

ESTUDO DO COMPORTAMENTO FÍSICO E MECÂNICO DE CABOS DE CONSTRUÇÃO CIRCULAR E DUPLA-TRANÇA FABRICADOS COM POLIAMIDA (NYLON).

Leandro Haach, Letícia Sausen Hamester e Marcelo Abu-Jamra

Resumo:

O cabo de Dupla-Trança de poliamida é um produto consolidado no mercado de monoboias e tem como sua principal característica o alto alongamento e capacidade de absorção ao choque, oferecendo total segurança nas mais adversas operações de amarração. Por outro lado, o cabo de construção Circular tem chamado a atenção do mercado em razão de ser um produto que, em virtude de seu formato construtivo, oferece uma maior resistência à ruptura quando comparado com um cabo de Dupla-Trança de mesmo diâmetro.

A partir de análises comparativas entre os dois tipos de cabos, este trabalho busca responder a questões que são intrínsecas a este tipo de análise, com destaque para o desempenho à fadiga e a capacidade de absorção de choque destes dois modelos construtivos. Além disso, busca-se apurar as vantagens e desvantagens das construções Dupla-Trança e Circular, permitindo que o usuário faça sua escolha quanto ao melhor custo-benefício para sua operação.

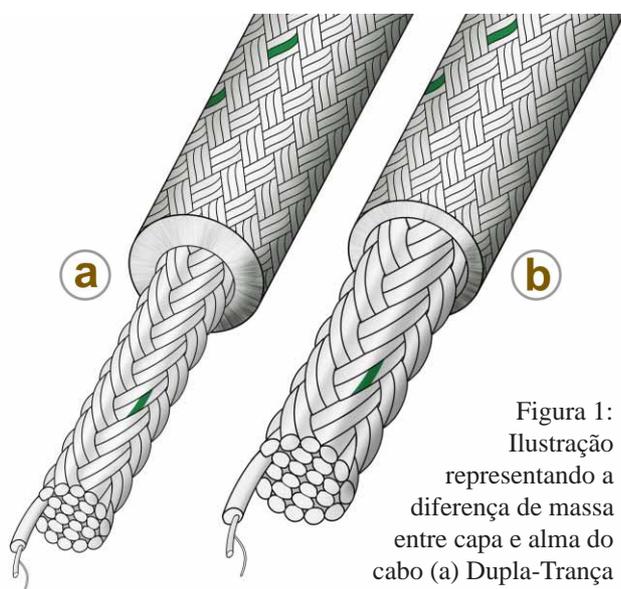


Figura 1:
Ilustração
representando a
diferença de massa
entre capa e alma do
cabo (a) Dupla-Trança
e (b) Circular

Normativamente, tanto no atendimento dos requisitos da ISO 10554 (norma que regulamenta as características de um cabo de trança-dupla) quanto ao atendimento dos requisitos da regra OCIMF – 2000, um cabo de Dupla-Trança deve ter distribuição equalizada de massa, ou seja, 50% de massa na alma e 50% de massa na capa, podendo variar +/- 5%. Assim, qualquer alteração construtiva que não observe esta distribuição uniforme de massa deverá ser classificada como uma configuração distinta ao padrão Dupla-Trança, postulado pela ISO 10554.

Embora destinado ao mesmo tipo de aplicação, o cabo Circular desenvolvido pela CSL não tem o propósito de substituir o Dupla-Trança, mas, em atendimento a alguns segmentos do mercado, oferecer uma segunda alternativa às operações em monoboias.

Diferentemente do cabo de Dupla-Trança, a arquitetura do Circular concentra sua resistência na alma do cabo, enquanto que a capa tem apenas a função protetora, garantindo-lhe um formato perfeitamente firme e arredondado. Além disso, sua característica compacta concentra elevada resistência por área, o que resulta em um cabo mais rígido e, conseqüentemente, com menor alongamento que o cabo de Dupla-Trança. A maior rigidez e menor alongamento deste cabo podem resultar em um cabo com menor recuperação elástica.

Introdução:

Atualmente, conforme apresentado nas ilustrações ao lado, o mercado de cabos de amarração de monoboias tem duas alternativas de produtos desenvolvidos para atender às necessidades desse tipo de aplicação. Em primeiro lugar, tem-se o tradicional cabo de Dupla-Trança e como segunda opção tem-se o cabo aqui denominado de Circular.

Destaca-se, entretanto, que as diferenças entre as arquiteturas destes cabos resultam em diferentes propriedades e desempenho em serviço, que serão avaliadas neste trabalho através dos ensaios mecânicos realizados.

