

Relatório de ensaio
Retenção de queda em linha de vida horizontal flexível



Relatório de ensaio

Retenção de queda em linha de vida horizontal flexível

Curso PROJETISTAS
Módulo de ensaios
Primeira edição Dezembro 2025


CEPA – Centro de Estudos de Proteção em Altura
Rua Anselmo de Lima Filho, 52 - CIC – Curitiba, PR
www.cepaltura.com.br



Relatório de ensaio

Retenção de queda em linha de vida horizontal flexível

Sumário

Sumário	2
Introdução	3
O CEPA	3
A Estrutura	3
 ATENÇÃO.....	4
Os ensaios	4
Modelo de cálculo	6
Dados de ensaio e resultados.....	7
Análises	12
Conclusão	14



Introdução

O CEPA

O CEPA é um centro de estudos com a finalidade de fomentar a cultura de prevenção em atividades com risco de queda com diferença de nível. Este relatório faz parte da primeira edição do curso para PROJETISTAS de sistemas de ancoragem.

A Estrutura

A estrutura do CEPA é pensada para atender os diversos critérios necessários para ensaios de diferentes normas de equipamentos de segurança em altura. Para o curso de projetistas, onde foram realizados ensaios de linha de vida horizontal flexível, os critérios estão de acordo com a ABNT NBR 17187. Essa determina que o ponto que recebe a carga de ensaio deve:

- A estrutura rígida de ancoragem deve ter frequência de vibração superior a 100 Hz;
- A aplicação de uma força de 20kN não provoque uma flecha superior a 1 mm na fase elástica.

Além da estrutura física o CEPA conta com um conjunto de células de carga HBM e um sistema de aquisição de dados PMX, que funciona em conjunto com o software *Catman Easy*. As células e configuração utilizadas são as seguintes:

- 2x Transdutores de força HBK S9M de 40kN, faixa de erro 0,02%;
- 1x Transdutor de força HBK S9M de 20kN, faixa de erro 0,02%;
- 1x Transdutor linear *E Connectivity* pt5ma 150, faixa de erro 0,18%;
- Todas as células passam pelo amplificador PMX com uma taxa de aquisição de 1200Hz e um filtro de bassa-baixa *Butterworth* de 100Hz, configurados via software.



Relatório de ensaio

Retenção de queda em linha de vida horizontal flexível



ATENÇÃO

Os cálculos e resultados de ensaio aqui apresentados não substituem a realização de cálculos ou ensaios específicos de quaisquer condições reais de uso. Não sendo autorizado o seu uso como embasamento para emissão de uma ART.

Os ensaios

Na aula prática do curso de PROJETISTAS de sistema de ancoragem foram realizados cinco ensaios de queda. Uma das intenções foi a de validar os cálculos apresentados, para linha de vida seca. Adicionalmente, pode ser observada a diferença entre um dispositivo de ancoragem com um absorvedor de energia, conforme a NBR 16325 - 2, e um sistema engenhado, sem absorvedor.

