

ENSAIOS DE CORDAS SEMI-ESTÁTICAS

CORDAS DE SEGURANÇA DE BAIXO COEFICIENTE DE ALONGAMENTO
PADRÃO ABNT NBR 15986

Realização

Luiz Spinelli

&



Falcão Bauer

Centro Tecnológico de Controle da Qualidade

Laboratório de Equipamentos de Proteção

Fevereiro de 2017

Objetivo

O objetivo da sequência de ensaios produzidos no laboratório da Falcão Bauer foi investigar duas questões importantes relacionadas as cordas de segurança, padrão ABNT NBR 15986, que considera o alongamento da corda sob força estática e força dinâmica, e também os efeitos do nó Oito (oito duplo) sobre a sua resistência.

Motivação

No ano de 2015, na fábrica de um fornecedor nacional de cordas, alguns ensaios foram produzidos com o objetivo de capturar imagens para a produção de uma sequência de vídeos sobre cordas de segurança. Na ocasião, os ensaios apresentaram resultados inesperados e surpreendentes, diferentes do conhecimento comum sobre os efeitos de nós sobre as cordas. Foram as dúvidas criadas naquele momento a grande motivação para planejar e realizar um novo conjunto de ensaios com a intenção de confirmar ou de rechaçar os tais resultados.

Dois resultados obtidos naquela ocasião exemplificam a importância das dúvidas, como a crença de que um nó Oito (oito duplo) consegue preservar até 70% da resistência da corda, sendo que os resultados naquela ocasião apresentaram valores entre 48% e 60%.

Outro resultado que surpreendeu foi a performance de um nó mal confeccionado (torcido). A crença que se perpetua há décadas é que um nó mal confeccionado interfere ainda mais na resistência da corda, fragilizando ainda mais a sua resistência. No entanto, um dos nós testados, confeccionado propositalmente com as voltas torcidas e sobrepostas, apresentou uma resistência superior a alguns nós bem feitos.

Advertências

Os resultados dos ensaios realizados na Falcão Bauer não devem ser considerados definitivos para a solução das questões levantadas, pois a amostragem foi pequena, seja na diversidade de produtos como na quantidade das amostras.

Os resultados apresentados neste artigo devem ser considerados indicativos para uma possível realidade, a ser confirmada em um futuro próximo, utilizando uma quantidade e uma variedade maior de amostras.

Sobre a norma ABNT NBR 15986

A metodologia de ensaio utilizada neste projeto é diferente da metodologia exigida pela norma, portanto, os resultados apresentados aqui são diferentes dos laudos de conformidade.



ENSAIOS

Imagem de Luiz Spinelli
Laboratório da Falcão Bauer

Características e preparação das amostras

Foram usadas duas cordas de fabricantes nacionais com características semelhantes. Ambos os modelos apresentam um diâmetro de 11 mm, capa de poliéster e alma de poliamida. Ambos os fabricantes forneceram uma metragem de corda contínua. As cordas foram cortadas em pedaços de 3 metros de comprimento e organizadas em grupos de três amostras. Os grupos de amostras foram embalados e etiquetados considerando os fabricantes (identificados com números), e o tipo de ensaio.

Os nós foram confeccionados com o tamanho e a qualidade semelhantes.

Características das cordas

Diâmetro	11 mm
Capa	Poliéster
Alma	Poliamida
Conformidade normativa	ABNT NBR 15986



As cordas contínuas geraram amostras de 3 metros de comprimento, medidas, cortadas e com o acabamento de pontas.

Tais amostras foram organizadas em grupos de três considerando o fabricante e o tipo de ensaio.

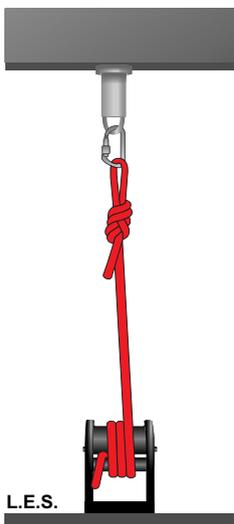
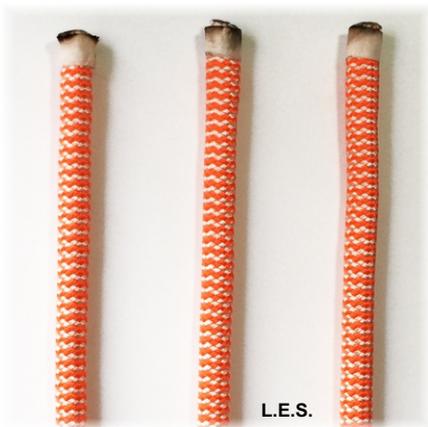


A confecção dos nós nas amostras seguiu um gabarito para garantir uma uniformidade de tamanho e qualidade.



