

Luiz Spinelli

OS CEM QUILOS!



2ª edição

Copyright © 2016

2ª Edição - 2017

Todos os direitos reservados

Spinelli, Luiz Eduardo

São Paulo - Brasil

Edição de fevereiro de 2017

Texto, ilustrações, diagramação e capa de Luiz E. Spinelli

OS CEM QUILOS!

No Brasil as normas técnicas que abordam as características e as metodologias de ensaio dos equipamentos de proteção individual contra quedas de altura foram baseadas nas normas europeias.

O entendimento dos conteúdos dessas normas é de domínio de poucos profissionais do mercado de trabalho brasileiro e latino-americano, pois normalmente o interesse se limita aos que, de fato, precisam utilizar as normas. Essas normas técnicas são de utilidade para todos os que desenvolvem projetos, fabricam e importam equipamentos ou realizam os ensaios desses equipamentos no processo de certificação. Mas fragmentos dessas normas costumam ser compartilhadas no mercado de forma parcial e mal interpretadas.

A falta de conhecimento técnico da maioria dos profissionais do mercado agrava a situação e os problemas decorrentes de tudo isso são latentes nos dias atuais.

O melhor exemplo que podemos utilizar é a controvérsia dos 100 kg.

As normas técnicas brasileiras, com base nas europeias, determinam que os ensaios dinâmicos dos equipamentos de proteção individual contra quedas devem utilizar uma massa de 100 kg. Esse é um dos poucos requisitos das normas de domínio comum no mercado, e gera confusões e enganos.

Como exemplo, podemos citar um pensamento comum no mercado que é acreditar que o 100 kg é um fator limitante para o uso de alguns equipamentos de altura. O pensamento é o seguinte: “Se um cinturão de segurança foi testado com um manequim de 100 kg é óbvio que ele não deve ser usado por um trabalhador com mais do que 100 kg”.

Pode parecer óbvio, mas está errado! A massa, isoladamente, não determina o resultado de uma queda. A segurança da queda de um trabalhador é definida por uma soma de fatores que se relacionam e cujo conjunto define o resultado. E a massa é apenas um dos fatores.

O grande problema nesta e em outras controvérsias e enganos é manter o foco em um ou em outro fator isolado, deixando de pensar no SISTEMA!

Este livro tem o objetivo de oferecer uma base de conhecimento que ajude os profissionais a compreenderem os efeitos de uma queda e os fatores que compõe um sistema seguro de retenção de quedas.

Boa leitura!

Capítulo 1 - Um pouco de ciência **página 09**

Unidade de medida	10
Sistema Internacional de Unidades	12
Massa	14
Peso	15
Velocidade	16
Aceleração	17
Força e aceleração da gravidade	18
Energia	21
Joule	23
Absorção e dissipação de energia	26
Força	27
Newton (unidade de medida)	28
Relação entre energia e força	30
Força G	32
Resumo	39

Capítulo 2 - Como parar uma queda **página 41**

Montagem de um sistema	42
Resistência de um sistema	43
Resistência do corpo humano - os 12 kN e os 6 kN	44
Desaceleração	48
Exemplos de sistemas	49

Capítulo 3 - Fator de queda **página 51**

O que é o fator de queda?	52
Cálculo do fator de queda	56
Exemplos da aplicação do fator de queda	57
Zona Livre de Queda (ZLQ)	60
Resumo	62

Capítulo 4 - Absorvedores de energia **página 63**

Variedade de modelos	64
Certificação	66
Sobre o funcionamento	68
Características técnicas	71
Administrando os pesos maiores e os pesos menores	74
Resumo	78

Capítulo 5 - Ensaio de equipamentos**página 79**

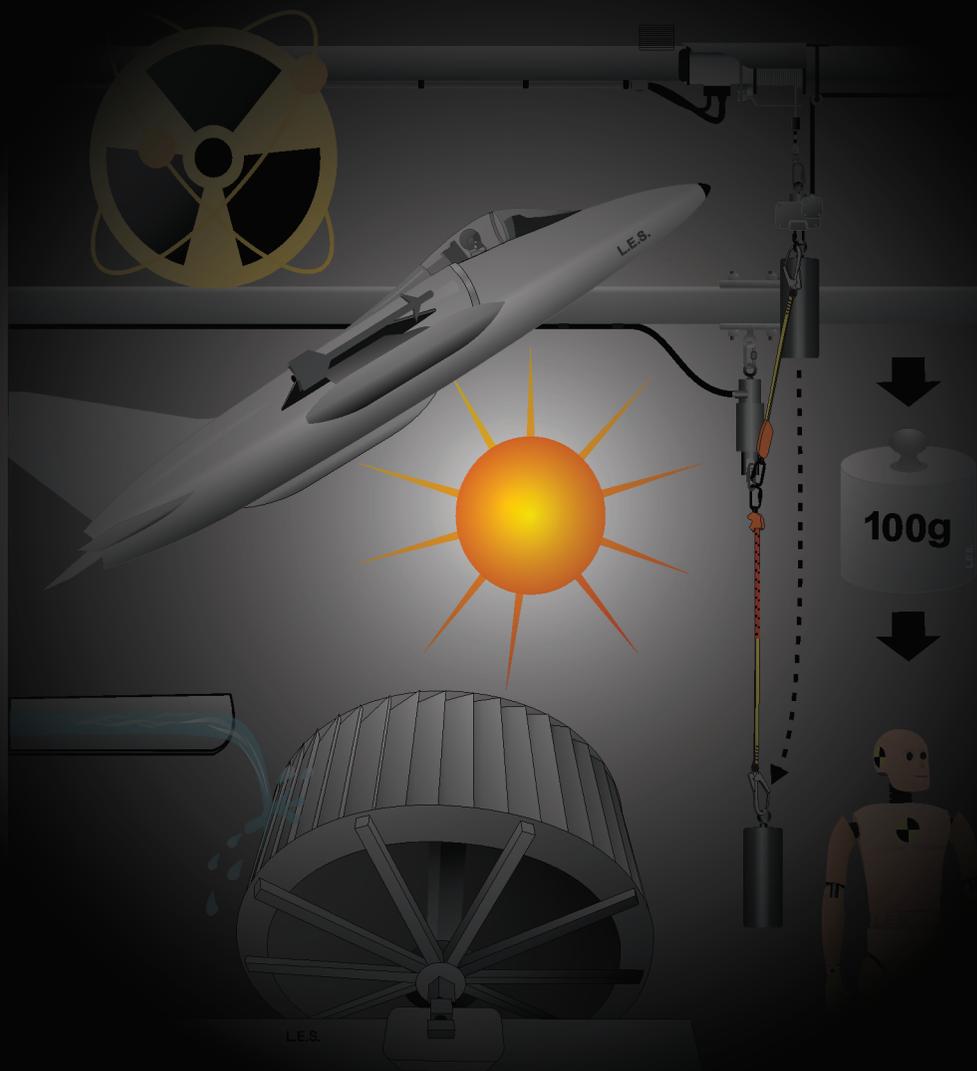
O ambiente de laboratório	80
Normas	81
Elementos de engate do cinturão de segurança	83
Ensaio estático do cinturão de segurança	83
Ensaio dinâmico do cinturão de segurança	84
Ensaio estático do talabarte com absorvedor	86
Ensaio dinâmico do talabarte com absorvedor	87
Resumo	88

Conclusões**página 89**

Um cinturão de segurança deve ter uma resistência maior?	91
Não confunda método de teste com orientação de uso!	95
Administrar o fator de queda resolve problemas	99
Atenção para os oito itens!	103

capítulo 1

O que você queria saber ou lembrar sobre física e não tinha coragem de perguntar.



Quem é esse tal de quiloneuton?

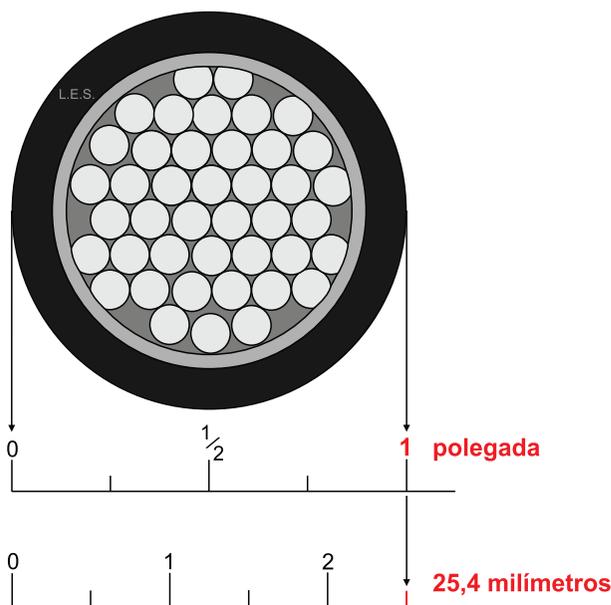


Na verdade é quiloneuton, com “w”, por estar relacionado ao Sr. Newton, ou melhor, ao Sr. Isaac Newton, um cientista inglês do final do século dezessete, que criou algumas das teorias consideradas a base da física moderna. A imagem mais associada a ele é a da maçã caindo da árvore sobre a sua cabeça, o que o teria motivado a pensar na ação da gravidade. Mas neste momento não estamos tratando dele, pois, o Newton em questão é um valor de intensidade (quantidade) de força, o **kN** (quiloneuton), que tem como base a **unidade de medida N (Newton)**.