Não raro, seja através de literatura ou através de inspeção de produtos, é possível deparar-se com cabos classificados erroneamente com Dupla-Trança. Isso ocorre pelo simples fato de ambos os cabos serem constituídos de uma capa e uma alma, contudo, faz-se introdutoriamente um alerta: um cabo de construção típica Dupla-Trança tem a seguinte configuração:

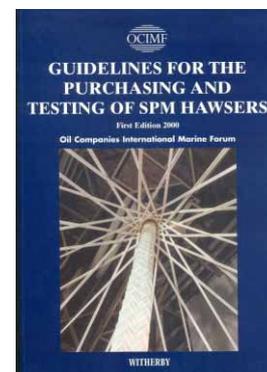


Figura 2: Norma ISO 10554 e Guia OCIMF

Tabela 1: Características do cabo Dupla-Trança

Vantagens	Ponderações
Excelente resistência ao choque, rápida recuperação elástica	Perde até 10% de sua resistência quando molhado
Muito boa resistência à fadiga, elevada capacidade de retenção das propriedades físicas após esforços físicos por longo tempo	
Muito boa resistência à tração	
Excelente flexibilidade, tanto seco quanto molhado	
Pode ser testado e aprovado conforme método especial da norma ISO 2307	
	A menos que seja uma opção de cabo híbrido ou revestido com poliuretano, sua capa desdobra-se em duas funções: atua como parte integrante da resistência do cabo e como pele protetora contra abrasão e raios ultravioleta

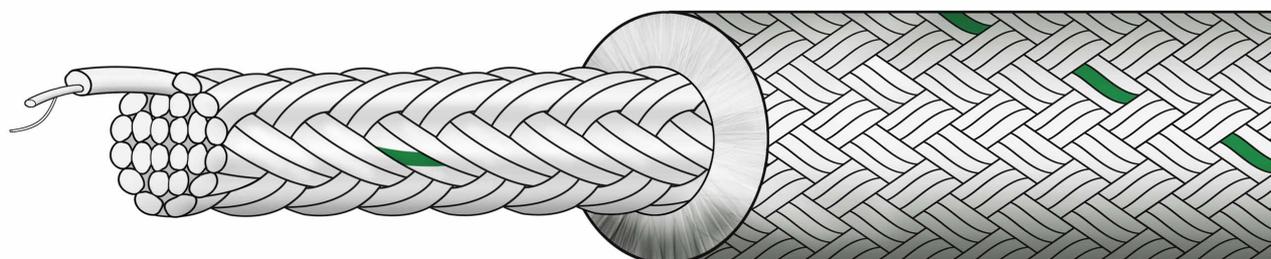
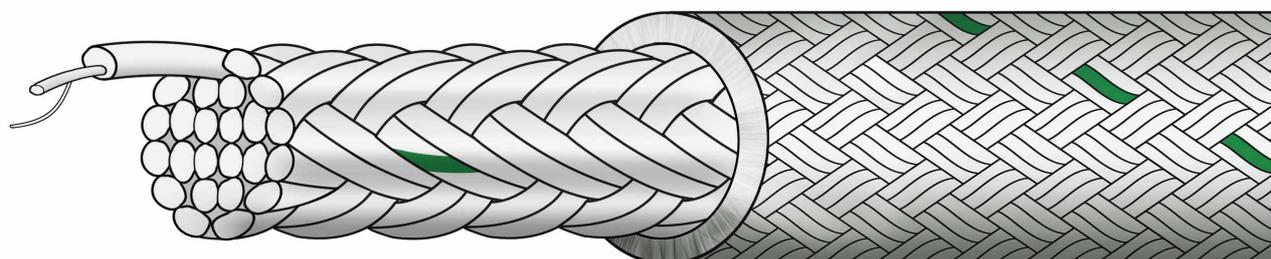


Tabela 2: Características do cabo Circular

Vantagens	Ponderações
Boa resistência ao choque	Moderada recuperação elástica
Muito boa resistência à fadiga, elevada capacidade de retenção das propriedades físicas após esforços físicos por longo tempo	Perde até 10% de sua resistência quando molhado
Excelente resistência à tração quando comparado com o cabo Dupla-Trança, \varnothing para uma mesma carga de ruptura	Menor alongamento quando comparado com cabo Dupla-Trança
Boa flexibilidade, tanto seco quanto molhado	Não pode ser testado conforme método especial da norma ISO 2307 - seu custo de aprovação e certificação é mais elevado
Excelente resistência à abrasão, cuja capa na opção em poliéster destina-se, principalmente, a esta finalidade	



Resultados e Discussões:

Análise Dimensional

Como já foi apresentado, sabe-se que a distribuição de massa do cabo Dupla-trança concentra 50% da massa do cabo na alma e 50% na capa, enquanto que o cabo Circular concentra até 80% de sua massa total na alma e apenas 20% na capa. A tabela 3 apresenta os resultados dos ensaios dimensionais realizados nos cabos.