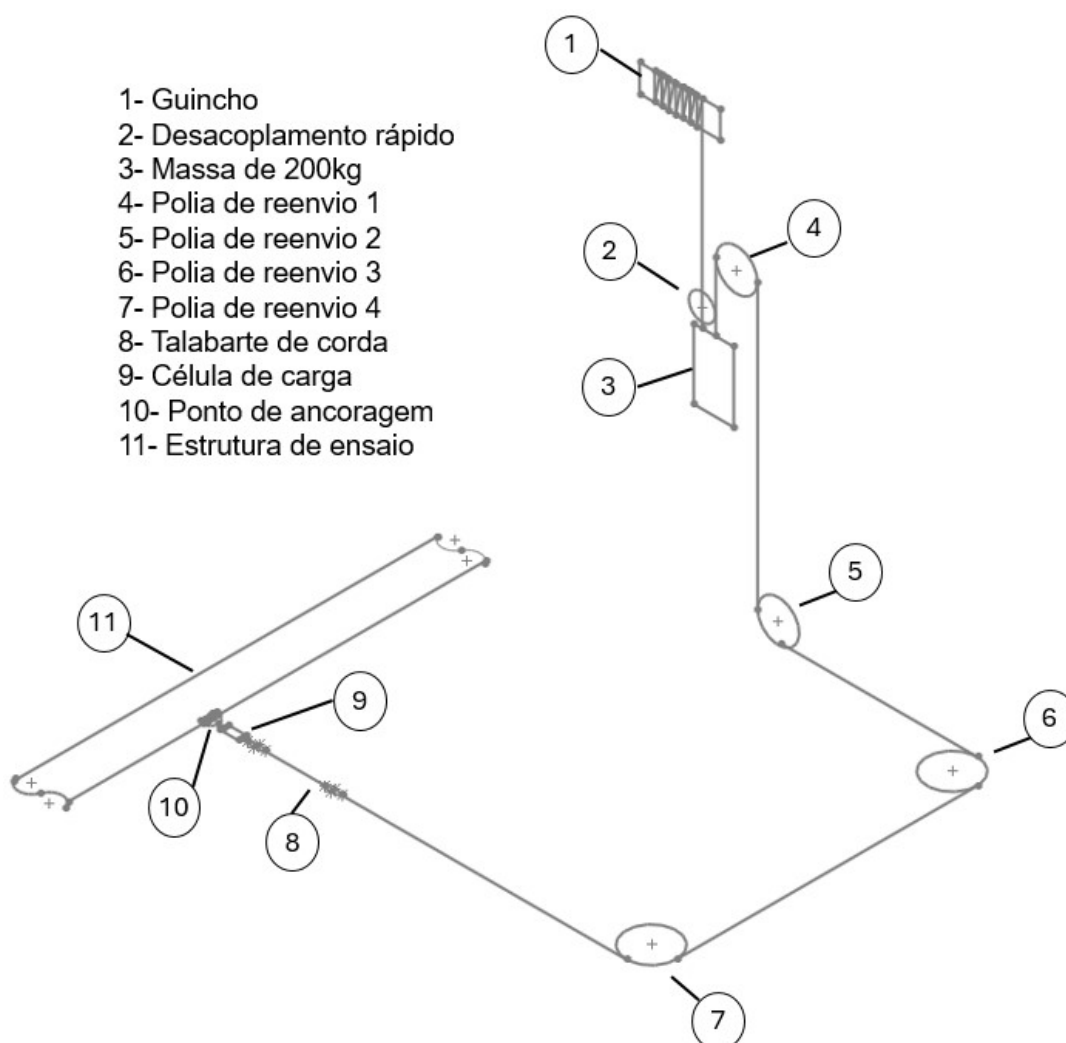
A sequência de testes foi a seguinte:

- Calibração em um ponto rígido de acordo com a ABNT NBR 16325 com uma massa de 200kg para gerar uma resposta de 12kN (-0 +1);
- Ensaio em uma linha de vida seca com um vão de 12m e 3% de flecha;
- Ensaio em uma linha de vida seca com 12m e vãos de 4m e 3% de flecha;
- Ensaio em uma linha de vida com absorvedor de energia e instalação conforme manual do fabricante em um vão único de 12m;
- Ensaio em uma linha de vida com absorvedor de energia e instalação conforme manual do fabricante, com 12m distribuídos em 3 vãos de 4m.



Relatório de ensaio

Retenção de queda em linha de vida horizontal flexível



Esquema do ensaio de calibração – mesma condição foi utilizada para os ensaios de linha de vida, onde no item 10 esteve o ponto móvel de ancoragem da linha de vida horizontal flexível, instalada em paralelo ao item 11.



Relatório de ensaio

Retenção de queda em linha de vida horizontal flexível

Modelo de cálculo

Dois modelos de cálculo foram apresentados no segundo módulo do curso e podem ser revistos no Caderno Azul. Os resultados abaixo são provenientes das planilhas de cálculo desenvolvidas com base nesses dois modelos vistos em aula. Além disso, por comparação, também foram realizados cálculos utilizando a força de pico real da massa na linha de vida, 10,18kN.

