Desenvolvido com e para a CSL
HAACH EXPERTIZE

Análise das propriedades físicas e mecânicas de cabos de 8 e 12 pernas utilizados em aplicações de atracação e reboque

Autor: **Leandro Haach**
Coautores: **Marcelo Abu-Jamra**, **Luisandro Trentin**, **Yris Tanaka**

Tópicos

1 Apresentação e objetivo

2 Propriedades gerais das matérias-primas

3 Características construtivas de cabos 8 e 12 pernas

4 Resultados comparativos de densidade linear e resistência à ruptura de cabos 8 e 12 pernas

5 Resultados comparativos de absorção de energia de cabos 8 e 12 pernas

6 Resultados comparativos de resistência à fadiga de cabos 8 e 12 pernas

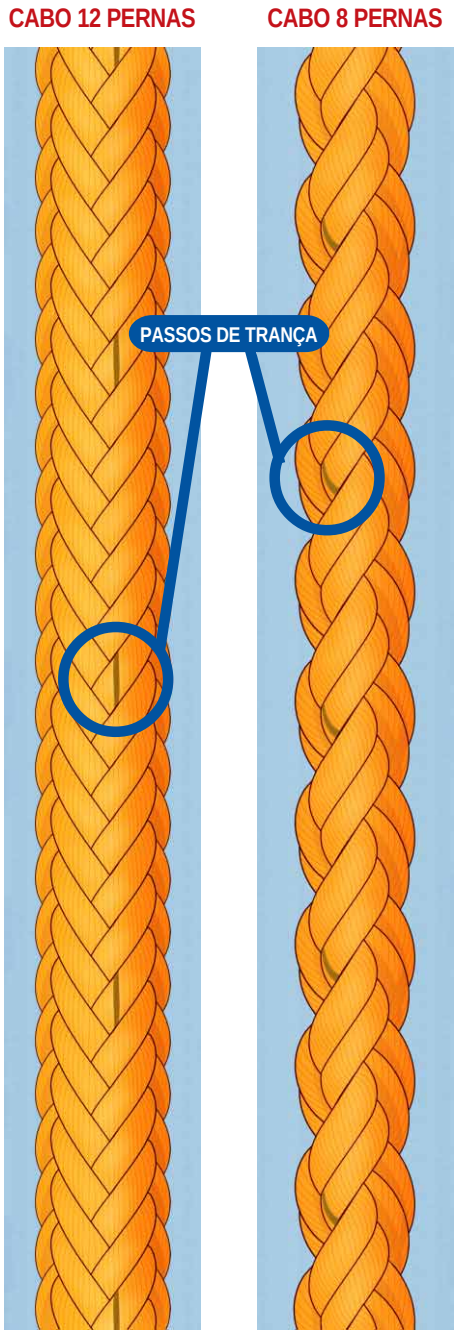
7 Resultados comparativos de resistência à abrasão de cabos 8 e 12 pernas

8 Conclusão

9 Agradecimentos

1. Apresentação e objetivo

Nos últimos anos, muito se tem especulado sobre o efetivo desempenho de cabos de 8 e 12 pernas durante o uso. Sabendo tratar-se de produtos que atendem a finalidades similares de operação, fica fácil compreender os motivos pelos quais somos induzidos a comparações e questionamentos técnicos. De certa forma, tem-se um binômio interessante: buscando conquistar o mercado através de sua qualidade intrínseca, todo fabricante cordoeiro quer oferecer o melhor produto ao menor custo ao cliente, ao passo que este consumidor sempre busca o melhor custo-benefício. Portanto, ao receber uma pergunta do tipo: qual o melhor cabo trançado, 8 ou 12 pernas?, temos sempre uma resposta pronta, que, num primeiro momento, pode ser decepcionante: DEPENDE. E depende de diversas variáveis.



Por meio deste trabalho, a fim de responder a esse corriqueiro questionamento, buscaremos fazer uma análise de algumas variáveis físicas e mecânicas dos cabos de construção 8 e 12 pernas (48 mm de diâmetro), as quais determinam o melhor desempenho quando associado ao tipo de aplicação a que o cabo foi submetido.

Nosso objetivo, ao final, será categoricamente afirmar que não existe melhor ou pior cabo, mas aplicações idênticas e aplicações distintas que por vezes exigem perícia no momento de escolher o produto seguro e ideal para as mais inesperadas operações marítimas.

2. Propriedades gerais das matérias-primas

2.1 – A tabela abaixo apresenta sucintamente as principais características das matérias-primas que foram empregadas na fabricação dos cabos de 8 e 12 pernas objeto deste estudo.