Tabela 3: Resultados dimensionais reais e valores nominais

Matéria-prima	Construção	Diâmetro Nominal (mm)	Diâmetro Real (mm)	Densidade linear Nominal (kg/m)	Densidade linear Real(kg/m)
Poliamida (nylon 100%)	Dupla-Trança	48	49	1,43	1,50
Poliamida (nylon 100%)	Circular	48	50	1,43	1,55

Dados dimensionais obtidos conforme norma ISO 2307

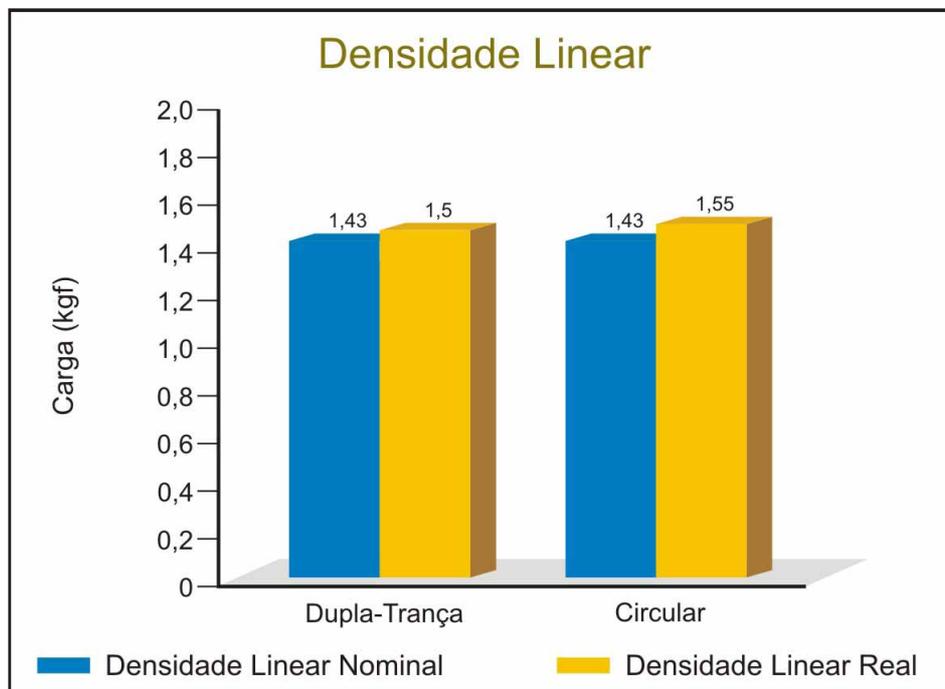


Figura 3 – Densidade linear nominal e real dos cabos Dupla-Trança e Circular.

Apesar de ambos os cabos apresentarem aspectos dimensionais teóricos iguais, o cabo Circular apresenta maior densidade linear real que o Dupla-Trança, uma vez que concentra maior massa por área do cabo.

Ensaio de Ruptura

Os cabos Dupla-Trança e Circular foram submetidos a ensaios de ruptura nas condições seco e molhado, conforme descrito na *Guidelines for the Purchasing and Testing of SPM Hawsers* da OCIMF (2000). Os resultados obtidos estão descritos na tabela 4 juntamente com os valores de carga de ruptura nominal destes cabos. As figuras 5 e 6 apresentam as curvas de tensão-deformação dos cabos obtidas durante os ensaios.

Tabela 4: Cargas de ruptura nominais e reais dos cabos Dupla-Trança e Circular

Construção	Carga de ruptura nominal (kgf)	Carga de ruptura a seco (kgf)	Carga de ruptura a úmido (kgf)	% de dif. entre resistência (seco/úmido)
Dupla-Trança	41.600	47.330	44.400	6.6
Circular	41.600	67.150	58.985	12.2