	Dados	Valor	Unidade
d	Diâmetro do cabo	0,00952	m
F	Fator F da área do cabo de aço (fabricante do cabo)	0,416	
A	Área da secção do cabo	4,33576E-05	m ²
E	Módulo de elasticidade	98125000000	Pa
w	Peso do cabo por metro	3,454	N/m
S	Vão	12	m
F	Força máxima de retenção da queda aplicada no centro do vão	12700	N
f1%	Flecha e relação ao vão	3,00%	%

Tabela de dados de entrada


 Centro de Estudos Proteção em Altura CEPA	Nigel	Simon	Diferença	Nigel (10,2kN)	Simon (10,2kN)
Flecha de instalação (mm)	360	360	0,0	360	360
Comprimento inicial do cabo (mm)	12028,8	12028,8	0,0	12028,8	12028,8
Tensão inicial (kN)	0,173	não calcula	NA	0,173	não calcula
Força no usuário (kN)	12,7	12,7	0,0	10,2	10,2
Flecha dinâmica (mm)	932,4	931,2	1,2	875,7	879,1
Comprimento dinâmico do cabo (mm)	12144,0	12143,7	0,3	12127,1	12128,1
Força de pico na extremidade (kN)	41,4	40,6	0,8	35,0	35,8

Tabela de resultados



Relatório de ensaio
Retenção de queda em linha de vida horizontal flexível

Dados de ensaio e resultados


 Centro de Estudos Proteção em Altura CEPA	Calibração	Teste 1 (Linha seca - Monovão)	Teste 2 (Linha seca - Multivão)	Teste 1 (Linha <i>Loop</i> - Monovão)	Teste 1 (Linha <i>Loop</i> - Multivão)
FQ	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
Massa (kg)	200	200	200	200	200
Comprimento do talabarte (mm)	1050	1050	1005	1015	1010
Tamanho da corrente (mm)	1000	1000	1000	1000	1000
Vão (mm)		12000	3 vãos de 4000	12000	3 vãos de 4000
H (altura) queda (mm)	1400	1400	1400	1400	1400
Flecha de instalação (mm)	NA	360	360	NA	NA
Carga inicial – Extremidade direita (kN)	NA	0,3	0,367	1,8	2,304
Carga inicial – Extremidade esquerda (kN)	NA	0,308	0,382	1,8	2,33
Força de pico no usuário (kN)	12,7	10,181	11,454	8,143	8,286
Força de pico na extrem. direita (kN)	NA	30,119	21,388	11,915	9,492
Força de pico na extrem. esquerda (kN)	NA	30,432	21,604	12,251	10,311
Flecha dinâmica (mm)	NA	1142,194	607,56	2121,526	1118,213
Abertura do Absorvedor <i>Loop</i> (mm)	NA	NA	NA	340	200