O que é uma unidade de medida?

É o que usamos para medir a quantidade de alguma coisa como, por exemplo, medir o comprimento da barra de uma calça, medir o tempo que durou um evento, medir a quantidade de farinha para preparar uma receita de bolo. Ou seja, usamos várias unidades de medida diferentes ao longo de um dia para realizar as nossas tarefas cotidianas. Elas são representadas por símbolos como, o grama é representado por “g” e o metro por “m”.

Exemplo: Para medir a bitola (diâmetro) de um cabo elétrico pode-se usar o milímetro ou a polegada.



Para simplificar a informação sobre algumas quantidades usamos o quilo, representado pelo símbolo “k” (letra minúscula), que significa 1.000 (mil) de determinada unidade. Por exemplo:

1.000 gramas = 1 kg (quilograma);

1.000 metros = 1 km (quilometro);

1.000 newtons = 1 kN (quilonewton).

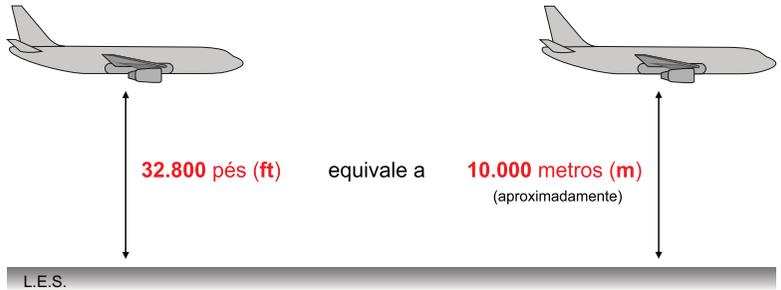


Diferentes unidades para medir a mesma coisa.

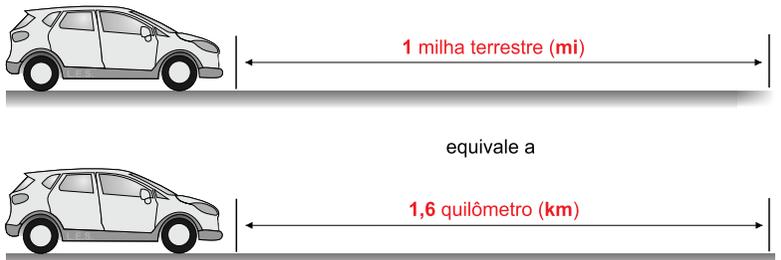
Existem muitas unidades de medida para medir coisas diferentes mas, também podem existir várias unidades para medir uma mesma coisa. Vejamos alguns exemplos:

Ilustrações fora de escala

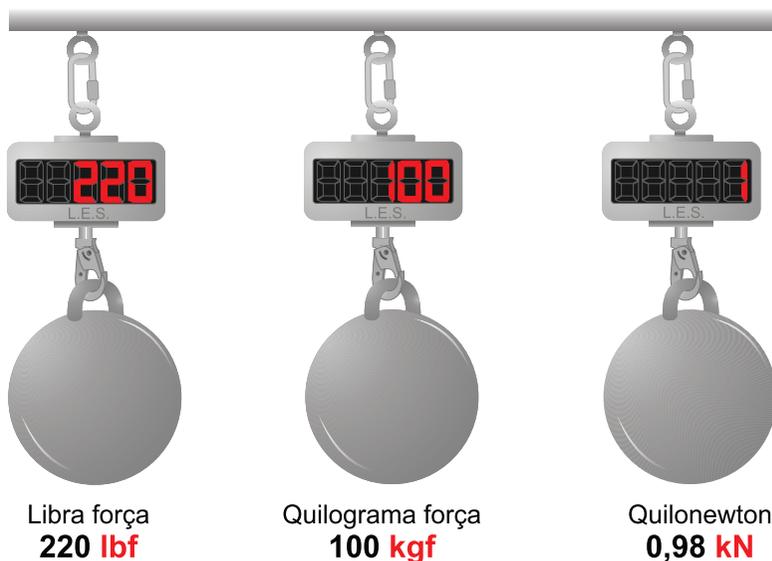
Na aviação é mais comumente usada a unidade pé (**ft**) para determinar a altitude dos aviões, no entanto, como não é uma unidade de medida cotidiana para os que não são aviadores, precisamos converter para metros para compreender o valor. Um pé (**ft**) equivale a 0,3048 metros (**m**).



Se você disser a um norte-americano que a distância entre as cidades de São Paulo e Rio de Janeiro é de 500 km (quilômetros), provavelmente ele terá dificuldade de compreender essa distância, pois nos Estados Unidos a unidade para medir o comprimento/distâncias é a milha terrestre (**mi**). A milha terrestre equivale a **1,6 km** (quilômetros).



Uma mesma massa pesada por três unidades diferentes de medida.



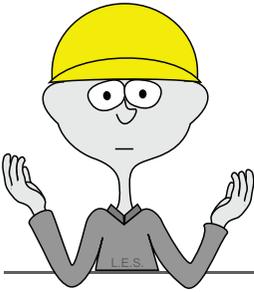
Sistema Internacional de Unidades

As diferentes unidades de medida utilizadas em regiões e países provocou problemas no comércio e no intercâmbio científico, e para solucionar isso, em 1960, foi criado o sistema internacional de unidades decimais.

A grande maioria dos países adotou o Sistema Internacional, mas no cotidiano, a exemplo dos Estados Unidos, é comum utilizarem outras unidades.

Abaixo estão relacionadas as unidades pertencentes ao sistema internacional mais relevantes ao nosso tema.

GRANDEZA	UNIDADE	SÍMBOLO
Massa	quilograma	kg
Tempo	segundo	s
Comprimento	metro	m
Força	Newton	N
Energia	Joule	J



E daí ?!

Para compreender as especificações das normas técnicas, as exigências das normas regulamentadoras e as marcações em equipamentos é necessário entender algumas unidades de medida. Por exemplo, avaliar a resistência de um conector (mosquetão) que indica um valor de 22kN, para quem não está acostumado a pensar em Newtons (N), pode não ter significado. É muito ou é pouco? Bom... 22kN é o mesmo que 22.000 N, então deve ser bom! No entanto, fazendo uma analogia com dinheiro, com 22.000 centavos não se compra um carro! Para avaliar se a resistência de 22 kN é suficiente precisamos ter conhecimento sobre os valores de força gerados na queda de um ou mais trabalhadores.

Precisamos entender grandezas como energia, força, massa, entre outros, e também ter parâmetros para comparar os valores indicados.

Nas próximas páginas vamos abordar o conceito e os parâmetros de algumas grandezas.



Massa e peso são a mesma coisa?

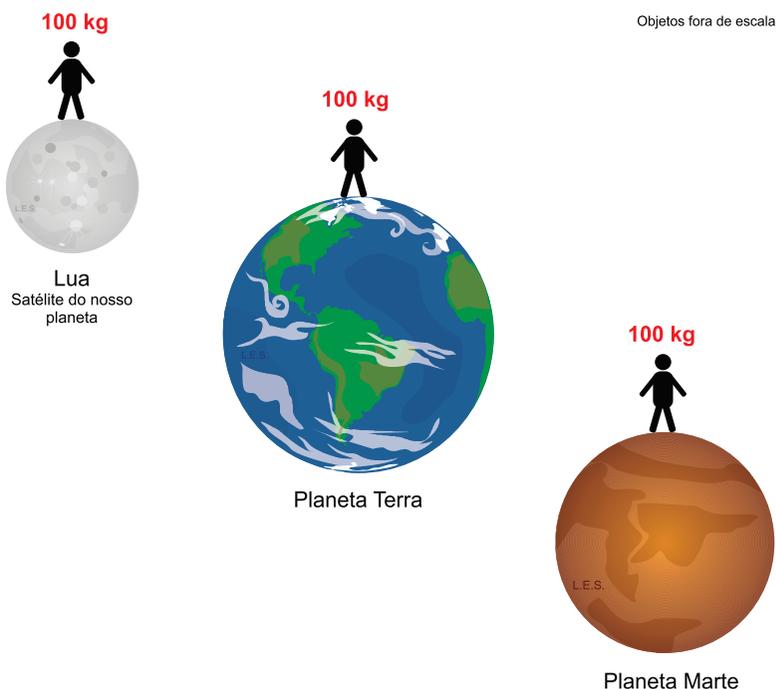
E aceleração e velocidade?