MATÉRIA-PRIMA	POLIPROPILENO	POLIAMIDA	POLIÉSTER	POLYBLEND	COMPOSITE	HMPE
ABSORÇÃO DE ÁGUA	ZERO	⩾ 10%	⩽ 2%	ZERO	⩽ 2%	ZERO
PERDA DE RESISTÊNCIA QUANDO MOLHADO	ZERO	⩽ 10%	ZERO	ZERO	ZERO	ZERO
FLUTUABILIDADE	POSITIVA	NEGATIVA	NEGATIVA	POSITIVA	NEGATIVA	POSITIVA
RESISTÊNCIA A ÁCIDOS E SOLVENTES	MUITO BOM	MUITO BOM	MUITO BOM	MUITO BOM	MUITO BOM	MUITO BOM
RESISTÊNCIA AO ULTRAVIOLETA	BOM	MUITO BOM	EXCELENTE	MUITO BOM	ÓTIMO	MUITO BOM
RESISTÊNCIA À ABRASÃO	BOM	MUITO BOM	EXCELENTE	MUITO BOM	EXCELENTE	EXCELENTE
ABSORÇÃO DE CHOQUE	MUITO BOM	EXCELENTE	BOM	MUITO BOM	MUITO BOM	RAZOÁVEL
ALONGAMENTO À RUPTURA	MÉDIO	ALTO	BAIXO	MÉDIO	MÉDIO	BAIXO
TENACIDADE (MÍNIMA) KGF/DE	6	7,5	7,5	7,5	7	30

2.2 – A análise das características das matérias-primas, mesmo que superficialmente, seguramente nos ajuda a entender e definir alguns requisitos de menor ou maior implicação técnica na escolha da matéria-prima que será empregada no cabo. Contudo, cabe-nos à frente atestar se muitas destas características confirmam-se quando analisadas nos cabos trançados, e não apenas individualmente.

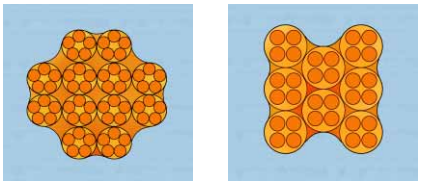
3. Características construtivas de cabos 8 e 12 pernas

3.1 – Conservando as mesmas variáveis construtivas e de matéria-prima:

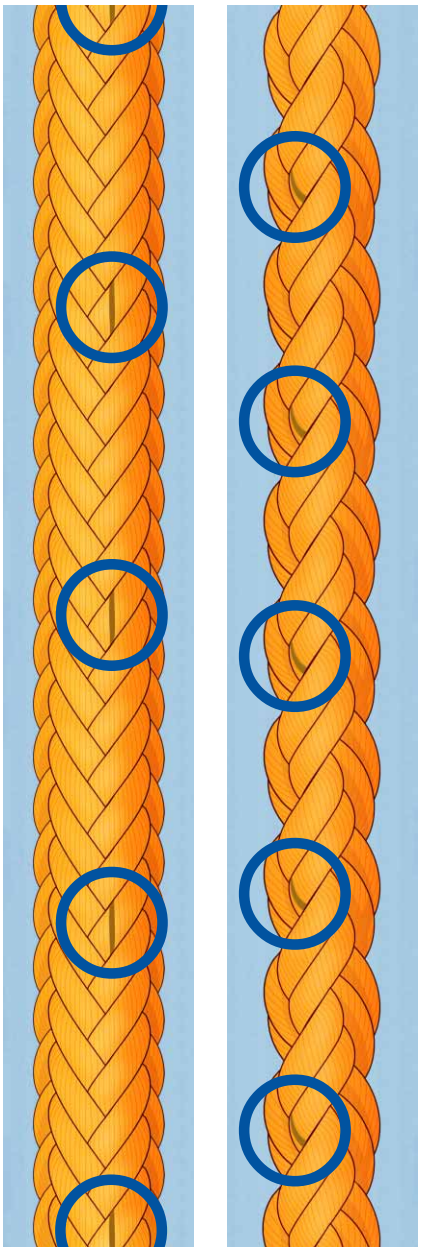
- Ambas as construções trançadas são extremamente flexíveis e de fácil manuseio;
- Ambas as construções são fáceis de desenrolar dos tambores, pois não correm risco de torções ou distorções;
- Ambas as construções têm rápida capacidade de recuperação elástica, mantendo sua resiliência quando secas ou molhadas, mesmo após longos períodos de trabalho;
- Ambas as construções têm muito boa superfície de contato quando comparadas com os cabos torcidos, porém nesse quesito o cabo 12 pernas supera o cabo 8 pernas em virtude de seu formato redondo; o que está intrínseco é a suposta maior resistência à abrasão do cabo 12 pernas;
- Ambas as construções têm excelente resistência à fadiga, porém, nesse quesito, em virtude do curto passo de trança, o cabo de 8 pernas pode superar o cabo de 12 pernas, onde o esforço dinâmico é um requisito inerente da operação;
- Também em virtude dos diferentes passos de trança, os cabos de 12 pernas apresentam menor alongamento e maior resistência à tração, quando comparados com cabos de mesmo diâmetro e mesma matéria-prima.