Dados de resistência à ruptura obtidos conforme norma ISO 2307

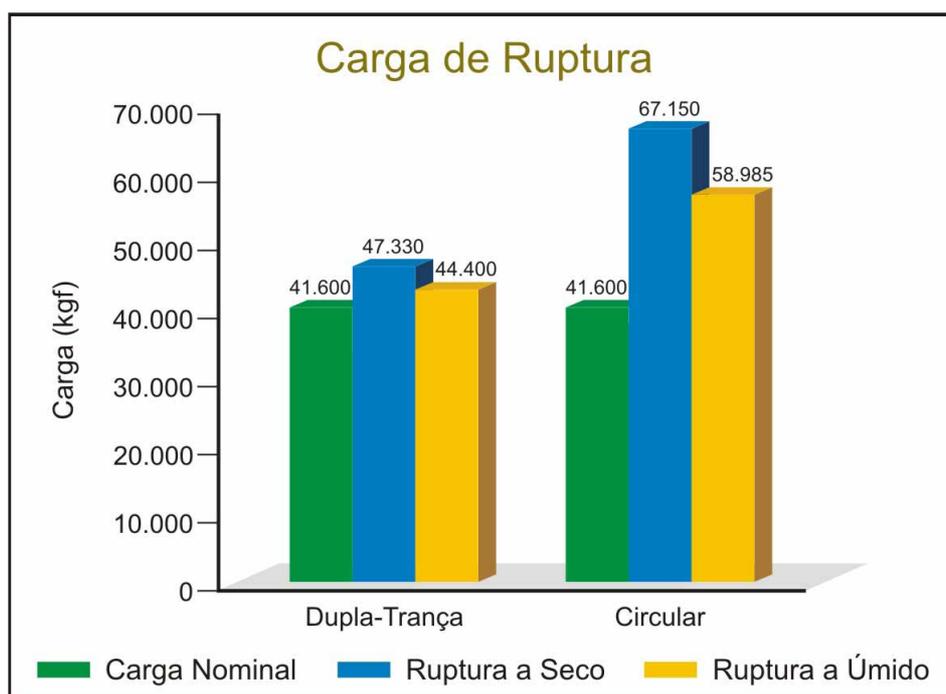


Figura 4 – Cargas de rupturas nominais e reais (seco e úmido) dos cabos Dupla-Trança e Circular.

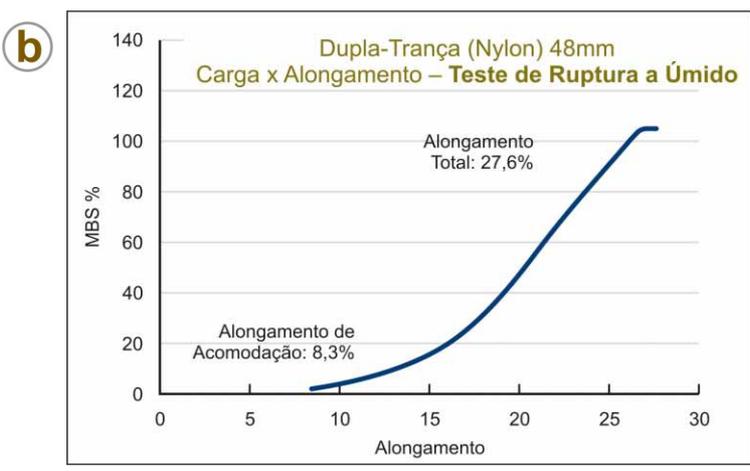
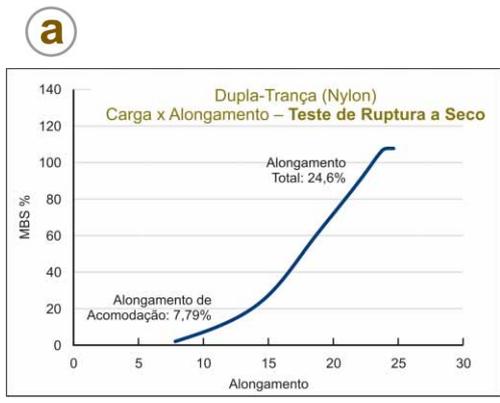


Figura 5 – Curvas de tensão-deformação nas condições seco (a) e molhado (b) do cabo Dupla-Trança.

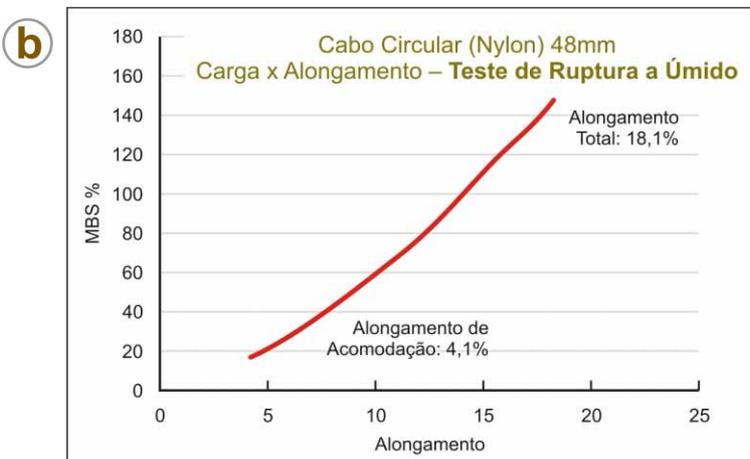
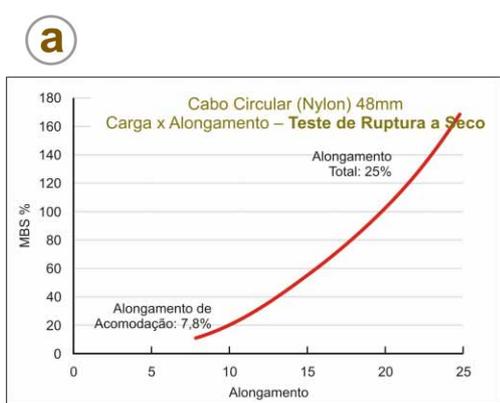


Figura 6 – Curvas de tensão-deformação nas condições seco (a) e molhado (b) do cabo Circular.