Ensaio 1

Teste estático de tração para avaliar a resistência mecânica das cordas sem terminações (sem nós).



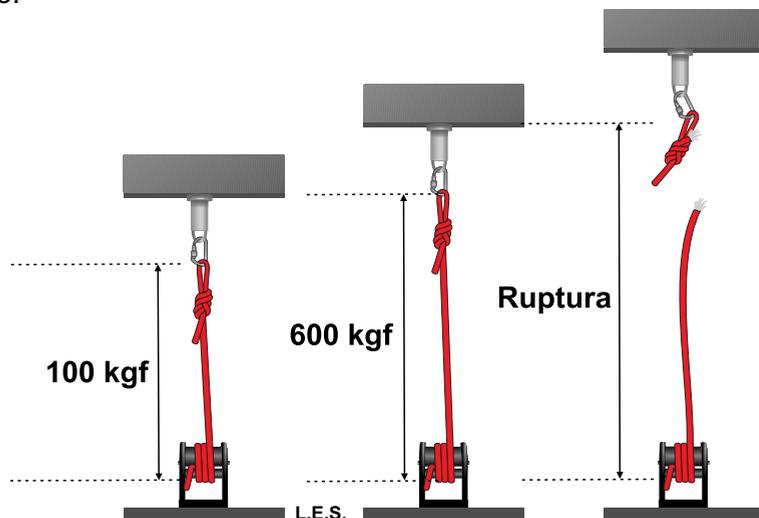
Ensaio 2

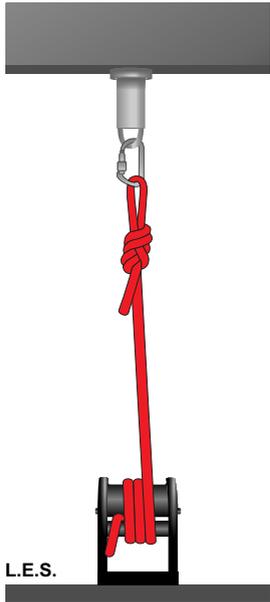
Teste estático de tração com o nó Oito (Oito Duplo) – Nó bem confeccionado e com as voltas sob tensão na posição inferior do nó.



Ensaio 2 / 2

Teste estático de alongamento da corda realizado simultaneamente com o teste de tração do nó oito.





Ensaio 3

Teste estático de tração com o nó Oito (Oito Duplo) – Nó bem confeccionado e com as voltas sob tensão na posição superior do nó.