CABO 12 PERNAS CABO 8 PERNAS

Sessão perpendicular



Passos de trança

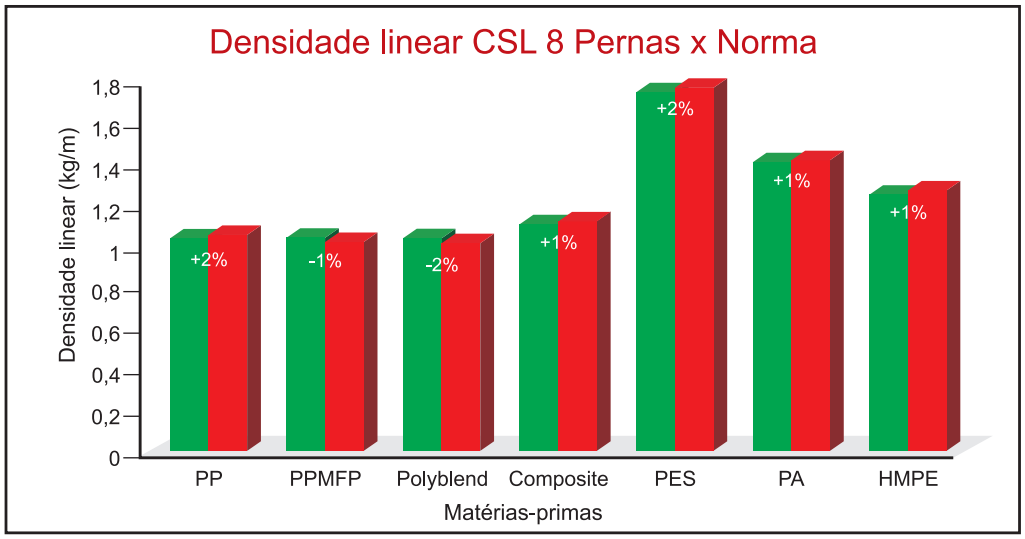


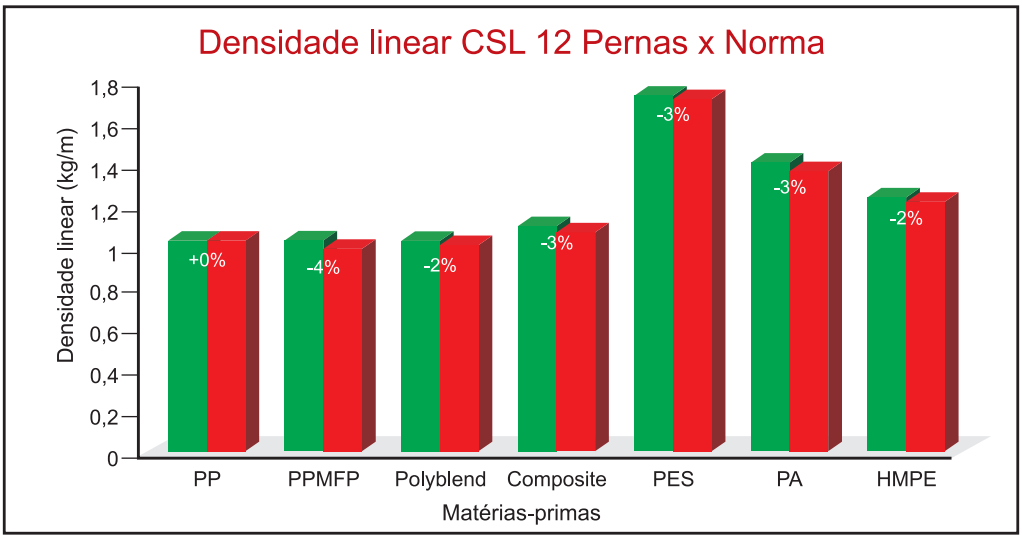
4. Resultados comparativos de densidade linear e resistência à ruptura de cabos 8 e 12 pernas

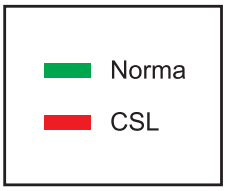
4.1 – Tabela comparativa de densidade linear de cabos 8 e 12 pernas.

MATÉRIA-PRIMA	DENSIDADE LINEAR NOMINAL (kg/m)	DENSIDADE LINEAR REAL CABO 8 PERNAS (kg/m)	DENSIDADE LINEAR REAL CABO 12 PERNAS (kg/m)
POLIPROPILENO	1,04	1,06	1,04
POLIPROPILENO MFP	1,04	1,03	1,00
POLYBLEND	1,04	1,02	1,02
COMPOSITE	1,11	1,12	1,08
POLIÉSTER	1,75	1,78	1,73
POLIAMIDA (NYLON)	1,42	1,43	1,38
HMPE	1,25	1,27	1,23

Todos os ensaios de densidade linear e resistência à ruptura foram realizados conforme procedimento normativo ISO 2307.