Não são a mesma coisa, mas costumam ser confundidas umas com as outras por terem relação entre si. Vejamos:

Por que não falar peso ao invés de massa?

A definição da física para massa não é muito simples, mas como existe uma relação direta com quantidade de matéria, alguns textos didáticos adotam a seguinte definição: massa é a quantidade de matéria de um corpo expressa em grama (g). Ou seja, quando uma pessoa afirma ter 70 kg, ela está se referindo a quantidade de matéria que constitui o corpo dela.

A **massa é constante**, portanto, uma mesma pessoa não terá a sua massa (corpo) alterada em diferentes planetas.

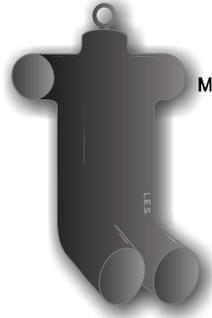


Padrão de massa para ensaios dinâmicos

Equipamentos para testes dinâmicos (quedas) com massa de 100 kg.

Equipamento para teste de cinturões de segurança.

Massa de 100 kg



Manequim

Equipamento para teste de talabartes e absorvedores de energia.

Massa de 100 kg



Cilindro

Para teste de outros equipamentos.

Massa de 100 kg



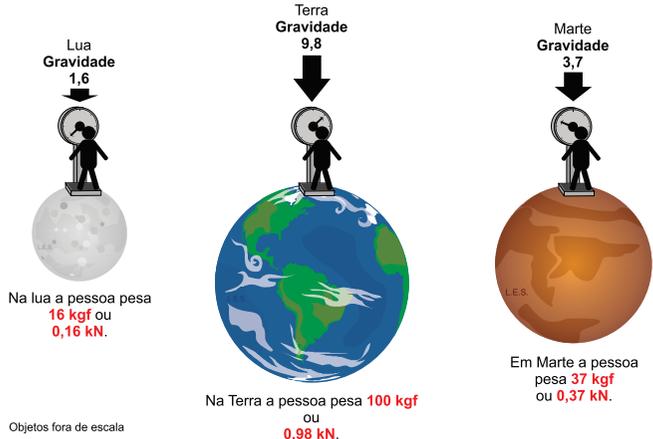
Saco de areia

Quer pesar menos? Vá para a lua.

Enquanto a massa é constante, o peso varia de um planeta para o outro, pois essa grandeza mede a força da gravidade sobre a matéria. Na terra, a ciência sabe que para cada porção de massa há uma quantidade de força exercida pela ação gravitacional do planeta e é expressa em Newton (SI), e cotidianamente em **kgf** (quilograma força). Uma pessoa de **100 kg** de massa terá um peso de **100 kgf**, ou aproximadamente **1 kN**. Em planetas em que a força da gravidade exerça maior ou menor ação o peso será diferente. Vejamos alguns exemplos sobre uma **mesma pessoa** com massa de **100 kg**:

Peso é a força da gravidade sobre a massa.

Valores em metros por segundo ao quadrado (m/s^2).



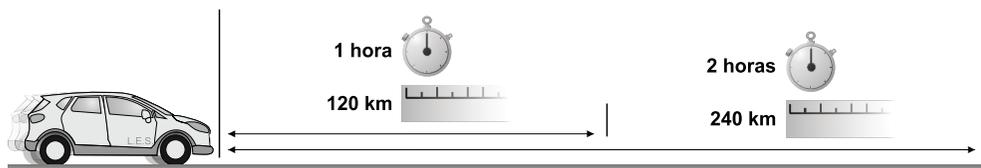
Antes de abordarmos a aceleração, é bom lembrarmos o que é velocidade.

É algo fácil de compreender porque a usamos cotidianamente, mas não são raras as vezes que velocidade e aceleração se confundem.

Velocidade é a quantidade de espaço percorrido por um corpo por uma determinada quantidade de tempo. A unidade internacional para velocidade é metros por segundo (**m/s**), mas como é comum termos que dimensionar grandes distâncias, usamos mais comumente quilômetros por hora (**km/h**).

Percorrendo uma estrada com um automóvel, supondo que o motorista mantenha o veículo numa velocidade constante, quando afirmamos que ele está a **120 km/h** (quilômetros por hora), estamos dizendo que a cada **1 hora** o veículo percorre **120 quilômetros**.

**A cada 1 hora o veículo percorre 120 quilômetros.
A velocidade é de 120 km/h ou 33,3 m/s (metros por segundo).**



Conversão: Para converter km/h em m/s, divida km por 3,6.
Exemplo: 120km/h, ou 120 dividido por 3,6 = 33,33 m/s

A que velocidade podemos chegar em queda livre?

Podemos usar o exemplo das quedas livres praticadas por paraquedistas, que nos dão uma noção das velocidades que um corpo pode alcançar no nosso planeta. A ação gravitacional gera uma aceleração constante, ou seja, um corpo poderia descer aumentando constantemente a sua velocidade até chegar ao solo, no entanto, a resistência do ar se opõe a essa aceleração, impondo velocidades máximas que um paraquedista pode alcançar.



Por causa da resistência do ar, nesta posição um paraquedista pode alcançar uma velocidade máxima de

240 km/h

ou

67 m/s

(metros por segundo)



Nesta posição um paraquedista enfrenta uma resistência menor do ar, e pode alcançar velocidades acima de

300 km/h

ou

83 m/s

(metros por segundo)

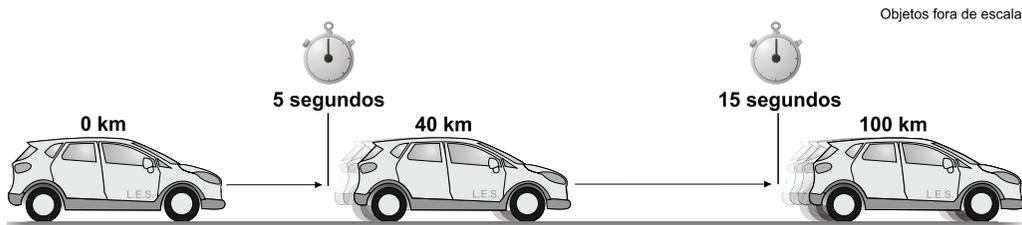
Recorde mundial

Numa competição do esporte paraquedismo, modalidade queda livre, o francês Michael Brooke, atingiu em 1999 a velocidade de **524,13 km/h** ou 145,6 m/s, saltando de cabeça de uma altura de 2 mil metros.

Extrapolando a prática comum do paraquedismo, saltando de **39 mil metros**, o austríaco Felix Baumgartner, no ano de 2012, bateu o recorde de salto de paraquedas de maior altitude. Também foi o primeiro ser humano a romper a velocidade do som em queda livre (a velocidade do som é de aproximadamente **1.200 km/h**).

Pois bem, agora podemos tratar da aceleração.

Em física, a aceleração trata da variação da velocidade. Por exemplo, um carro estacionado está a 0 km/h, mas para fazê-lo rodar o motorista terá que acelerá-lo para chegar a velocidade desejada de 100 km/h, e para isso a aceleração acontecerá progressivamente passando para 10 km/h, depois para 20 km/h, 30 km/h, e sucessivamente até finalmente alcançar os desejados 100 km/h, e é neste momento que o motorista poderá parar a aceleração para manter a velocidade sempre constante em 100 km/h.



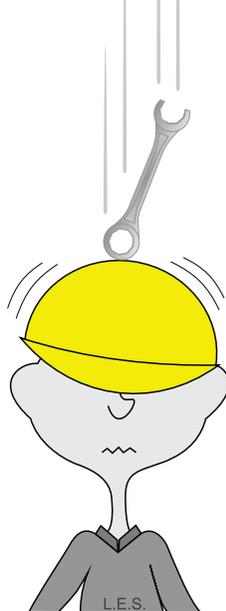
Força e Aceleração da Gravidade

A gravidade é uma das forças fundamentais da Natureza. É a força invisível que dá peso aos corpos, que faz com que tudo em queda livre vá de encontro ao chão e é absolutamente democrática! Ela não faz distinção entre chefes e subordinados, e não faz diferença se a queda é de um barraco em construção numa favela ou do telhado de uma mansão suntuosa, pois a ação da gravidade é a mesma.