Embora seja importante informar o desempenho do cabo na condição de ensaio a seco, é preciso destacar que a análise do comportamento do cabo molhado, condição onde ocorre um significativo encolhimento da poliamida (nylon), é a que melhor representa a realidade de uso. Nos gráficos das figuras 7 e 8 é possível observar a diferença deste comportamento, em ambas as construções, em virtude do encolhimento.

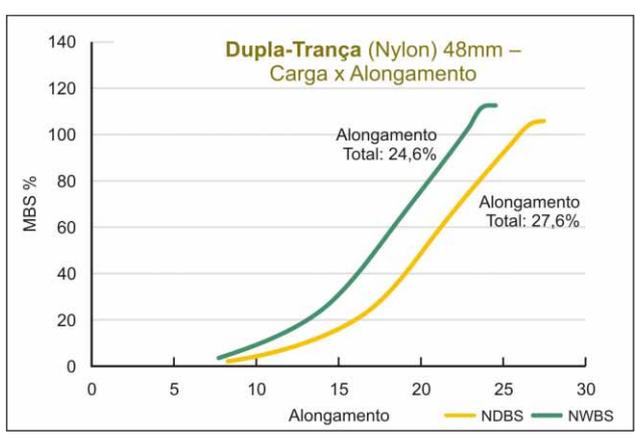


Figura 7 – Curvas sobrepostas de tensão-deformação nas condições seco e molhado do cabo Dupla-Trança.

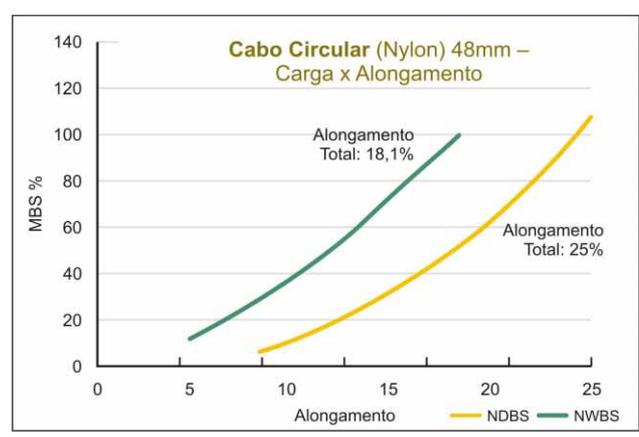


Figura 8 – Curvas sobrepostas de tensão-deformação nas condições seco e molhado do cabo Circular.

É possível observar que o encolhimento do cabo quando molhado é mais expressivo no cabo de construção Circular, cuja arquitetura compactada favorece o aumento do encolhimento.

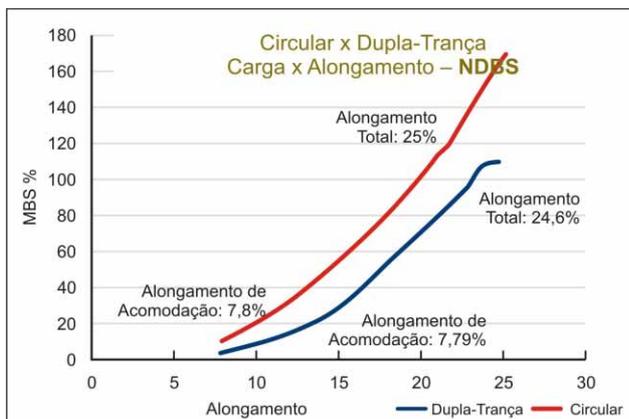


Figura 9 – Curvas sobrepostas de tensão-deformação na condição de ensaio realizado a seco para os cabos Dupla-Trança e Circular.