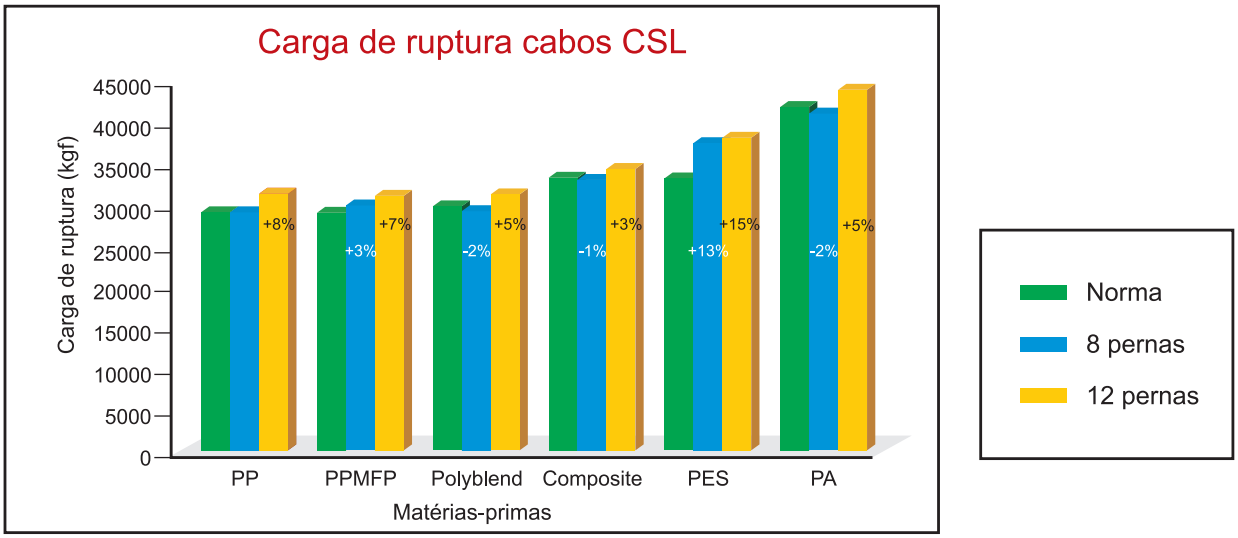




4.2 – Tabela comparativa de resistência à ruptura.

MATÉRIA-PRIMA	CARGA DE RUPTURA NOMINAL (kgf)	CARGA DE RUPTURA REAL CABO 8 PERNAS (kgf)	CARGA DE RUPTURA REAL CABO 12 PERNAS (kgf)
POLIPROPILENO	29.160	29.200	31.490
POLIPROPILENO MFP	29.160	30.030	31.200
POLYBLEND	29.880	29.280	31.370
COMPOSITE	33.450	33.115	34.450
POLIÉSTER	33.240	37.560	38.230
POLIAMIDA (NYLON)	42.000	41.160	44.100
HMPE	156.000	---------	---------

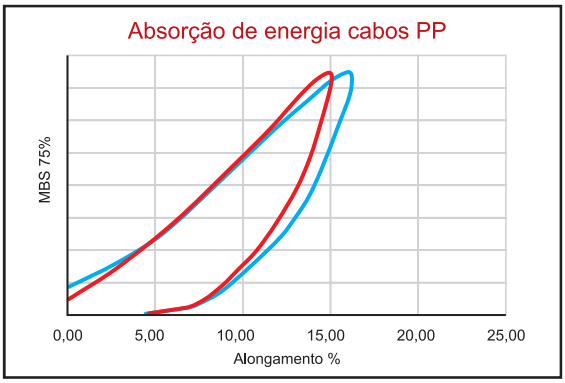
Todos os ensaios de densidade linear e resistência à ruptura foram realizados conforme procedimento normativo ISO 2307.

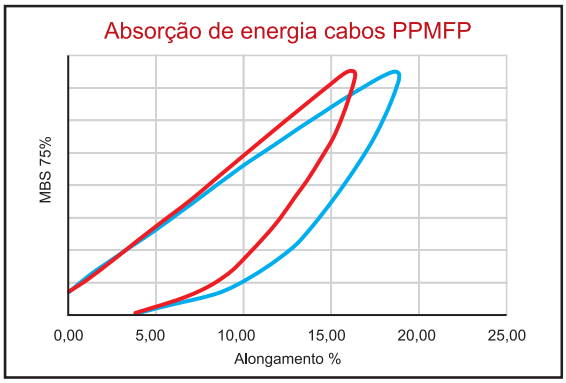


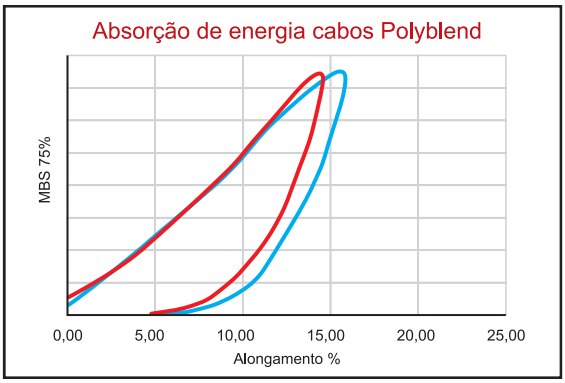
Em virtude da limitação da máquina de teste (100 toneladas/força), os cabos de HMPE não foram testados à tração, motivo pelo qual a tabela e o gráfico acima não informam os resultados de resistência à ruptura.