Tabela de dados e resultados dos testes realizados



Relatório de ensaio

Retenção de queda em linha de vida horizontal flexível

Força na massa versus Tempo - FQ 1,4 - Massa 200kg

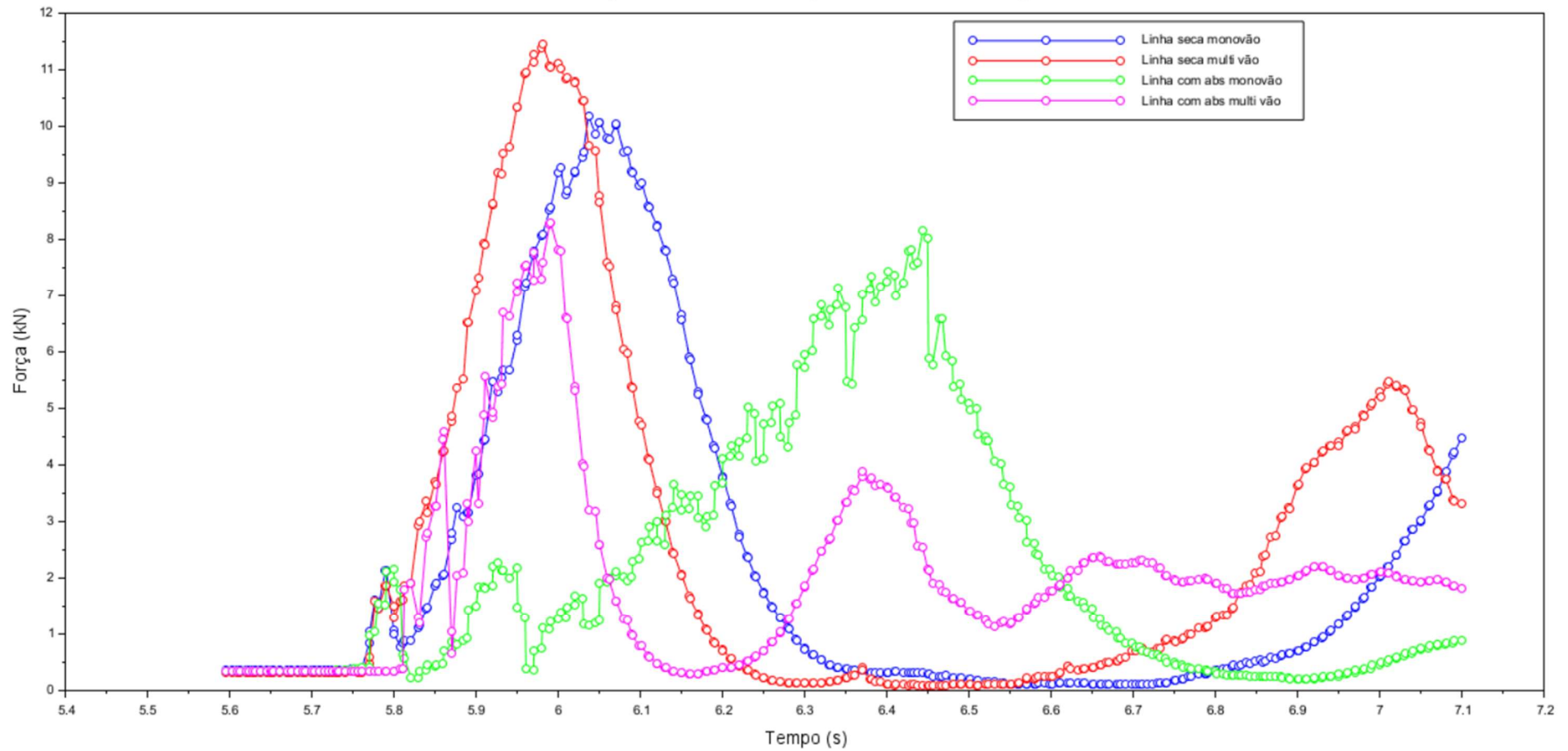


Gráfico comparativo entre testes - força na massa de ensaio (usuário)



