

MEDIÇÃO PRECISA DAS FORÇAS DE ACELERAÇÃO EM CABOS

Edgar Moraes do Nascimento *
Manoel Godinho de Amorim Neto *

NASCIMENTO, E.M. do & AMORIM NETO, M.G. de Medição precisa das forças de aceleração em cabos
Rev. Saúde públ., S. Paulo, 20:401-4, 1986.

RESUMO: Certos problemas do uso do cinto de segurança ainda não foram resolvidos, sendo importante a determinação precisa das forças nos cabos. Existem vários métodos que, da maneira que são aplicados, são de pouca precisão. Com o objetivo de suspender essa imprecisão são apresentados três métodos e aperfeiçoado um outro de determinação da força exercida no cabo. Um desses métodos aplica-se a países subdesenvolvidos.

UNITERMOS: Segurança do trabalho. Forças de aceleração. Segurança de equipamentos. Acidentes do trabalho, prevenção e controle.

INTRODUÇÃO

É importante a determinação precisa das forças nos cabos para permitir o progresso na aplicação de cintos de segurança, elevadores, montagens diversas e torres de guincho de obra.

Normalmente se usam dois processos nessa resolução: o da fórmula do elevador; e aquele desenvolvido pela FUNDACENTRO (Fundação Jorge Duprat de Segurança e Medicina do Trabalho).

Esses processos, da maneira que são aplicados, são muito limitados. Outros três são aqui apontados, e um outro, aperfeiçoado, de finalidades mais amplas e genéricas, é apresentado no presente trabalho.

Apresentaremos o porquê desses levantamentos mais precisos, por meio de aplicações novas, especialmente na engenharia de segurança.

PROCESSOS DE MEDIDAS DE FORÇA DE DESACELERAÇÃO EM CABOS

A) Fórmula do cabo do elevador

$$F = P \left(1 + \sqrt{1 + \frac{2ESH}{P\ell}} \right)$$

Onde:

- F = força máxima no cabo
- P = peso em queda (operário ou cabina do elevador, conforme o caso)
- E = módulo de elasticidade do cabo
- S = seção transversal do cabo
- ℓ = comprimento do cabo
- h = altura da queda

Vide representação nas Figuras 1 e 2

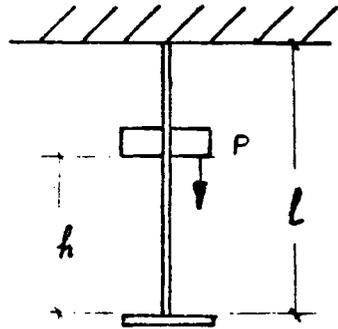


Fig. 1

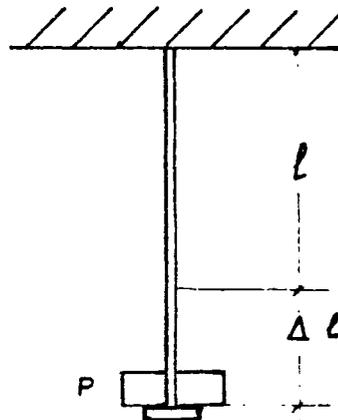


Fig. 2

* Da Secretaria do Trabalho do Estado de São Paulo - Av. Brigadeiro Luiz Antonio, 1224 - 01318 - São Paulo, SP.

Observam-se as seguintes hipóteses simplificadas:

- O choque se dá no regime da aplicação da lei de Hook.
- O choque é anelástico.
- Despreza-se o efeito da velocidade de propagação das ondas de choque.
- Material homogêneo e compacto.

Essa fórmula foi objeto de tese apresentada por Amorim Neto¹ (1975), onde foi apontada a obsolescência das normas e livros nacionais e internacionais que instruíam e regulamentavam a aplicação de cintos de segurança.

Por aí pode-se ver que uma queda de 0,30m pode resultar em força sobre o corpo do operário igual ao dobro daquela produzida por uma queda de 5m!

Mas, como informa C. Sanjar*: "a sua aplicação de confiabilidade é restrita, havendo necessidade de se especificar as condições do contorno."

B) Método da FUNDACENTRO

É utilizado em testes de cintos de segurança. São aplicadas as normas ANSI.A.10.14; 1975, FSKK.B.151.g e BS 1397: 1967.

Utiliza-se uma armação de 2,60m de altura, efetuando-se quedas de 0,60 e 1,80m.

A força máxima é medida por um piezômetro e a evolução das forças em função do tempo é observada num oscilógrafo. Essa evolução, ainda não estava sendo registrada, embora possa vir a ser importante se aplicados outros conhecimentos.