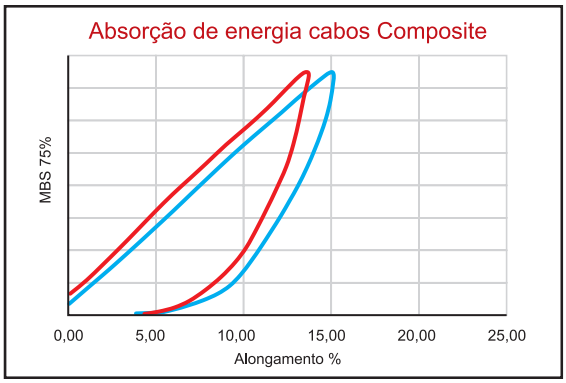
5. Resultados comparativos de absorção de energia de cabos 8 e 12 pernas

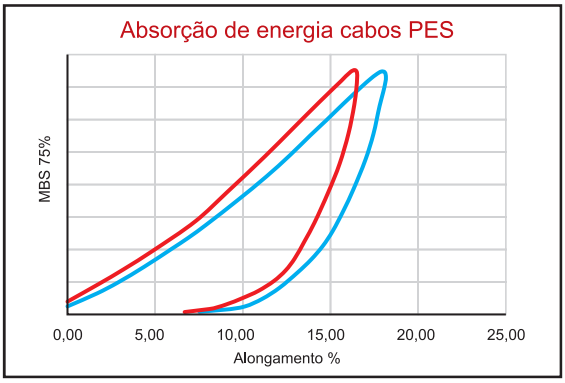
5.1 – Cabe informar que as curvas de histerese foram extraídas do 10° ciclo de carga.