Relatório de ensaio

Retenção de queda em linha de vida horizontal flexível

Força na extremidade direita versus Tempo - FQ 1,4 - Massa 200kg

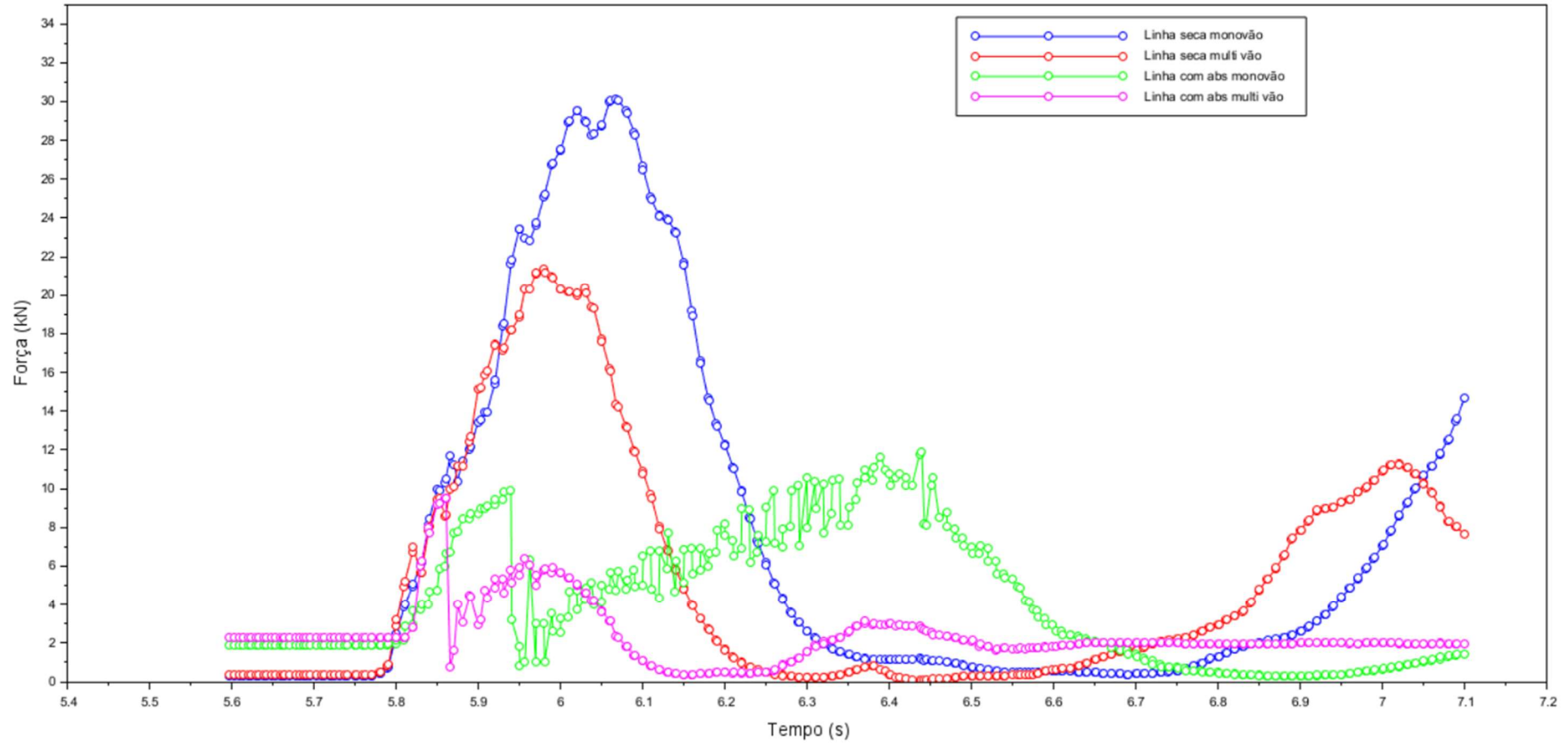


Gráfico comparativo entre testes - força na ancoragem de extremidade direita



Relatório de ensaio