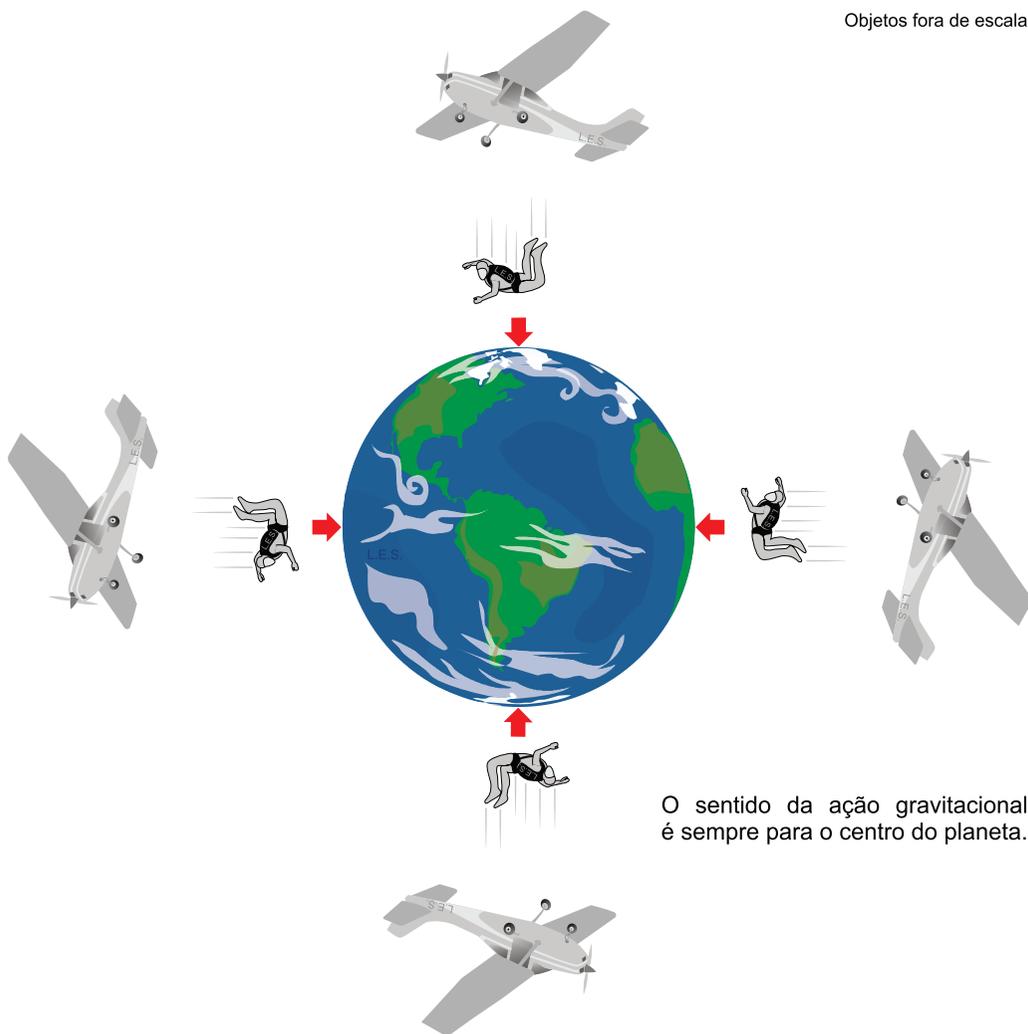
A força da gravidade varia basicamente por dois fatores que é a massa e a distância entre os corpos.

O Planeta Terra tem aproximadamente 6 milhões de bilhões de kg ($5,98 \times 10^{24}$ kg), ou seja, tem muita massa para provocar a ação gravitacional e quanto mais próximo um corpo está do nosso planeta, maior será a ação da gravidade sobre ele. A ação gravitacional tem um sentido determinado, que é o centro do planeta, por isso não importa se uma pessoa está no Polo Norte ou no Polo Sul da Terra, a referência do que é “em cima” ou “embaixo” será sempre o chão, ou melhor, o centro do planeta.

A unidade para medir a **Força da Gravidade** sobre os corpos é o Newton (N) pelo Sistema Internacional (SI), sendo que cotidianamente usa-se também o kN ou kgf.



Objetos fora de escala

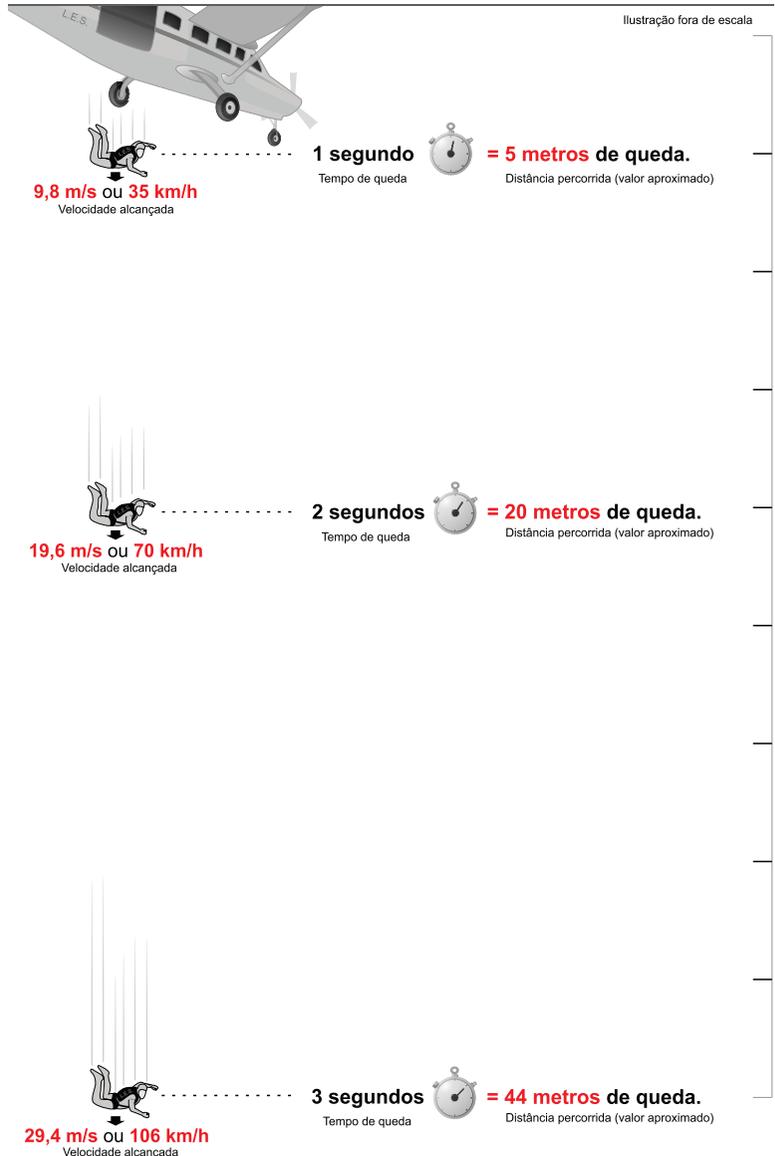


O sentido da ação gravitacional é sempre para o centro do planeta.

A aceleração da gravidade é como um corpo em queda livre se aproxima do centro do planeta. Devemos lembrar que aceleração é uma taxa de alteração da velocidade, ou seja, a ação gravitacional fará com que um corpo em queda ganhe cada vez mais velocidade até atingir o chão. Mas existe uma limitação para esta aceleração, que é a resistência do ar, como vimos no exemplo da queda livre de paraquedistas.

Para compreender melhor o que é a aceleração da gravidade, veja a ilustração abaixo. Ela representa um mesmo paraquedista em queda livre aumentando a distância e a velocidade a cada segundo que se passa.

A aceleração da gravidade é expressa em m/s^2 , e no planeta Terra o valor é de **9,8 m/s^2** . Isso significa que a cada segundo a velocidade é aumentada em 9,8 metros. Para facilitar os cálculos, a resistência do ar foi desprezada neste exemplo.





O que é energia?

Isso eu sei!!!! ... ou acho que sei.

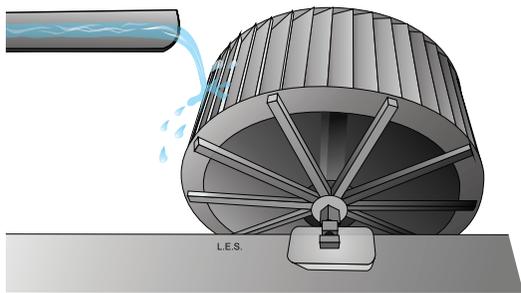
Se você respondeu que é aquele troço que dá choque e que faz motores e outros equipamentos elétricos funcionarem, você acertou! Mas não inteiramente, pois além da elétrica existe a térmica, a acústica, a mecânica, a potencial e a cinética, entre outras. Vejamos o que a física diz a respeito de **ENERGIA**.

Energia

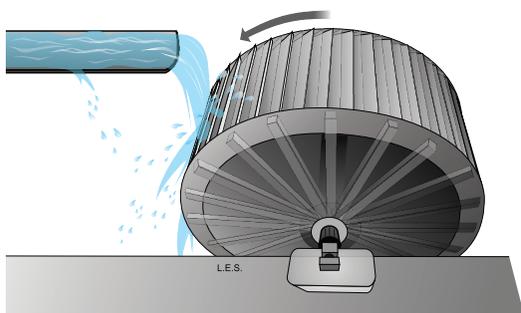
A ideia de energia é abstrata, ou seja, não é uma ideia fácil de transformar em uma imagem precisa. Não há uma definição que possa ser encaixada em todas as suas formas, mas existem algumas definições aceitas para determinadas aplicações.