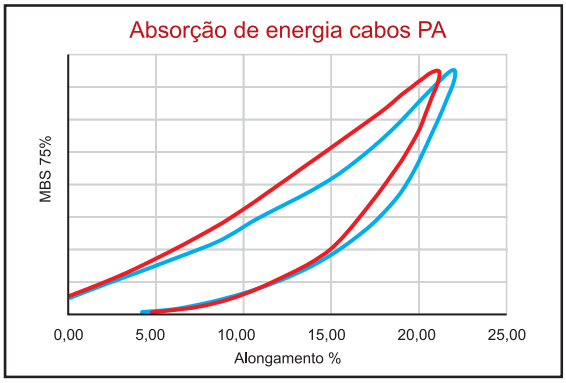


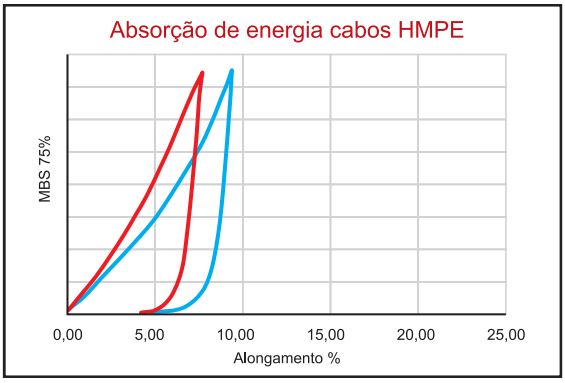












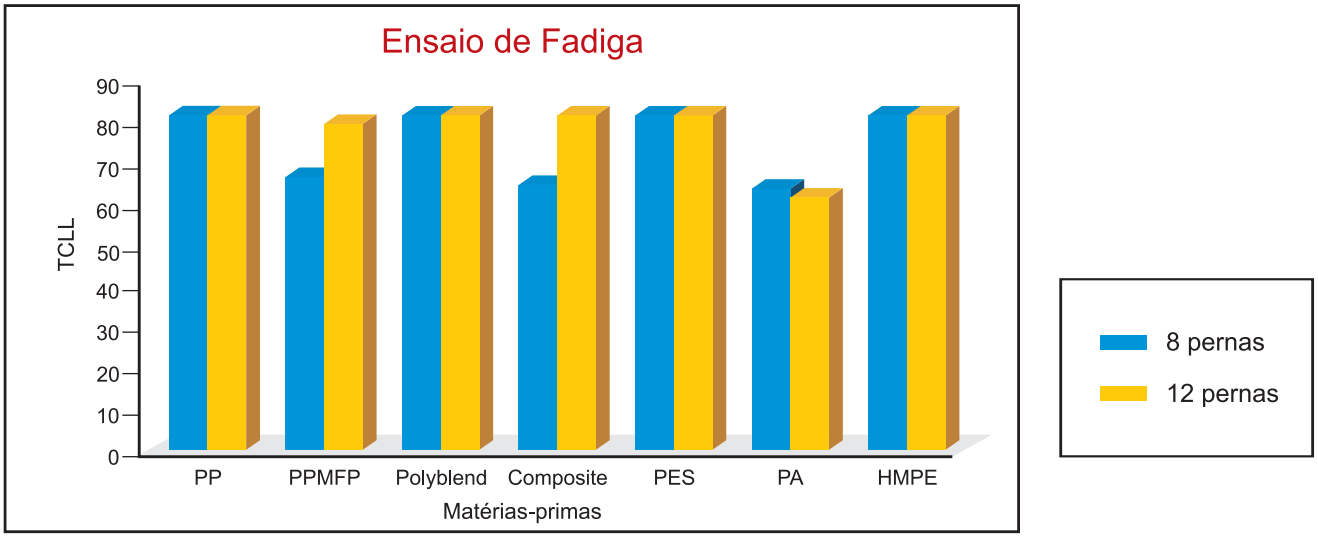
6. Resultados comparativos de resistência à fadiga de cabos 8 e 12 pernas

6.1 – Tabela de resultados de TCLL – *Thousand Cycle Load Level*.

Este procedimento, extraído do Guia OCIMF – *Guidelines for the purchasing and testing of SPM hawsers*, consiste em realizar o ensaio dinâmico em quatro níveis de carga: 1000 ciclos a 50% da carga mínima de ruptura (CMR), 1000 ciclos a 60% da CMR, 1000 ciclos a 70% e, finalmente, 2000 ciclos a 80%.

Resumidamente, a tabela abaixo representa o número equivalente de ciclos no maior nível de carga, indicando que, quanto maior o número de ciclo, maior a resistência à fadiga do cabo.

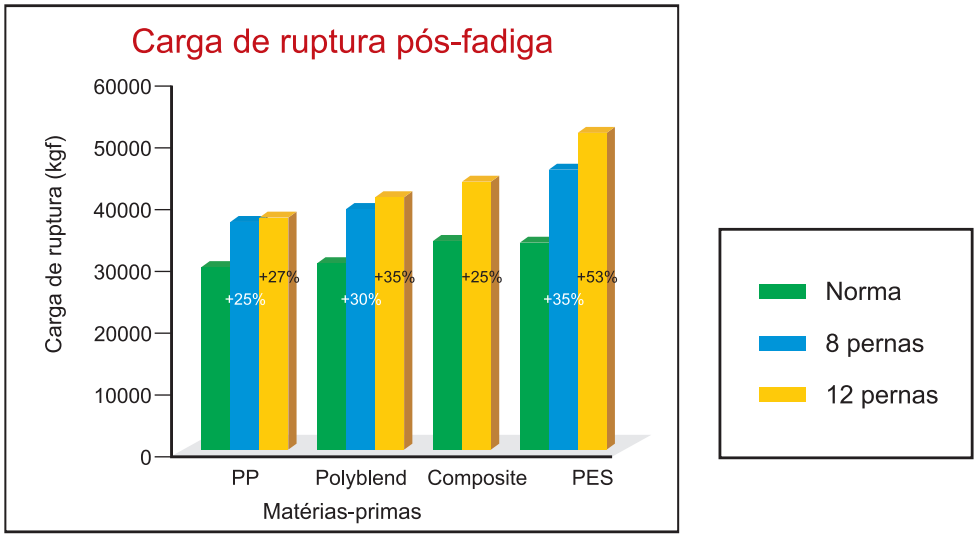
MATERIAL	CONSTRUÇÃO	CMR (%)	CICLOS EQUIVALENTES	TCLL (%)
POLIPROPILENO	8	80	2113	82
	12			
POLIPROPILENO MFP	8	80	566	67
	12		1171	80
POLYBLEND	8	80	2113	82
	12			
COMPOSITE	8	80	396	65
	12		2113	82
POLIÉSTER	8	80	2113	82
	12			
POLIAMIDA (NYLON)	8	70	329	64
	12		221	62
HMPE	8	80	2113	82
	12			



Com exceção do HMPE, todas as amostras que resistiram ao esforço dinâmico foram testadas à ruptura ao final do ensaio de fadiga. O resultado pode ser avaliado na tabela abaixo:

MATÉRIA-PRIMA	CARGA DE RUPTURA NOMINAL (kgf)	CARGA DE RUPTURA APÓS ENSAIO DE FADIGA – 8 PERNAS (kgf)	CARGA DE RUPTURA APÓS ENSAIO DE FADIGA – 12 PERNAS (kgf)
POLIPROPILENO	29.160	36.490	37.220
POLYBLEND	29.880	38.600	40.560
COMPOSITE	33.450	*	43.060
POLIÉSTER	33.240	44.980	51.010