Retenção de queda em linha de vida horizontal flexível

Força na extremidade esquerda versus Tempo - FQ 1,4 - Massa 200kg

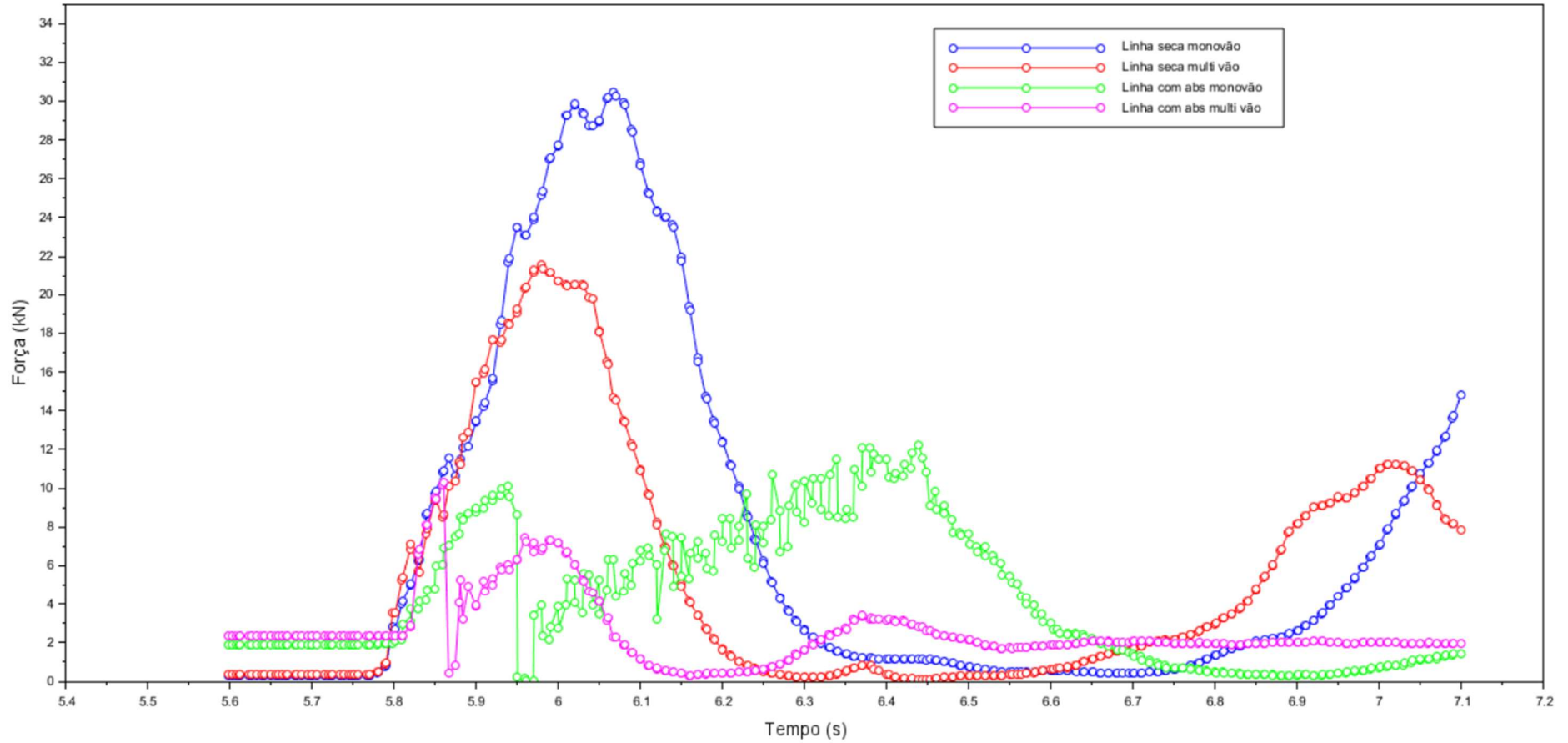


Gráfico comparativo entre testes - força na ancoragem de extremidade esquerda



Relatório de ensaio

Retenção de queda em linha de vida horizontal flexível