Para a física mecânica ou de movimento, a energia é associada a algo com capacidade de realizar uma ação ou produzir um trabalho. Esse trabalho pode ser, por exemplo, empurrar ou puxar alguma coisa, interromper um movimento ou deformar um objeto.

Dois componentes que definem a quantidade de energia é a massa e a velocidade. Vejamos isso na prática:



Neste primeiro exemplo a corrente de água não tem volume e velocidade suficientes para mover a roda d'água. Este fluxo de água não tem energia suficiente para realizar o trabalho.



Neste segundo exemplo, a corrente de água tem uma massa de líquido muito maior, além de maior velocidade de deslocamento. O resultado é oferecer energia suficiente para mover a roda d'água e os demais equipamentos engrenados a ela.

Magnética



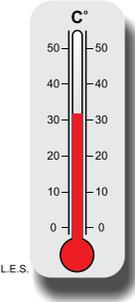
Acústica



Elétrica



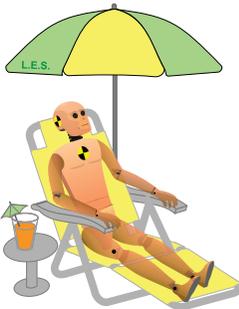
Térmica



ALGUMAS FORMAS DE ENERGIA

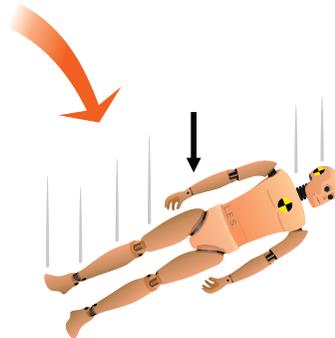


Radioativa



Potencial

Massa em estado de repouso com potencial de queda.



Cinética

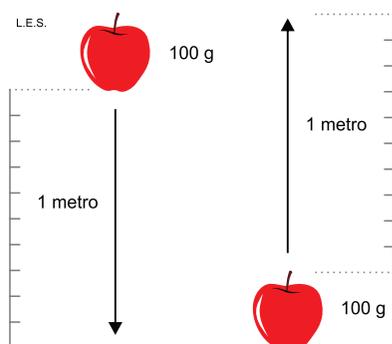
Massa em movimento.

Medida de energia

A unidade de medida adotada pelo Sistema Internacional é o Joule, representando pelo símbolo J (letra maiúscula), que recebeu este nome em homenagem ao físico britânico **James Prescott Joule** (1818 a 1889).

1 J (Joule) equivale a aplicar uma força 1 N (Neuwton) por uma distância de 1 metro, ou seja, equivale a força potencial da queda de uma maçã de 100 g de 1 metro de altura ou a força necessária para essa mesma maçã subir 1 metro.

J



1 Joule (J) é a energia necessária para mover uma massa de 100g por um metro.

O problema para a maioria das pessoas é que os valores em Joules não tem significado, pois não é uma unidade de medida usada cotidianamente fora do meio científico, mas podemos resolver isso oferecendo alguns parâmetros (exemplos) para ter com o que comparar e dimensionar tais valores.

Objetos fora de escala

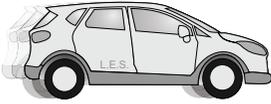
Energia cinética produzida por um ciclista em movimento



Massa de **100 kg** e velocidade de **30 km/h** terá uma energia cinética de aproximadamente **3.500 Joules (J)**.



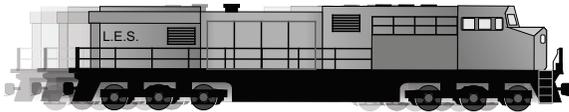
Massa de **100 kg** e velocidade de **60 km/h** terá uma energia cinética de aproximadamente **14.000 Joules (J)**.

Energia cinética produzida por um automóvel em movimento

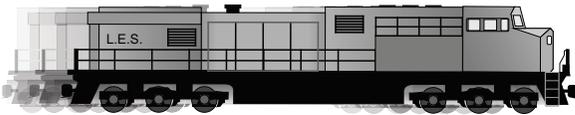
Massa de **1.000 kg** e velocidade de **30 km/h** terá uma energia cinética de aproximadamente **34.500 Joules (J)**.



Massa de **1.000 kg** e velocidade de **60 km/h** terá uma energia cinética de aproximadamente **140.000 Joules (J)**.

Energia cinética produzida por uma locomotiva em movimento

19.000 kg e **30 km/h** terá uma energia cinética de aproximadamente **655.000 J**.



19.000 kg e **60 km/h** terá uma energia cinética de aproximadamente **2.650.000 J**.

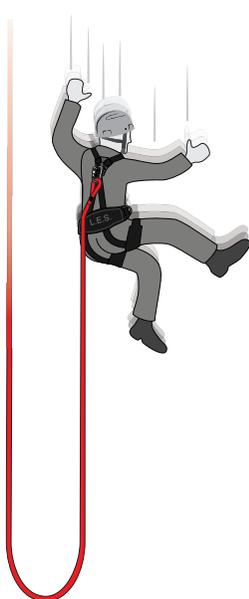
Qual a energia produzida na queda de uma pessoa?

Lembre-se que a energia vai ser determinada pela massa e pela velocidade com que se desloca. Vamos ver três exemplos com a velocidade variada, mas considerando que os três exemplos são da mesma pessoa, que possui uma massa de 100 kg. A resistência do ar foi desprezada nos cálculos.

Observe como a energia quase quadruplica entre o primeiro e o segundo momento de queda por causa da aceleração da gravidade e o aumento da velocidade.



Ilustração fora de escala



ENERGIA CINÉTICA

Massa: **100kg**
 Tempo de queda: **0,5 segundo**
 Velocidade: **4,9 m/s** ou **17 km/h**
 Energia cinética: **1.200 J** aproximadamente.



ENERGIA CINÉTICA

Massa: **100kg**
 Tempo de queda: **1 segundo**
 Velocidade: **9,8 m/s** ou **35 km/h**
 Energia cinética: **4.800 J** aproximadamente.



ENERGIA CINÉTICA

Massa: **100kg**
 Tempo de queda: **2 segundos**
 Velocidade: **19,6 m/s** ou **70 km/h**
 Energia cinética: **19.200 J** aproximadamente.

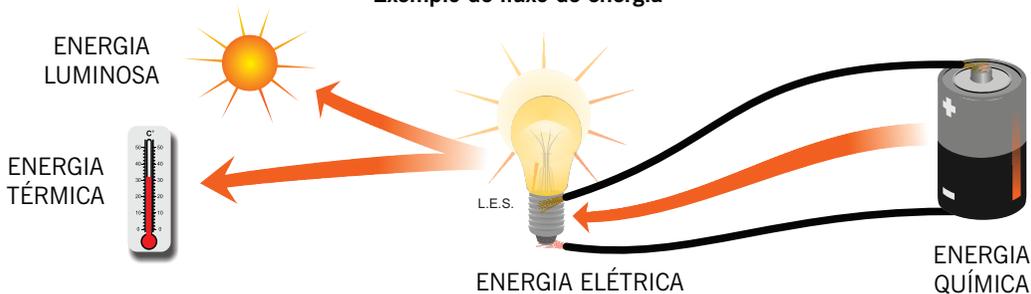
E o que fazer com essa energia?

Na retenção da queda de um trabalhador precisamos absorver e dissipar a energia, para evitar que ele seja submetido às forças que possam machucá-lo ou matá-lo. Vamos ver como isso funciona.

“Na Natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma.”

Frase de Lavoisier, célebre químico francês do século 17.

Exemplo de fluxo de energia



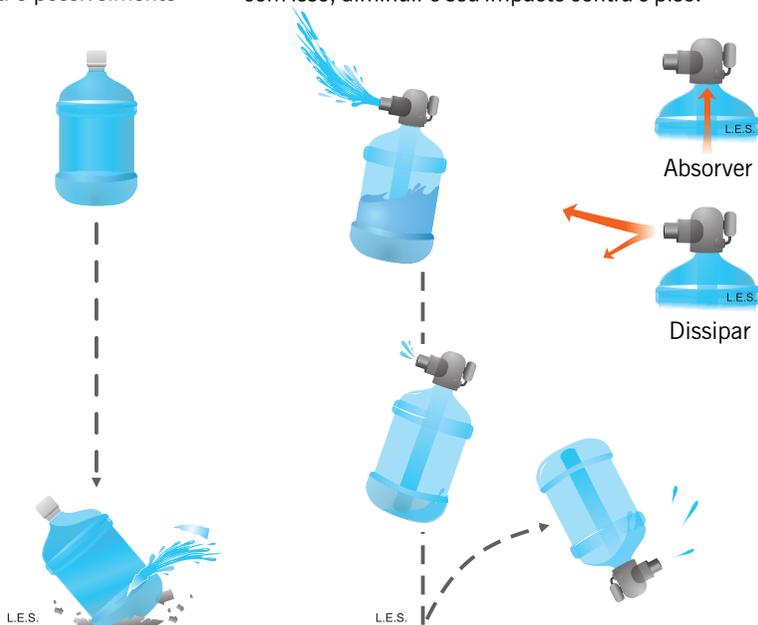
Para compreender o que é a absorção e a dissipação de energia, vamos usar a imaginação.