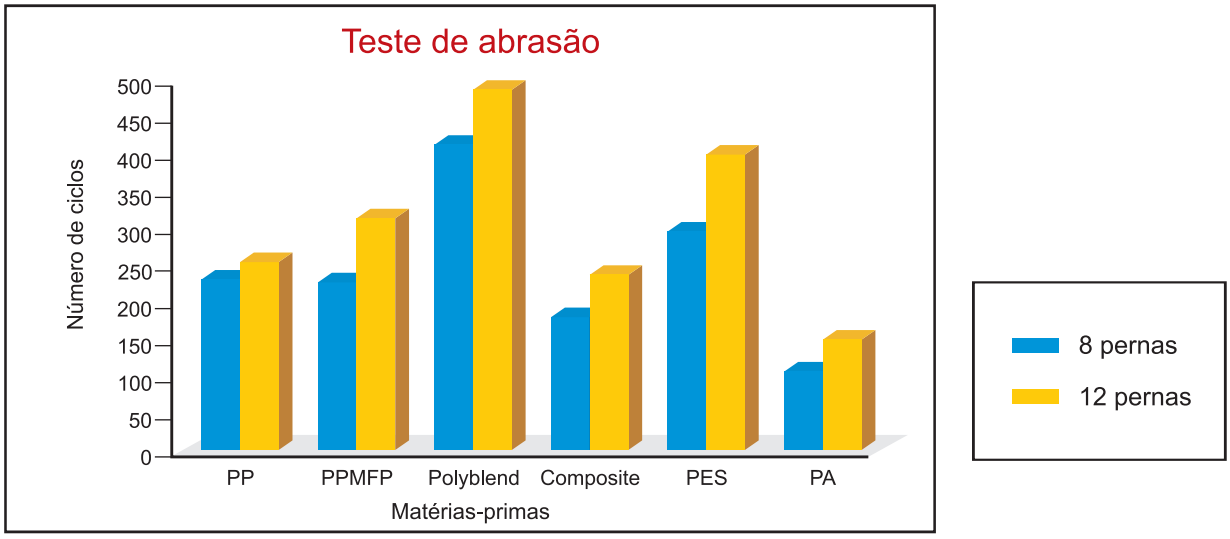
* rompeu no decorrer do ensaio de fadiga.

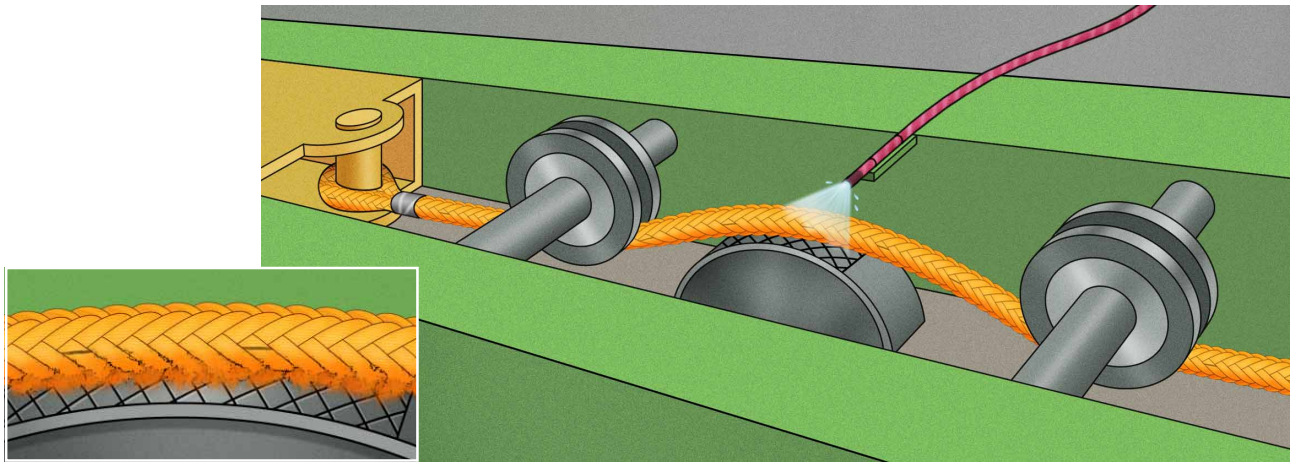


7. Resultados comparativos de resistência à abrasão de cabos 8 e 12 pernas

MATÉRIA-PRIMA	CARGA DE RUPTURA NOMINAL (kgf)	NÚMERO DE CICLOS CABO 8 PERNAS	NÚMERO DE CICLOS CABO 12 PERNAS
POLIPROPILENO	29.160	232	256
POLIPROPILENO MFP	29.160	229	315
POLYBLEND	29.880	415	489
COMPOSITE	33.450	182	239
POLIÉSTER	33.240	298	402
POLIAMIDA (NYLON)	42.000	104	151
HMPE	156.000	1248	1687

Em virtude da limitação estrutural da máquina de teste, na qual se respeitaram os critérios de segurança para evitar riscos de flambagem do equipamento, o cabo de HMPE foi testado a um percentual de carga inferior aos demais – 10 e 20% de sua carga de ruptura estimada.
No mais, todas as amostras foram cicladas em uma elevada condição de trabalho (20 a 30% da carga nominal de ruptura).