Ensaio 4

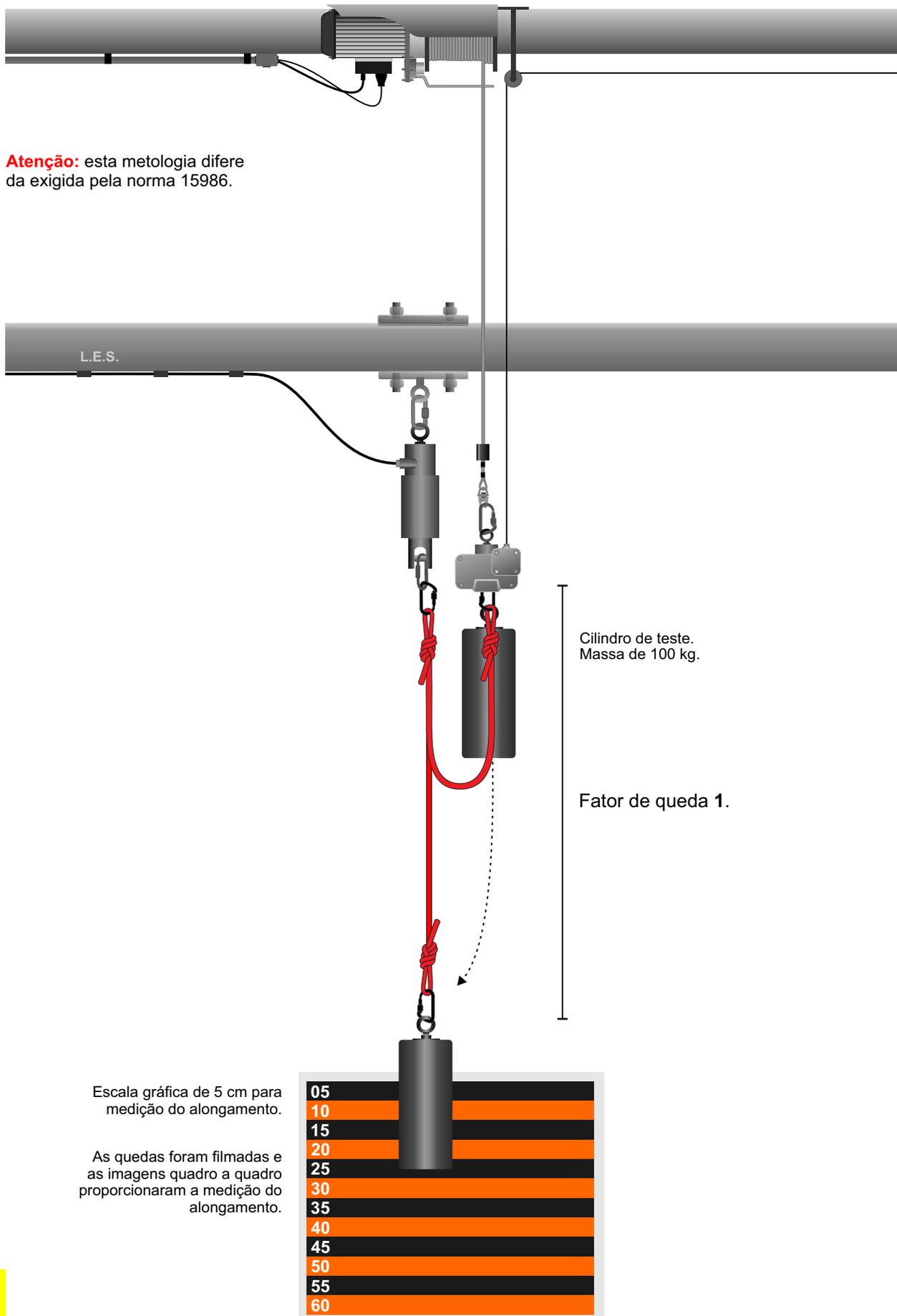
Teste estático de tração com o nó Oito (Oito Duplo) – Nó mal confeccionado (voltas propositalmente torcidas).



Ensaio 5

Teste dinâmico com as amostras providas de nó oito como terminações. Queda fator 1 com massa de 100 kg. Este ensaio avaliou o alongamento da corda e a força resultante na retenção da queda.

Atenção: esta metodologia difere da exigida pela norma 15986.





RESULTADOS

Imagem de Luiz Spinelli
Laboratório da Falcão Bauer

Ensaio 1

Teste estático de tração para avaliar a resistência mecânica das cordas sem terminações (sem nós).

Valor médio descartada a medição de número 3 **3.076,5 kgf** ou **30,1 kN**

CORDA 1		CORDA 2	
1	3.247,5 kgf	4	2.992,5 kgf
2	3.187,5 kgf	5	3.000,0 kgf
3	3.757,5 kgf	6	2.955,0 kgf

Ensaio 2

Teste estático de tração com o nó Oito (Oito Duplo) – Nó bem confeccionado e com as voltas sob tensão na posição inferior do nó.

Valor médio **1.785,7 kgf** ou **17,5 kN**

CORDA 1		CORDA 2	
1	2.130,0 kgf	4	1.269,0 kgf
2	1.738,5 kgf	5	1.330,7 kgf
3	2.217,0 kgf	6	2.029,2 kgf

Considerando os valores médios, o nó oito (tensão na posição inferior do nó) preservou aproximadamente **58,1%** da resistência original da corda.

Ensaio 2 / 2

Teste estático de alongamento da corda realizado simultaneamente com o teste de tração do nó oito.

Veja os valores médios na próxima página.

CORDA 1						
	100 kgf	600 kgf	Alongamento	Ruptura	Alongamento	
1	59,5 cm	71,5 cm	20,0%	descartado		
2	68,2 cm	84,0 cm	23,1%		107 cm	56,9%
3	71,2 cm	87,2 cm	22,5%		109 cm	53,1%
CORDA 2						
	100 kgf	600 kgf	Alongamento	Ruptura	Alongamento	
4	70,6 cm	89,6 cm	26,9%	112 cm	58,6%	
5	73,0 cm	95,0 cm	30,1%	116 cm	58,9%	
6	72,5 cm	91,6 cm	26,3%	116 cm	60,0%	

Ensaio 2/2

Observações

O resultado de ruptura do ensaio 1 foi descartado pelo motivo do equipamento de fixação da corda ter falhado. Ele foi substituído e os ensaios prosseguiram.