Temos um garrafão com 20 litros de água que pesa, com a embalagem, 21 kg. Caso ele caia de uma altura considerável, certamente ele se quebrará e possivelmente quebrará o piso.

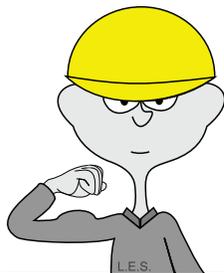
Vamos imaginar que possuímos um dispositivo de segurança que vai drenar a água durante a queda para fazer o garrafão chegar ao chão mais leve e, com isso, diminuir o seu impacto contra o piso.

Atenção

Neste exemplo, considerando uma situação real, a água compõe a massa do corpo, portanto, o corpo estaria perdendo massa ao cair e com isso provocaria uma força de impacto menor. No entanto, estamos usando a imaginação, e, neste exemplo específico, estamos atribuindo a água o papel da energia cinética.



FORÇA !

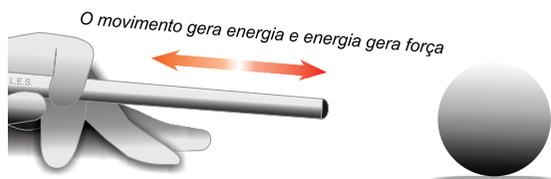


Nada mais cotidiano do que o uso da força muscular, seja ela usada por homens, mulheres, idosos ou crianças. Com a força muscular podemos mover objetos, carregar coisas, empurrar ou puxar algo, amassar uma embalagem e assim por diante. O conceito usado pela ciência se assemelha ao uso da força muscular, mas oferece uma aplicação mais abrangente do que as tarefas do dia-a-dia. A física define FORÇA como qualquer agente que modifica o movimento de um corpo livre ou causa a deformação num corpo fixo (Earth Observatory, Glossary - NASA).

Primeira Lei de Newton

Lei 1: "Todo corpo continua em seu estado de repouso ou de movimento uniforme em uma linha reta, a menos que seja forçado a mudar aquele estado por forças aplicadas sobre ele."

Um jogador de bilhar precisa realizar o movimento certo do seu taco para conseguir o efeito desejado. Ele precisa distanciar o taco para ter espaço para movê-lo com uma certa velocidade em direção a bola.



O taco (massa) com a velocidade adquirida vai gerar energia (cinética) e parte dessa energia vai se transformar em força, cujo trabalho será empurrar a bola.



E começamos a perceber que energia e força estão relacionadas.

N

UNIDADE PARA MEDIR FORÇA

Os brasileiros, no cotidiano, costumam usar o kgf (quilograma força), mas então porque vemos normas e informações de equipamentos em **N** (Newton)? Porque o Newton é a unidade utilizada no Sistema Internacional (SI). Para expressar grandes valores usa-se comumente o **kN** (quilonewton) que equivale 1.000 newtons.



Objetos fora de escala

Força da gravidade



Para cada **100 kg** de massa a gravidade exerce a força de **0,98 kN** ou 100 kgf

O Brasil adota o Sistema Internacional de Medidas que determina o Newton (N) como a unidade para a força, porém, fora dos meios acadêmicos, as pessoas não estão familiarizadas com esta unidade.

A solução para ajudar as pessoas leigas a compreender as grandezas de forças expressas em newton é converter para kgf (quilograma força).

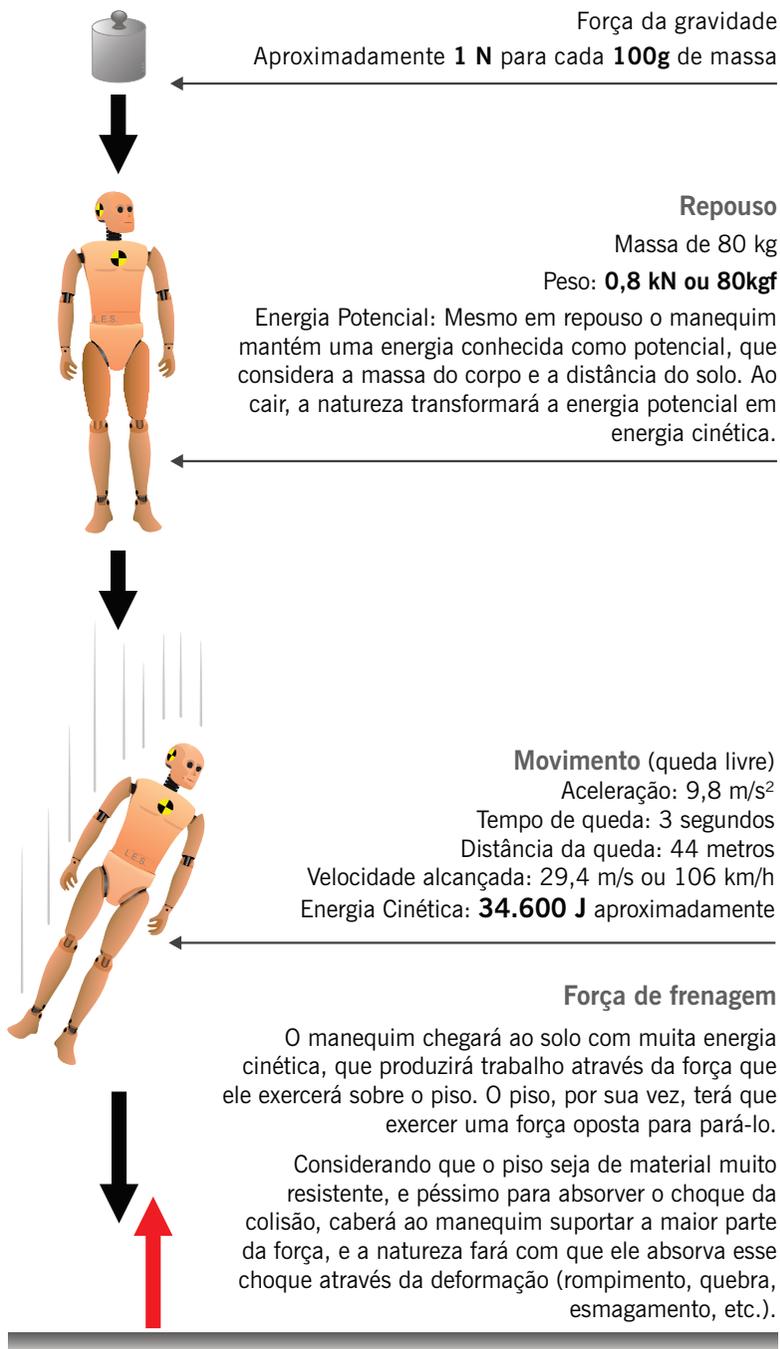
dica

Quando os valores estiverem expressos em **kN** (quilonewton) acrescente dois zeros para chegar a um valor aproximado em **kgf** (quilograma força). Vamos exercitar com o valor de resistência dos equipamentos acima?

Corda com resistência de	35 kN ou 3500 kgf
Conector com resistência de	25 kN ou 2500 kgf
Polia com resistência de	36 kN ou 3600 kgf
Cinta de ancoragem de	22 kN ou 2200 kgf

Atenção: esta conversão oferece valores aproximados em kgf. Para o cálculo exato deve-se usar o valor real da aceleração da gravidade que é $9,8 \text{ m/s}^2$ (valor médio adotado pela Física).

A FORÇA EM AÇÃO





Afinal?! Qual a relação entre energia e força?

Não é fácil entender porque começamos falando em energia e, no entanto, terminamos sempre nos referimos aos resultados dimensionados em Força. Pois bem, vamos tentar compreender esta relação.

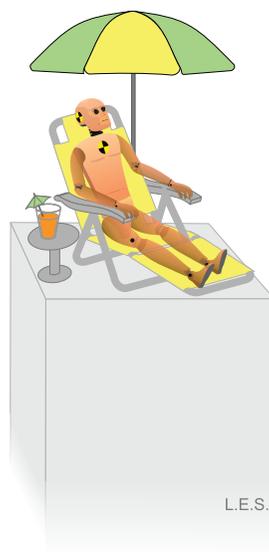
Tudo está relacionado a energia. O importante é saber que as consequências da queda livre de uma pessoa está na quantidade de energia que será gerada ao longo do movimento e também ao interrompê-lo. Nós não podemos ver a energia cinética, mas podemos perceber o que ela produz, que é o que a física chama de Trabalho. Perceberemos a quantidade de energia envolvida no momento final da queda através da intensidade da força resultante, que poderá provocar imperceptíveis, moderadas ou extraordinárias alterações no meio ambiente, nos componentes do sistema e no corpo do trabalhador. Alterações essas que podem ser de destruição e morte.