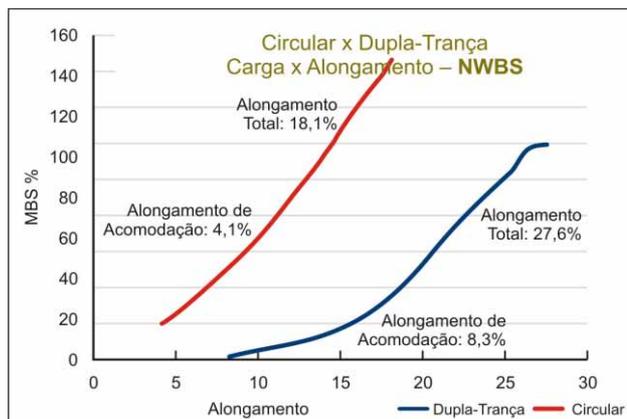
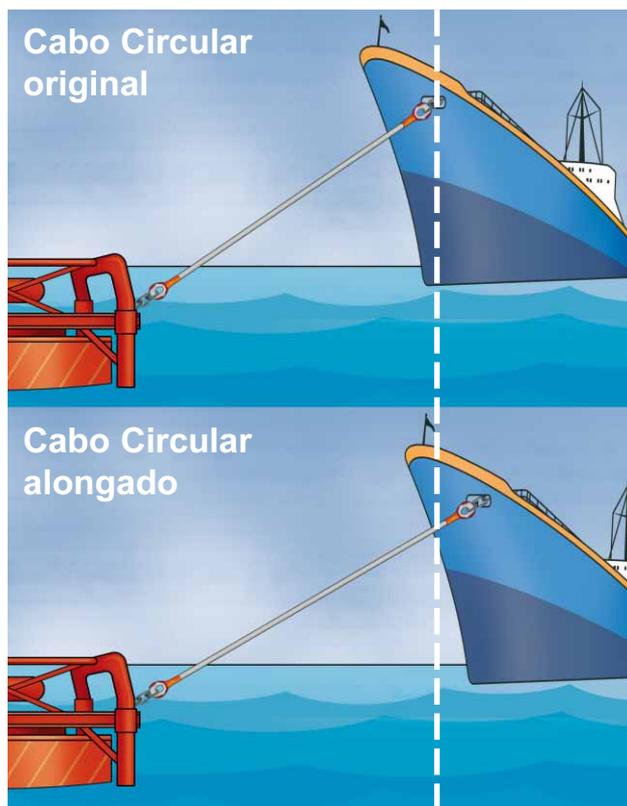
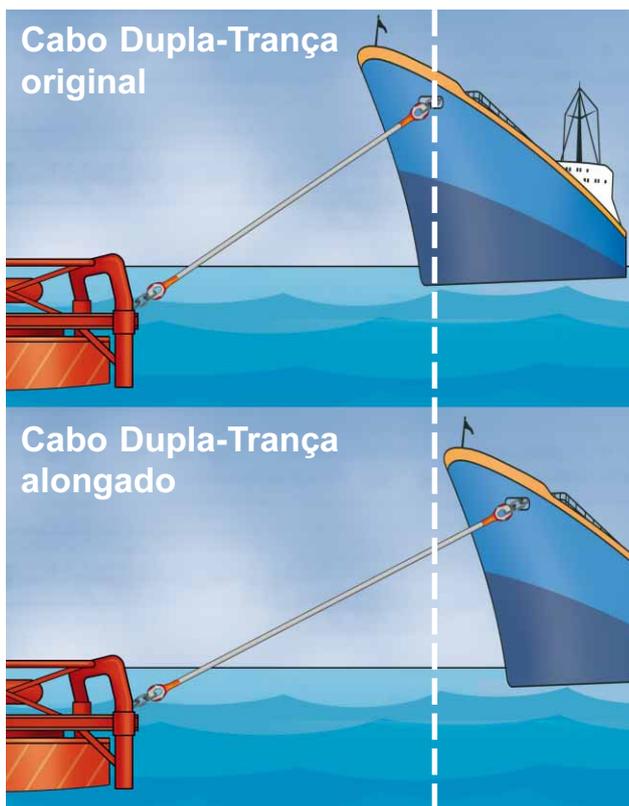
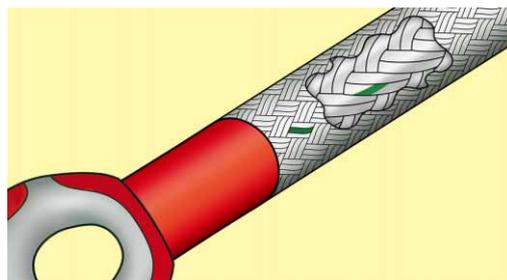


Figura 10 – Curvas sobrepostas de tensão-deformação na condição de ensaio realizado com o cabo molhado para os cabos Dupla-Trança e Circular.

A partir destes resultados percebe-se que a construção do tipo Circular potencializa o desempenho dos cabos de nylon em ruptura, tornando-os consideravelmente mais resistentes que os cabos do tipo Dupla-Trança. Nos ensaios realizados a seco temos um alongamento total dos cabos equivalente, sendo que o cabo Circular suporta cerca de 42% a mais de carga que o cabo Dupla-Trança. Já nos ensaios realizados com o cabo molhado o alongamento do cabo Dupla-Trança é cerca de 10% superior, enquanto que a carga suportada é equivalente a 33% menos que em relação ao cabo Circular.