Os ensaios evidenciam que diferentes cordas apresentam características e desempenhos diferentes. Os projetos de linha de vida, seja horizontal ou vertical, no que diz respeito aos cálculos da deflexão e da Zona Livre de Queda precisam considerar o alongamento específico de cada marca e modelo de corda.

Valores médios

600 kgf		Ruptura	
Geral	24,8 %	Geral	57,5 %
Corda 1	21,8 %	Corda 1	55,0 %
Corda 2	27,7 %	Corda 2	59,1 %

Ensaio 3

Teste estático de tração com o nó Oito (Oito Duplo) – Nó bem confeccionado e com as voltas sob tensão na posição superior do nó.

Valor médio **2.025,3 kgf** ou **19,8 kN**

CORDA 1		CORDA 2	
1	2.124,0 kgf	4	1.967,0 kgf
2	2.074,1 kgf	5	2.043,5 kgf
3	1.978,2 kgf	6	1.965,0 kgf

Considerando os valores médios, o nó oito (tensão na posição superior do nó) preservou aproximadamente **65,8%** da resistência original da corda.

Ensaio 4

Teste estático de tração com o nó Oito (Oito Duplo) – Nó mal confeccionado (voltas propositalmente torcidas).

Valor médio **2.052,1 kgf** ou **20,1 kN**

CORDA 1		CORDA 2	
1	1.960,9 kgf	4	2.102,6 kgf
2	1.920,1 kgf	5	2.130,2 kgf
3	2.107,7 kgf	6	2.091,4 kgf

Considerando os valores médios, o nó oito (mal confeccionado) preservou aproximadamente **66,7%** da resistência original da corda.

Ensaio 5

Teste dinâmico com as amostras providas de nó oito como terminações. Queda fator 1 com massa de 100 kg. Este ensaio avaliou o alongamento da corda e a força resultante na retenção da queda.

Força de frenagem na retenção da queda

Valor médio **1.374,9 kgf** ou **13,8 kN**

CORDA 1		CORDA 2	
1	1.468,4 kgf	4	1.305,2 kgf
2	1.427,6 kgf	5	1.289,9 kgf
3	1.468,4 kgf	6	1.289,9 kgf

Observação: A norma 15986 determina uma ensaio com uma amostra de 2 metros e uma queda de 60 cm, ou seja, uma queda fator 0,3. E nesta condição a força de frenagem não pode ultrapassar 600 kgf. Os resultados apresentados aqui foram obtidos com uma condição mais rigorosa.

Alongamento (deformação) após a queda

Valor médio **35,8 cm** ou **22 %**

CORDA 1				
	Extensão com os conectores	Posição inicial da massa em relação ao solo	Posição final da massa em relação ao solo	Alongamento (deformação após a queda)
1	181 cm	268 cm	62 cm	25 cm
2	181 cm	269 cm	56 cm	32 cm
3	184 cm	267 cm	54 cm	29 cm

CORDA 2				
	Extensão com os conectores	Posição inicial da massa em relação ao solo	Posição final da massa em relação ao solo	Alongamento (deformação após a queda)
4	183 cm	273 cm	43 cm	47 cm
5	183 cm	272 cm	49 cm	42 cm
6	184 cm	270 cm	46 cm	40 cm

Alongamento na retenção da queda

O método de medição do alongamento, no momento da retenção da queda, foi filmar a massa (cilindro) com um painel de fundo com uma escala gráfica de 5 cm.

A câmera utilizada filmou com 29 quadros por segundo, e a posição da lente em relação aos objetos tornaram difícil uma medição exata do alongamento.

Os valores obtidos são imprecisos e servem somente como um indicativo e um comparativo com o alongamento obtido nos ensaios estáticos.