Os projetistas utilizarão cálculos para mensurar as energias envolvidas na dinâmica de um sistema de proteção contra quedas de altura, e com isso planejar a solução mais segura, no entanto, será em um laboratório, através de um dinamômetro, que a força resultante será medida e avaliada, e através desse resultado será definido se o sistema atua dentro ou fora dos limites de segurança.

Vaje a ilustração na próxima página.

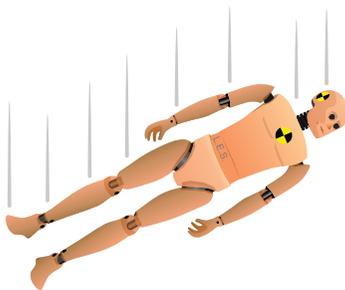
Energia Potencial

Presente na massa em estado de repouso. Ela é calculada considerando a massa e a distância do solo.



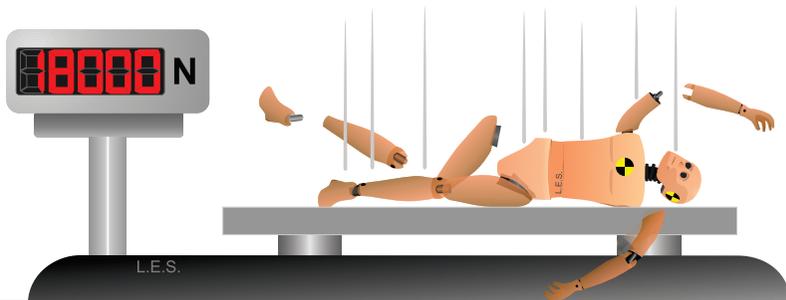
Energia Cinética

Presente na massa em movimento. Ela é calculada considerando a massa e a velocidade de deslocamento.



Força

É uma das formas da energia se transformar em Trabalho.



FORÇA G. Conhecida por causa dos pilotos e dos astronautas mas que também afeta outros profissionais.



O que leva a Força G a ser conhecida fora do círculo científico, normalmente, é o trabalho de divulgação feito pelos programas espaciais ou os documentários sobre a aviação militar. Um astronauta ou um piloto da aviação de caça experimentam grandes acelerações, que geram sobre os seus corpos efeitos muito maiores do que a ação da gravidade, chegando a limites que as pessoas normais não suportariam.

Já vimos que a retenção da queda de um trabalhador pode ter efeitos destruidores sobre o corpo humano, e veremos agora que não é apenas pela Força de Frenagem, também conhecida como Força de Impacto, mas também por causa da Força G.

O que é a Força G?

Embora seja chamada de força, alguns autores a define como uma força fictícia ou força aparente, pois ela é na verdade o efeito de agentes como a inércia, que veremos a seguir, e também das forças centrífuga e centrípeta, que, como exemplo, agem dentro da máquina de lavar roupa quando o tambor interno gira com velocidade para eliminar o excesso de água (centrifugar).

A Força G é percebida quando o carro em que estamos freia bruscamente e temos a sensação de que uma força nos está puxando para frente, ou quando o carro faz uma curva fechada com muita velocidade e parece que estamos sendo empurrados para o lado oposto. Na realidade, não há uma força nos puxando ou empurrando, seja para frente, para trás ou para os lados, pois o que existe é o efeito da inércia em todos os casos e, em alguns, também o efeito das forças centrífuga e centrípeta. Para simplificar a abordagem do tema vamos manter o foco na inércia.

O símbolo da Força G é ***g*** (minúsculo e itálico).

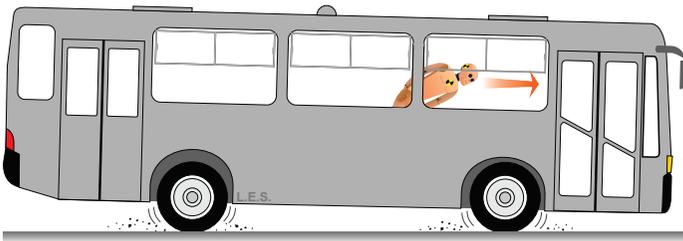
O que é inércia?

Conhecida como princípio da inércia, a primeira lei de Newton afirma: *Todo corpo continua em seu estado de repouso ou de movimento uniforme em uma linha reta, a menos que seja forçado a mudar aquele estado por forças aplicadas sobre ele.*

Em outras palavras, todo corpo que possua massa tende a ficar como está, ou seja, se está parado, continuará parado, se está em movimento, continuará em movimento, se está numa trajetória, continuará na mesma trajetória, até que algo mude isso.

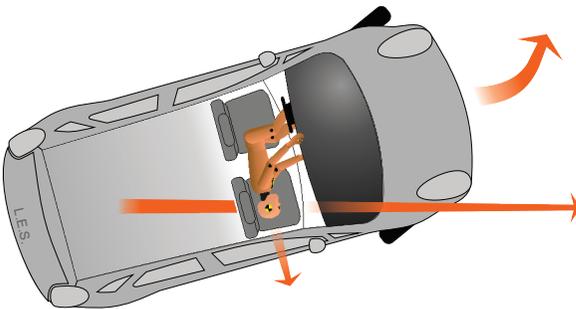
Vejamos alguns exemplos:

Um ônibus com passageiros, a 40 km/h (11 m/s), freia bruscamente.



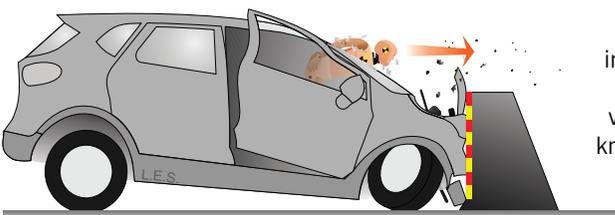
O ônibus irá parar, mas o corpo das pessoas que estão dentro do ônibus tendem a manter a velocidade de 40 km/h, e a sensação percebida por elas será de uma força as jogando para a frente do veículo.

Um carro em alta velocidade faz uma curva fechada.



O corpo da pessoa que está dentro do carro manterá a trajetória reta em que o veículo estava. Portanto, num primeiro momento, a inércia provocará a sensação do corpo da pessoa ser empurrado para o lado oposto da curva. Durante o deslocamento em curva, as forças centrífuga e centrípeta agirão sobre o corpo da pessoa gerando também a Força G.

Um carro bate em um obstáculo a 60 km/h (17m/s).

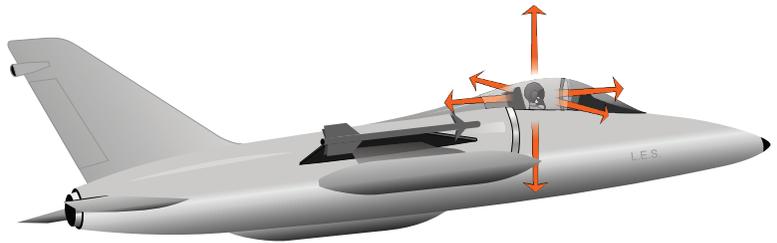


O veículo irá parar quase que instantaneamente, no entanto, o corpo do motorista continuará na trajetória e na velocidade do carro, que no caso é de 60 km/h, chocando-se contra o que estiver na frente, como o cinto de segurança, o volante, o painel ou o pára-brisa.

A Força **G** (**g**) e a força da **Gravidade**, em algumas situações, podem ser indistinguíveis, pois a Força **G** (**g**) considera o valor da aceleração de $9,8 \text{ m/s}^2$, que é quase a aceleração da gravidade, cujo valor varia entre de $9,789 \text{ m/s}^2$ no equador, até $9,823 \text{ m/s}^2$ nos pólos. Portanto, quando dimensionamos a Força **G** (**g**), estamos fazendo uma equivalência com a força gravitacional (força peso). Quando dizemos que uma pessoa foi submetida a 2 g , significa que ela teve que suportar uma força equivalente a duas vezes o peso do seu corpo.

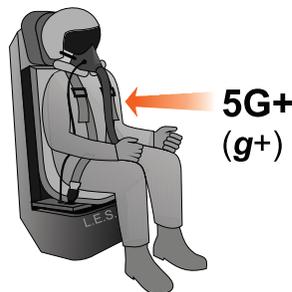
Embora haja essa equivalência entre elas, há uma diferença importante entre as duas que é o sentido em que atuam. A força gravitacional atua sempre no sentido vertical, sempre em direção ao centro do planeta, e a chamada Força **G** (**g**) pode atuar também no sentido horizontal. Vejamos um exemplo importante.