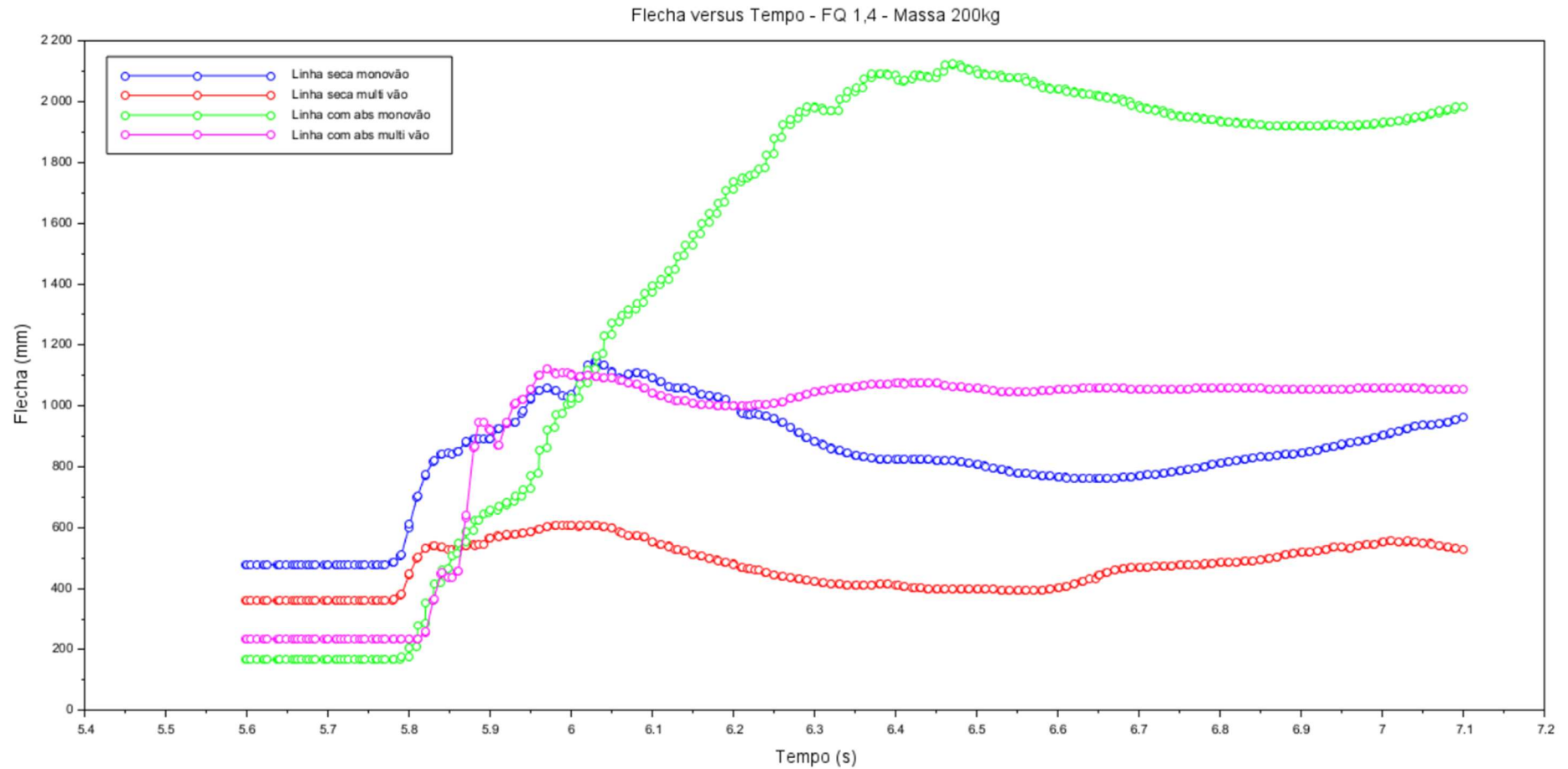


Gráfico comparativo entre testes – flecha de deflexão da linha



Análises

Como apresentado na tabela de cálculos, vemos que a diferença entre as duas teorias para o cálculo de linhas de vida é pequena, percentualmente, a diferença de força e flecha é menor do que 3%, para esse caso.