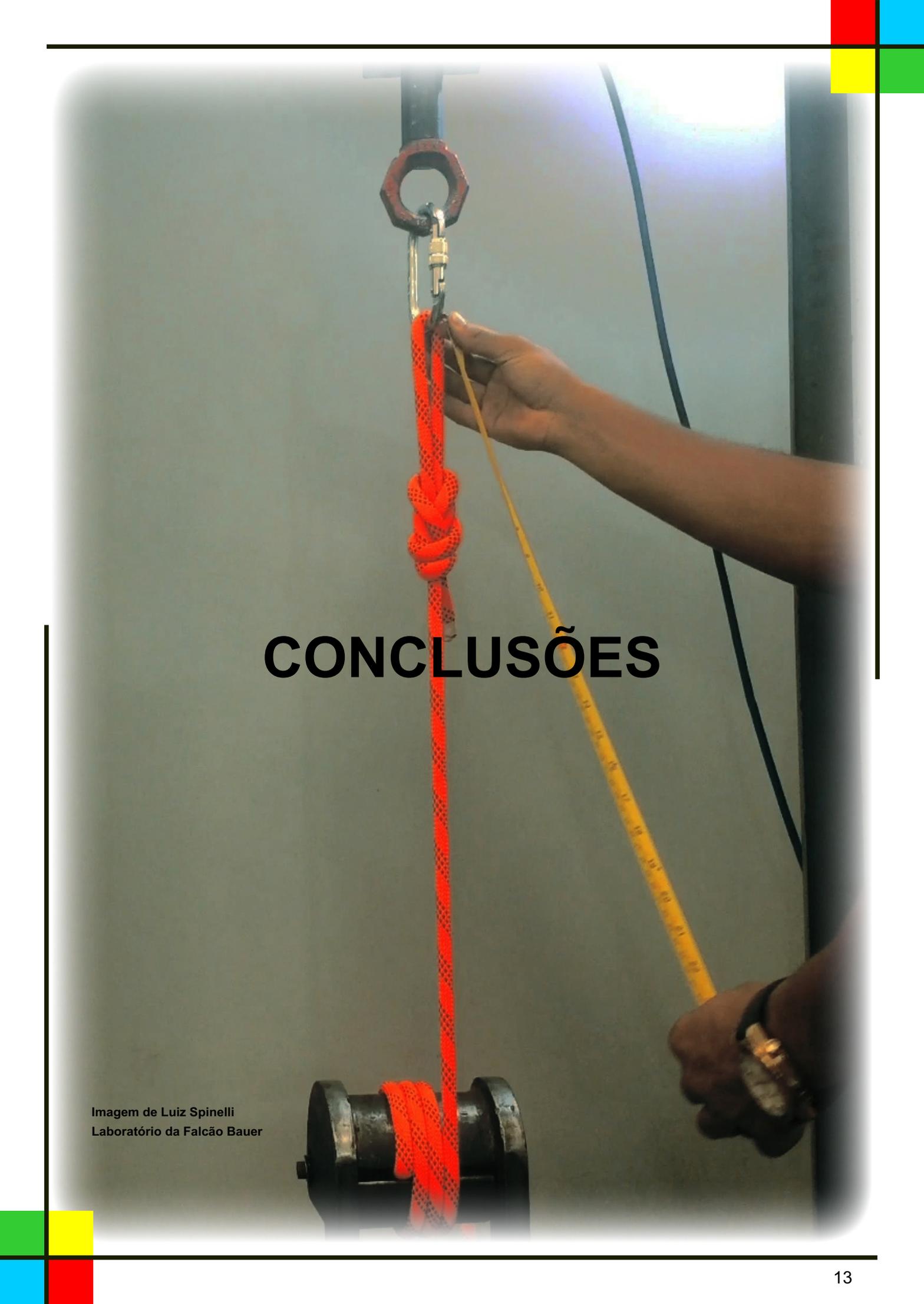
Seguem os valores médios:

Extensão média das amostras com os conectores **182,6 cm**

Extensão média das amostras sem os conectores **162,6 cm**

Alongamento médio das 6 amostras **58,5 cm**

Porcentagem de alongamento da corda **36 %**



CONCLUSÕES

Imagem de Luiz Spinelli
Laboratório da Falcão Bauer

Interferência do nó oito sobre a resistência da corda

De fato o nó interfere na resistência da corda, e os resultados nos apresentou uma perda entre 33,3% e 41,9% dependendo de como o nó foi confeccionado.

Posição da volta sob tensão



Uma literatura francesa da década de 80 mencionava que a posição da volta sob tensão pode gerar um ganho de resistência de até 10%. Tal informação foi confirmada nos ensaios, que demonstraram um ganho de **7,7%** calculado sobre os valores médios de resistência das amostras.

Em termos práticos, para cordas com mais de 30 kN de resistência este ganho não representa motivo de atenção especial por parte de quem confecciona o nó. Porém, torna-se importante para cordas de menor resistência.