Absorção de Energia

A energia absorvida pelos cabos quando submetidos à tração pode ser analisada através da curva obtida durante o primeiro ciclo do teste de ruptura, tendo como carga máxima 75% do MBL. A figura 11 mostra a sobreposição das curvas obtidas com o ensaio realizado na condição úmida.

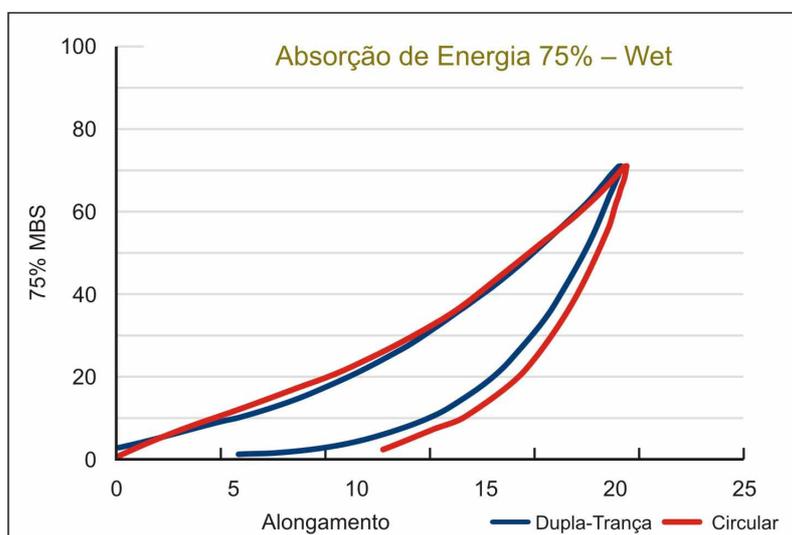


Figura 11 – Sobreposição das curvas de energia absorvida pelos cabos Dupla-Trança e Circular em ensaios com os cabos molhados.

As áreas dentro das curvas obtidas nos ensaios representam a quantidade de energia absorvida pelo cabo que será dissipada na forma de calor. Nota-se que o cabo Dupla-Trança apresenta a curva de histerese mais estreita, produzindo menos calor durante o ciclo, sendo, portanto, mais resiliente que o cabo Circular. Assim, atesta-se que o cabo de Dupla-Trança apresentará um melhor desempenho da absorção de choque, reduzindo, conseqüentemente, o impacto/tranco da manobra de operação.

Resistência à fadiga:

O ensaio de Resistência à fadiga foi realizado conforme o procedimento descrito na OCIMF – 2000, com aumento progressivo da carga aplicada a cada 1000 ciclos de teste. Para efeitos de comparação de resultados deve-se observar o nível de carregamento dos ciclos (TCLL, Thousand Cycle Load Level). Os resultados obtidos para os cabos em estudo estão descritos na tabela 5.

Tabela 5: Ensaio de fadiga. Carga aplicada na ruptura, número de ciclos e TCLL

Cabo	MBL (%)	Ciclos equivalentes	TCLL (%)
Dupla-Trança	60	333	52
Circular	70	1.075	62

Com maior valor de TCLL, que representa o percentual de carga (em relação à carga nominal do cabo) necessária para que ocorra ruptura em mil ciclos de fadiga, podemos perceber que o cabo Circular tem melhor desempenho dinâmico que o cabo Dupla-Trança. A partir dos resultados do ensaio de fadiga podemos projetar uma curva S-N (Stress – Number of cycles) que relaciona a carga aplicada no cabo com o número de ciclos que o material suporta até a ruptura.

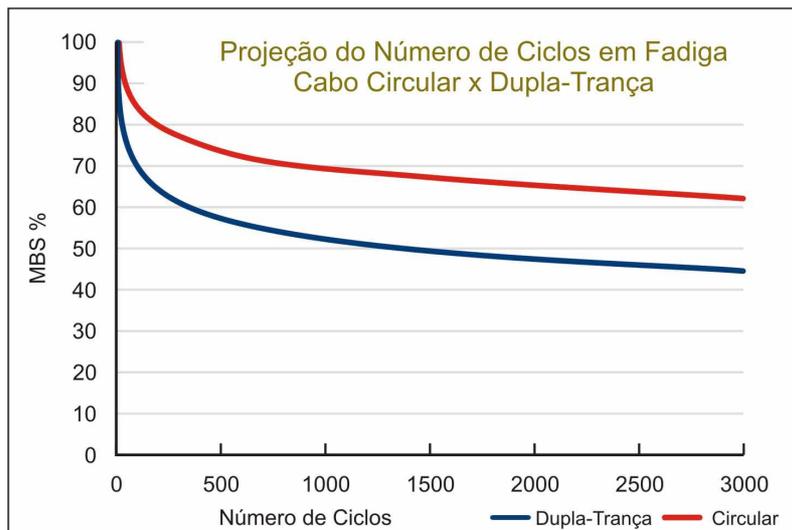


Figura 12 – Sobreposição das curvas de energia absorvida pelos cabos Dupla-Trança e Circular em ensaios com os cabos molhados.

