novos materiais componentes, como os aditivos redutores de água e as adições pozolânicas, pode-se obter com facilidade alta resistência mecânica e elevada durabilidade. Além dos concretos de alta resistência, há a tecnologia da protensão com cabos

de aço de altíssima resistência, a tecnologia do pré-fabricado e os conceitos mais perfeitos de projetos com uso de computadores.

Com tudo isso, já se encontra no mercado grandes barcas de concreto que transportam gás natural liquefeito à -162° C, conforme Fig. 15. Uma dessas barcas é a Ardjuna Sakti, localizada no Mar Java na Indonésia. Ela possui um volume de 15.707

metros cúbicos de concreto protendido, 17 metros de altura, 41,5 metros de largura e 140,5 metros de comprimento, lançada ao mar em 1974 e está em excelente estado de conservação.

O que já era viável, simples, forte e econômico em outros tempos, um navio de concreto hoje, pode ser uma excelente opção para estruturas offshore.♦

Referências Bibliográficas

Berger/r Engineers, Inc.(2000) "Final Report Phase 1 – Concept Development Modular Hybrid Pier (MHP)". Naval Facilities Engineering Service Center. CR 00-001-SHR, february. 121 p.

Eberhardt, R. (1995) "Concrete Shipbuilding in San Diego, 1918-1920". The Journal of San Diego History. V.41, N.2.

Heron, D. W. (1991) "Forever Facing South: The Story of the S. S. Palo Alto "the Old Cement Ship" of Sealiff Beach". Ed. Otter B Books, july.104pp.

Morgan, R.G. (1972) "Concrete Ship". In Proceedings of the FIP Symposium Concrete Sea Structures. Tbilisi, September,1972. pp 114-119.

Morgan, R.G. (1977) "History and Technical Development of Concrete Ship". The Naval Architect. January, pp. 8 – 11.

Sturm, R. D.; McAshkill, N.; Burg, R. G.; Morgan, D. R. "Evolution of Lightweight Concrete Performance in 55 to 80 Year Old Ship". In ACI – SP189-7.

Tuthill, L. H. (1945) "Concrete Operations in the Concrete Ship Program". Journal of the American Concrete Institute. Detroit, Michigan, V.16, N.3, January. pp. 137-177.



CASSOL

PRÉ-FABRICADOS

Soluções pré-fabricadas em concreto com selo de qualidade.



FLORIANÓPOLIS - SC

RIO DE JANEIRO - RJ

CANOAS - RS

CURITIBA - PR

Curitiba-PR • Tel.: (41) 3641-5900 • Fax.: (41) 3643-1524 • comercial@cassol.ind.br
Florianópolis-SC • Tel.: (48) 3381-2900 • Fax.: (48) 3259-1011 • cassolsc@cassol.ind.br
Rio de Janeiro-RJ • Tel.: (21) 2682-0864 • Fax.: (21) 3787-3465 • cassolrj@cassol.ind.br
Canoas-RS • Tel/fax.: (51) 3462-5900 • cassolrs@cassol.ind.br

www.cassol.ind.br