Na primeira comparação prática, cálculo vs ensaio, encontramos algumas diferenças interessantes:

- A força de pico calculada foi bastante superior à medida. Vemos que o método de cálculo superestima a força gerada, isso porque a carga de impacto no ponto seco é muito superior à carga gerada na linha. Com a deformação no cabo a carga aplicada também é reduzida, já que a linha não oferece a mesma resistência à queda da massa. Em números, vemos que a força calculada é 35% maior na extremidade do que observado no ensaio. Em contrapartida, a carga na massa cai de 12,7kN no ponto rígido para 10,18kN. Com o ajuste do modelo para representar melhor a realidade, aplicando a carga de pico no cálculo, chega-se a valores mais próximos de flecha e carga nas extremidades, porém essa manobra não reflete uma realidade de projeto, onde não se tem os valores de ensaio para a linha projetada. Para obter os valores reais de carga no usuário, o caminho é o ensaio, em linhas projetadas utiliza-se uma simplificação conservadora que garante que os cálculos superestimarão os valores reais.
- Observa-se, ainda, como as intermediárias influenciam drasticamente o comportamento da linha. A carga na extremidade cai 41% em comparação com a linha mono vão. Isso porque a carga é retida pelo atrito com a intermediária e o alongamento do cabo acontece majoritariamente no vão da queda, desta forma a carga não é integralmente transferida para as extremidades, além disso, a flecha é reduzida. Em contrapartida, a carga no usuário é aumentada em 11%, já que o cabo é retido pela intermediária, há menos absorção de energia no dispositivo de ancoragem, transferindo a carga para o talabarte. Num caso real, isso reflete numa maior deformação do elemento de ligação, por exemplo, em uma maior abertura do absorvedor do talabarte.



Relatório de ensaio

Retenção de queda em linha de vida horizontal flexível

- As comparações entre a linha seca, “engenhada”, e a linha com absorvedor de energia, “produto”, gera alguns dados relevantes. Primeiramente observa-se uma grande redução de esforço nas extremidades, de 30kN para 12kN, uma redução de 60%. A energia mecânica é dissipada de maneira progressiva pelo absorvedor. Após o pico de força da abertura do indicador de queda, vemos vários pequenos picos progressivos que continuam até a dissipação completa da energia de queda. Como a própria linha está absorvendo mais energia do que no caso da linha seca, a força no usuário cai de 10kN para 8kN, esse valor está acima do que um talabarte pode gerar. Porém, evidencia uma diferença importante que se pode verificar na prática, como a linha de vida absorve mais energia no caso de um produto com absorvedor, a carga no elemento de ligação é menor, isso resulta em uma menor abertura do absorvedor do elemento de ligação. Com a abertura do absorvedor, a linha gera mais flecha, sendo que a flecha dinâmica aumentada de 1,14m para 2,12m.
- Para as linhas de múltiplos vãos, vemos uma diferença menor, mas ainda bastante relevante entre a linha seca, “engenhada”, e a linha “produto”, com absorvedor de energia. As intermediárias reduzem a carga, aplicada nas extremidades, devido ao atrito. Mesmo assim, ocorreu uma redução significativa, de 21kN para 12kN, entre linha seca em comparação com a linha com absorvedor. A diferença entre as flechas também apresentou uma redução, de 0,61m para 1,1m. A carga no usuário é reduzida de 11,4kN para 8,3kN, proporcionalmente à flecha.



Conclusão

A primeira edição do Curso para PROJETISTAS, do qual faz parte este relatório, tem uma relação direta com a pesquisa que o CEPA preconiza. O relatório nos traz muitas respostas, mas também perguntas, quando incluímos variações de parâmetros, que precisarão ser respondidas por novos cursos e novos ensaios.

Reforçamos aqui o que foi apresentado nas divulgações desta primeira edição do curso e *que certamente fará parte das próximas:*

- *O ensaio é soberano dele é que vem a teoria e os cálculos* - Engenheiro Wilson Simon;
- *Carga de choque é difícil de dimensionar. Mais fácil medir (ensaiar) do que calcular* - Engenheiro Irivan Burda;
- *Ensaio são tudo, ensaiar, ensaiar, ensaiar...* - Técnico em Segurança Marcos Amazonas.