Nós mal confeccionados



Há uma crença que se perpetua há décadas de que um nó mal confeccionado, com as voltas torcidas e sobrepostas, agrava ainda mais a perda de resistência gerada pelo nó. Os ensaios demonstraram o oposto. As amostras com o nó torcido apresentaram resultados ainda melhores do que as amostras com os nós preparados de forma cuidadosa.

A média de resistência dos nós bem confeccionados variou de 58,1% a 65,8% em relação a resistência original da corda, as amostras com os nós propositalmente torcidos apresentaram 66,7% de preservação da resistência original.

No entanto, a recomendação de que um nó deve sempre ser bem confeccionado deve ser mantida, pois existem outros aspectos de segurança como a inspeção. O nó deve permitir a inspeção visual mesmo a distância.

Alongamento da corda

Os ensaios estáticos, com a tração aplicada lenta e progressivamente, nos ofereceram uma ideia do quanto uma corda semi-estática pode alongar. Com uma força de 600 kgf o alongamento foi em média de 24,8% e as amostras alongaram em média 57,5% no limite da ruptura.

Mas qual a aplicação desse conhecimento? Ele deve ajudar no cálculo da deflexão das linhas de vida horizontais e também no cálculo da Zona Livre de Queda, seja nas linhas horizontais como nas verticais. No entanto, os valores mais importantes para estes cálculos são os obtidos nos ensaios dinâmicos, e é neste quesito que os ensaios realizados provocaram certa frustração.

Dois fatores prejudicaram os resultados. O primeiro foi a decisão, tomada por Luiz Spinelli, de realizar as quedas com o fator de queda 1. Este fator de queda é demasiadamente grande para uma corda semi-estática. Nesta condição, elas são incapazes de absorver energia suficiente para garantir um limite seguro ao ser humano. E é por esta razão que as normas européias e também as brasileiras exigem um fator de queda de 0,3 para os ensaios em laboratório.

O outro fator que prejudicou os ensaios dinâmicos foi o método de medição. O equipamento de filmagem não foi apropriado para capturar imagens precisas no momento da retenção da queda, permitindo apenas leituras aproximadas.

Mas mesmo com tais dificuldades, conseguimos obter alguns valores que servem como indicadores de uma provável realidade. Sabemos que uma corda, no momento da retenção da queda, apresenta um alongamento entre 24,8% (teste estático com 600 kgf) e 36% (teste dinâmico com 1.300 kgf aproximadamente).

Constatamos que o fator de queda de uma corda semi-estática não deve ser maior que **0,3**, pois além desse fator as forças resultantes podem ultrapassar os 6kN (600 kgf aproximadamente).

Confirmou-se a ideia de que uma corda com maior capacidade de alongamento oferece maior capacidade de absorção de energia e conseqüentemente menor força de frenagem.

Outra constatação é que cordas de diferentes marcas e modelos podem apresentar desempenhos igualmente diferentes e que, portanto, o projeto de uma linha de vida, seja ela horizontal ou vertical, deve se basear no desempenho específico da corda que será utilizada.

TABELAS COMPARATIVAS

NÓ OITO (Oito Duplo)

Valores médios

Cordas sem terminação		Volta sob tensão na parte inferior do nó		Volta sob tensão na parte superior do nó		Nó mal confeccionado (voltas torcidas e sobrepostas)	
30,1 kN	100%	17,5 kN	58,1%	19,8 kN	65,8%	20,1 kN	66,7%

ALONGAMENTO DAS CORDAS

Valores médios

	Ensaio estático - 600 kgf	Ensaio estático - Ruptura	Ensaio dinâmico - 1.300 kgf Fator de Queda 1
Corda 1	21,8 %	55,0 %	36 % média obtida com base nas medições confiáveis
Corda 2	27,7 %	59,1 %	

São Paulo, 20 de fevereiro de 2017.

Profissionais que participaram dos ensaios:

Luiz E. Spinelli - consultor e idealizador do projeto.

Equipe Falcão Bauer

Thiago Rainet de Medeiros – Encarregado de Laboratório;
Felipe Junior Gomes da Silva – Técnico;
Victor Alonso Trajano da Silva – Técnico.



SPINELLI
Instrutor de NR 35, NR 33 e Resgate
autor de livro, artigos e vídeos

Luiz Eduardo Spinelli

 11 96740-3010

 luiz@spinelli.blog.br

 www.spinelli.blog.br

 Spinelli Luiz

 [luizeduardospinelli](https://www.youtube.com/luizeduardospinelli)