Assim, no oscilógrafo:

$$F = f(t), \text{ portanto, } F = M \frac{\delta^2 \Delta \ell}{\delta t^2} \quad \text{sendo}$$

$\Delta \ell$ o alongamento máximo do cabo.

$$\frac{F}{M} = \frac{\delta^2 \Delta \ell}{\delta t^2} = \psi(t), \text{ donde:}$$

$$\int_0^t \int_0^t \frac{\delta^2 \Delta \ell}{\delta t^2} dt^2 = \Delta \ell = \varphi(t)$$

Juntando-se a essas relações a lei dos modelos de Cauchy, teríamos resultados para cabos de quaisquer comprimentos, espessura e peso cadente.

A força máxima de desaceleração tolerada pela Fundacentro nos testes é de 1.200kg (para cintos de segurança tipo paraquedista).

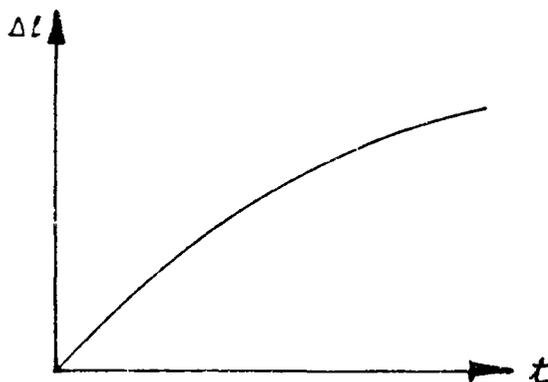
Nos processos abaixo, aplicam-se as fórmulas de Galileu:

$$\frac{\delta \ell}{\delta t} = F \quad F = Ma \quad a = \frac{\delta^2 \Delta \ell}{\delta t^2}$$

para determinar-se a força no cabo.

C) Sistema da Filmadora de Alta Velocidade

Um peso, simulando o corpo humano, ao qual está preso o cinto de segurança, é lançado de uma plataforma, enquanto filma-se a queda. Cada chapa do filme indica uma posição do cabo e, portanto, também o tempo correspondente a essa posição. Obtém-se, dessa maneira, o gráfico tempo/espaço percorrido (alongamento). (Figura 3).



A aceleração será: $a = \frac{d^2 \Delta \ell}{d t^2}$. Esse processo é

de custo proibitivo, pois, além dos filmes, a câmara é custosa e importada.

D) Processo do Acelerógrafo

O aparelho também vem do exterior, mas seu custo é mais baixo que o anterior. Os acelerógrafos são aparelhos que medem e registram acelerações.

Há dois tipos principais:

- de mola;
- de quartzo piezoelétrico.

No caso, prende-se o aparelho ao corpo cadente e obtém-se o registro das acelerações negativas (desacelerações).

$$F = Ma$$

* Comunicação pessoal de Carlos Sanjar, da FUNDACENTRO.

E) Método das Medidas dos Alongamentos.

Este método, por nós desenvolvido e a seguir descrito, é próprio para qualquer país, rico ou pobre. Calculamos primeiro a extensão aproximada do cabo, devido à queda do corpo, pela fórmula do item A (do cabo do elevador). Na armação da plataforma das experiências, na altura da extensão prevista para o cabo, a cada 1 cm, na horizontal, até onde vai chegar provavelmente o corpo, passamos fios bem finos, digamos, linha de cozer nº 40. Lançado o corpo, até onde ele atingiu, as linhas se romperão; onde não chegou, as linhas permanecerão intactas. Dessa maneira, conheceremos o alongamento do cabo.

Fazemos 4 lançamentos: $h/\ell = 0$, $h/\ell = 0,50$, $h/\ell = 1$, $h/\ell = 2$.

Observadas as medidas dos alongamentos $\Delta \ell$, calculamos as energias postas em jogos pela fórmula:

$$E = P (h + \Delta \ell) \quad (7)$$

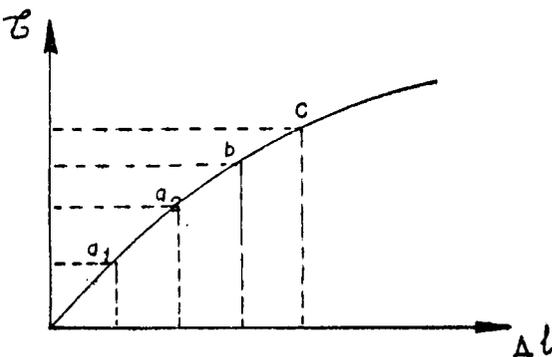
$\Delta \ell$ = alongamento medido na experiência
 h e ℓ = aos anteriores.

Efetuamos, então, o gráfico da figura 4.

Partindo da hipótese que, na quarta experiência (ponto *c* da curva), a linha da energia passará por a_1 , a_2 , b (correspondentes às 3 primeiras experiências), cabe a expressão:

$$\frac{\delta E}{\delta \Delta \ell} = F \quad (8), \quad \text{fácilmente solúvel. (Vide$$

Figura 4).