A curva S-N pode ser utilizada para prever a vida útil do cabo em serviço, e permite determinar o número de ciclos que o cabo pode suportar sob a carga de trabalho desejada. Apesar de ser uma excelente ferramenta para projetar a vida útil do cabo, o modelo não prevê danos causados por fenômenos naturais e desgaste devido às operações.

Sabe-se ainda que cabos que utilizam Nylon em sua construção têm resultados significativamente menores de vida em fadiga que cabos, com a mesma construção, que utilizem outras matérias-primas, como o poliéster. Em estudos anteriores foi possível comprovar esse efeito comparando o desempenho em fadiga de cabos Dupla-Trança de nylon, poliéster e cabos híbridos construídos com estas matérias-primas. Os resultados desse estudo podem ser visualizados na tabela e figura abaixo.

Amostra	MBS (%)	Ciclos Equivalentes	TCLL (%)
Nylon Dupla-Trança	60	333	52
Nylon Circular	70	1075	69
Poliéster Dupla-Trança	80	1449	81
Híbrido 1	70	322	64
Híbrido 2	70	281	63

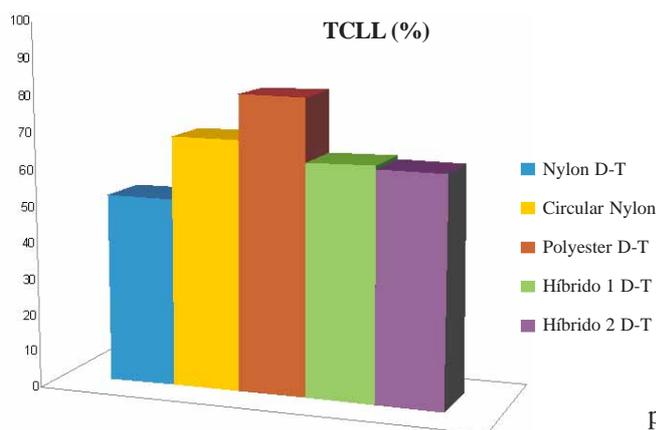


Figura 13 – Comparação dos resultados de TCLL para diferentes tipos de cabos.

Portanto, quando se deseja utilizar um cabo de Nylon numa aplicação em que o principal requisito seja o desempenho dinâmico e maior vida em fadiga, os cabos com construção Circular são os mais indicados. Este tipo de construção melhora, consideravelmente, o desempenho em fadiga dos cabos de Nylon, uma vez que concentra cerca de 80% da massa total do cabo na alma, que é quem suporta efetivamente a carga aplicada. Com isso, os efeitos de abrasão interna das fibras são minimizados pelo maior número de fibras que compõem a alma, aumentando o número de ciclos que o cabo poderá suportar.

Conclusões:

O desempenho de cabos de amarração de Nylon está intimamente ligado ao tipo de construção empregado. Ao aumentar a concentração de massa do cabo na alma, como acontece no cabo Circular, temos como resultado um cabo que terá maior resistência à ruptura independente da condição do teste e que resistirá a um maior número de ciclos de operação do que um cabo que distribui sua massa igualmente entre a capa e a alma, Dupla-Trança. Em contrapartida, este mesmo cabo apresenta maior encolhimento, menor alongamento e maior absorção de energia num ciclo de trabalho, resultando em um cabo que terá menor resistência a choque.

Referências:

OCIMF, Oil Companies International Marine Forum. Guidelines for the Purchasing and Testing of SPM Hawsers. 1. ed. Londres: Whyterby, 2000.

INTERNATIONAL STANDART ORGANIZATION. ISO 2307:2005, Fibre Ropes — Determination of Certain Physical and Mechanical properties

INTERNATIONAL STANDART ORGANIZATION. ISO 9554:2005, Fibre Ropes — General Specifications

INTERNATIONAL STANDART ORGANIZATION. ISO 10547:2009, Polyester Fiber Ropes – Double Braid

INTERNATIONAL STANDART ORGANIZATION. ISO 10554:2009, Polyamide Fiber Ropes – Double Braid Construction

HAACH, Leandro F. Performance Analysis of Mooring Hawser Prototypes Manufactured with Different Kinds of Constituent Materials. In. OFFSHORE TECHNOLOGY CONFERENCE, Houston, 2009.