8. Conclusões finais:

- Referente ao capítulo 2, Propriedades gerais das matérias-primas, reconhecemos que o presente estudo contradiz algumas verdades que havíamos predito baseados em nossa análise empírica, um exemplo disso é o polyblend.

- Quanto ao capítulo 3, características construtivas de cabos de 8 e 12 pernas, igualmente chegamos a uma análise interessante: em alguns casos, o cabo de 12 pernas chegou a superar o cabo de 8 pernas no ensaio de fadiga. Contudo, na grande maioria dos ensaios realizados, ambos tiveram o mesmo desempenho, contradizendo, assim, o que fora informado previamente.

- A respeito do capítulo 4, resultados comparativos de densidade linear e resistência à ruptura de cabos de 8 e 12 pernas, temos a informar que todas as densidades lineares do universo de amostras ensaiadas atenderam ao critério de aceitação normativo (+/- 5%), provando, a partir deste equilíbrio de densidade linear, que os cabos de construção 12 são mais resistentes à ruptura que os cabos de 8 pernas.

- No que diz respeito ao capítulo 5, resultados comparativos de absorção de energia de cabos 8 e 12 pernas, observamos que em termos de resiliência ambas as construções apresentam resultados similares, ficando evidente que o cabo de 8 pernas tem alongamento superior ao cabo de 12 pernas – o que, entre outras análises, pode pressupor uma maior flexibilidade e um menor esforço quando em uso.

  Entretanto, fica claro que o fator que predominantemente regula essa característica de resiliência (lenta ou rápida recuperação elástica) é a matéria-prima. Neste quesito, conforme esperado (e independentemente do modelo construtivo), a poliamida mantém-se superior às demais matérias-primas.

- Com relação ao capítulo 6, Resultados comparativos de resistência à fadiga de cabos 8 e 12 pernas, surpreenderam-nos muito os

resultados residuais, os quais reforçam não apenas a tese de que o cabo melhora seu desempenho quando bem condicionado mecanicamente, mas principalmente chamam a atenção para outro fenômeno que invariavelmente não é observado: o quanto um resultado de teste pode sofrer prejuízo se o cabo não estiver adequadamente com suas costuras (emendas de mão) bem equilibradas e trabalhando em consonância com seu arranjo construtivo.

No geral, os cabos que resistiram a todo procedimento do ensaio de fadiga apresentaram ganhos de resistência que superam em mais de 20% o resultado real de ruptura, que por sua vez já apresentam resultados superiores à norma técnica de referência.

- No que concerne ao capítulo 7, Resultados comparativos de resistência à abrasão de cabos 8 e 12 pernas, temos a informar que a prática confirma a teoria, ou seja, quanto mais circular um cabo, maior será a sua superfície de contato e melhor será o seu desempenho à abrasão, uma importante notícia para usuários de cabos de dupla-trança.

  Sabemos que em uma exigência em campo um cabo de 12 pernas terá uma condição melhor de deslizamento na passagem através de quinas, bordas e demais superfícies rugosas que tendem a dificultar o seu trânsito durante solicitações constantes. Nessas situações, o desgaste por abrasão pode preponderantemente ser intermitente, diferentemente de um ensaio de laboratório.

  Cabe salientar, no entanto, que é muito difícil determinar um procedimento adequado para este experimento científico. Por não se ter uma norma ou um procedimento padrão de teste, cada pesquisador, na tentativa de representar a realidade, acaba seguindo o seu empirismo com as ferramentas de que dispõem, chegando, inevitavelmente, a resultados distintos de um método para outro.

  Assim, reforçando o que se indica no título deste capítulo, nosso experimento foi apenas comparativo, no qual reproduzimos sempre as mesmas variáveis de teste (superfície de contato, tensão aplicada ao cabo, circulação de água, velocidade do ciclo de teste) para cada uma das matérias-primas nos diferentes tipos de construção.

9. Agradecimentos:

Agradecemos ao Diretor-Presidente da CSL, senhor José Abu-Jamra, pelo incondicional apoio;

Especial agradecimento ao Diretor Industrial da CSL, senhor Percy Carvalho, pelo indiscutível comprometimento na fabricação das amostras utilizadas na pesquisa;

Agradecemos por último a todas as pessoas que, de uma forma ou de outra, também nos deram um valioso apoio. São elas: Sadi Cassanego e equipe, José Evori e equipe, Sérgio Dineck e equipe.

A todos, o nosso muito obrigado!

CSL
CORDOARIA SÃO LEOPOLDO