EXEMPLOS PRÁTICOS QUE JUSTIFICAM Nossos PONTOS DE VISTA

O método utilizado pela Fundacentro é excelente, mas aplica-se somente em cabos curtos e só indica a força máxima. Fizemos aqui as sugestões, apontadas no item B "método da FUNDACENTRO", isto é, registro da evolução das forças de pesquisa para a aplicação da lei dos modelos de Cauchy. Com

isso e os outros processos, teríamos a resolução de vários problemas do cinto de segurança que afligem nossos trabalhadores.

Exemplifiquemos:

a) Certo operário estava temeroso de utilizar o cinto de segurança. O supervisor, com o fito de mostrar a ausência de risco, pôs o EPI e jogou-se. Resultado: rompeu-se a ancoragem e o supervisor espatifou-se no solo, sofrendo morte instantânea.

Na limpeza de janelas, o funcionário frequentemente passa o mosquetão no fecho das mesmas, face a corda ser curta. É lógico, devido à pouca resistência do fecho, qualquer queda resultará em acidente fatal. Onde amarrar então? Com cabos mais longos, poder-se-ia fazer ancoragem em paredes, contudo, uma parede de tijolos furados de 15cm de espessura resiste a uma tonelada de 10cm, 750kg, placa de gesso de 5cm, 100kg, divisória de folha de madeira aglomerada, 150kg. Atualmente aplicam-se muitos caixilhos de alumínio e vidro. Ora, essas resistências são muito menores que as 1,2 toneladas aceitas pela Fundacentro no teste dos cintos tipo paraquedista.

Pode-se escorar em colunas de concreto, mas estas frequentemente estão escondidas por paredes.

b) Problemas similares aparecem, bem assim, na montagem de torres de rádio, TV ou de guincho de obra, estruturas metálicas em geral, cimbramento e frentes de pontes, colocação de formas em edifícios de concreto e outros, onde podem ser necessário cordas compridas, com quedas acentuadas, ancoragem relativamente fraca e situada abaixo do operário. Esse modus operandi é desconhecido na indústria da construção desses estudos. Com o fito de auxiliar o engenheiro de segurança das empresas, é necessário que os fabricantes de cintos forneçam, juntamente com o cinto, o gráfico ou tabela de $F = f(h/\ell)$ juntamente com instruções. Com isso, o problema estaria bem encaminhado e com possibilidade de solução para o usuário.

c) Fixando outro problema, o método A é utilizado para dimensionamento de cabos de elevadores, mas, devido a imprecisões de contorno da função, utiliza-se um coeficiente de segurança elevado, 10. O método da Fundacentro é inadequado pois, não é essa a sua finalidade. Utilizando-se, por exemplo, o acelerógrafo (Método D), pode-se chegar a resultados menores do coeficiente de segurança, o que traria grande economia, visto o custo do cabo ter peso considerável no custo do elevador. Talvez a caixa do elevador e suas fundações tenham seus custos mais reduzidos.

d) Um dos mais graves problemas da construção civil é o tombamento de torres do guincho. S. Belk* explicita qualitativamente a necessidade do prumo das torres. Ora, em medidas físicas, há sempre um maior ou menor erro. Qual seria a excentricidade máxima? Ninguém sabe. E o estaiamento e a pinagem, como dimensioná-los? Tudo isso pode ser mais econômico e segura-

mente determinado por meio da quantificação exata da força de desaceleração do guincho, segundo os métodos por nós preconizados.

Concluindo: Esses problemas existem em todo o mundo, embora não tenham sido satisfatoriamente resolvidos em países mais ricos; não quer dizer que devamos recuar.

NASCIMENTO, E.M. do & AMORIM NETO, M.G. de [Precise measurement of acceleration forces acting on cables]. *Rev. Saúde públ.*, S. Paulo, 20: 401-4, 1986.

ABSTRACT: Certain problems related to the use of safety belts remain unsolved, important among them being the exact determination of forces acting on cables. Various methods of calculation, severely limited because of the way in which they are applied, are presented. Three methods with a view to surpassing these limits are presented and another for the calculation of the forces acting on a cable is perfected. One of these methods is applicable in developing countries.

UNITERMS: Acceleration. Equipment safety. Safety. Accidents, occupational, prevention and control.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

1. AMORIM NETO, M.G. de Contribuição para solucionar o problema das quedas de operários na construção civil através de novos conhecimentos do cinto de segurança. [Apresentado no XIV Congresso Nacional de Prevenção de Acidente do Trabalho, Rio de Janeiro, 1975]

Recebido para publicação em 10/03/1986

Aprovado para publicação em 21/03/1986

* Comunicação pessoal de Samuel Belk, da Secretaria do Trabalho do Estado de São Paulo.