A força G pode atuar no sentido vertical, como a força da gravidade, mas também em qualquer outro sentido.



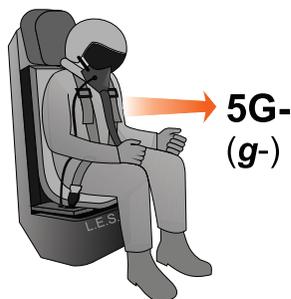
Aviação de caça

Vamos usar como exemplo a aviação de caça, pois os jatos supersônicos, além de voarem em altas velocidades, oferecem enorme possibilidade de manobras, as quais submetem os pilotos a acelerações de várias intensidades e direções.



Aceleração horizontal

Numa decolagem em um porta aviões, um jato super-sônico acelera de 0 km/h a 270 km/h em aproximadamente 100 metros. O piloto sente sobre o corpo dele uma aceleração equivalente a cinco vezes o seu peso.



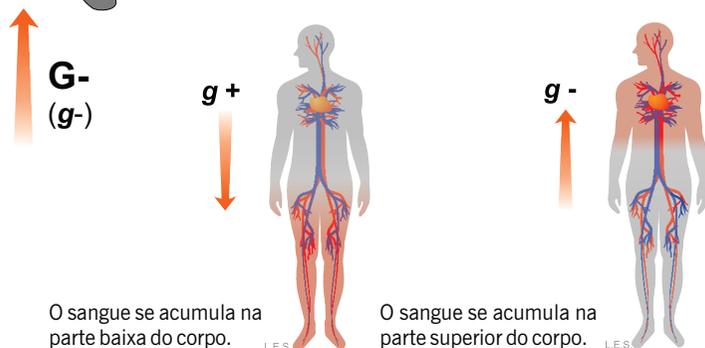
Ao retornar ao porta aviões o piloto enfrenta no pouso os mesmos 5 g , no entanto, por causa do sentido da aceleração negativa, ou desaceleração, os efeitos são mais desconfortáveis, e até mais severos.

Aceleração vertical



Em $g+$, que ocorre em uma subida em aceleração, o piloto sente como se estivesse sendo pressionado contra o assento, e como efeito dessa aceleração o sangue pode se acumular na parte baixa do corpo e afetar o funcionamento dos órgãos superiores. A perda de consciência é o primeiro sintoma grave.

Em $g-$, que ocorre em um mergulho em aceleração, o piloto se sente pressionado contra o sistema de cintos e o volume de sangue do corpo tende a se acumular na parte de cima do corpo podendo romper vasos sanguíneos dos olhos, entre outras consequências.

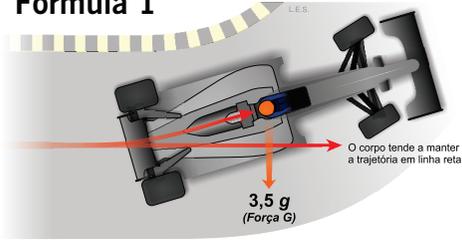


O sangue se acumula na parte baixa do corpo.

O sangue se acumula na parte superior do corpo.

Pilotos em situação de combate podem enfrentar acelerações acima de 10 g em intervalos pequenos de tempo. Pessoas não preparadas podem perder a consciência em voo com acelerações a partir de 3 g . O corpo humano apresenta tolerâncias diferentes em relação ao sentido da aceleração, sendo o eixo longitudinal (da cabeça a bacia) o sentido em que organismo oferece a maior tolerância.

Fórmula 1



Em corridas de Fórmula 1, um piloto pode enfrentar até **3,5 g** em curvas de alta velocidade, o que significa sentir sobre o seu corpo o equivalente a três vezes e meia o seu peso corporal, agindo como se uma força o estivesse empurrando para o lado oposto da curva. E os efeitos dessa aceleração sobre o organismo pode prejudicar a visão e fazê-lo errar a trajetória. O piloto sente a aceleração sobre as pernas, o quadril, mas principalmente sobre o pescoço. Isso exige que os pilotos tenham uma preparação especial para as competições, fortalecendo em especial os músculos do pescoço.

Paraquedismo

Utilizando o paraquedismo como outro exemplo, abaixo é apresentado um gráfico com informações de um salto real, que mostra como foi o processo de aceleração do paraquedista, a estabilização da velocidade por causa da resistência do ar e, principalmente, o momento da desaceleração.

Veja que a parte azul do gráfico mostra que em **22 segundos** o paraquedista acelerou de **0 a 50 m/s** (180 km/h) e a parte amarela mostra que ele desacelerou em **6 segundos** de **50 m/s a 8m/s** (29 km/h). Nessa desaceleração o paraquedista pode enfrentar de 3 a 4 g, o equivalente a três ou quatro vezes o seu peso corporal.

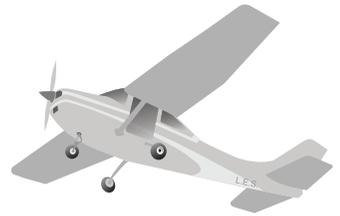
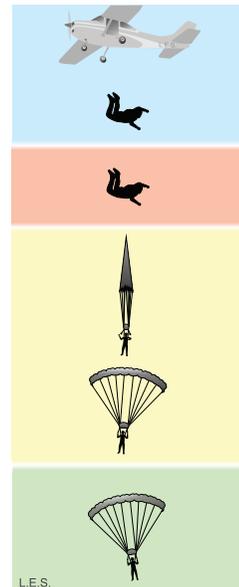
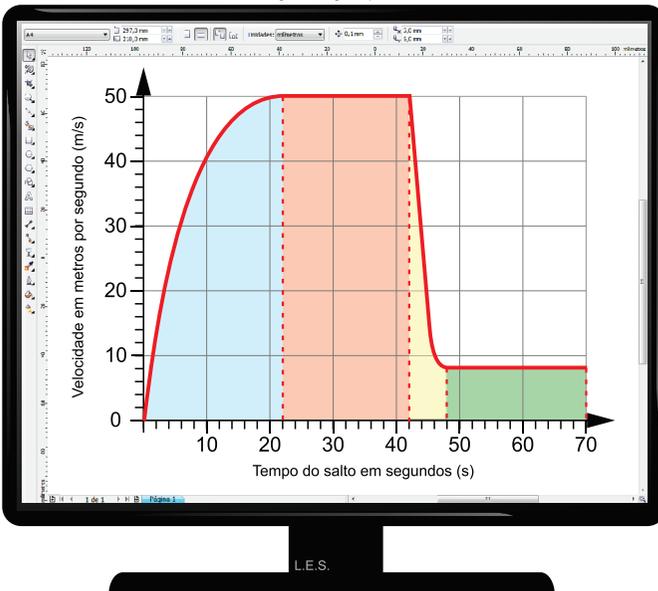
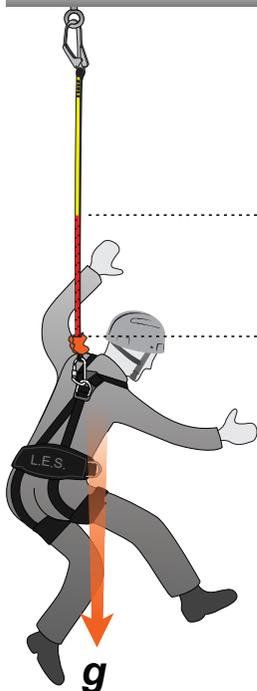


Gráfico baseado no trabalho de Helder F. e Paula. Gráfico com informações sobre um salto de paraquedas. Fonte do gráfico original: ponto ciência



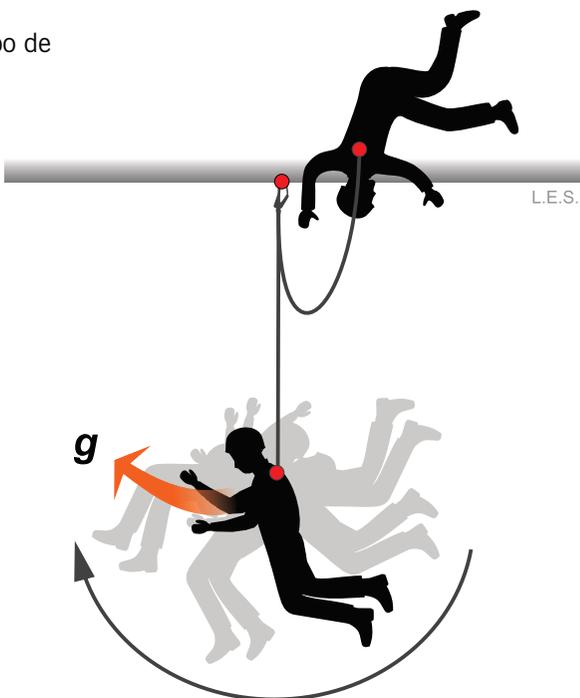


E daí?! Eu não sou piloto de aviões supersônicos ou de carros de Fórmula 1!



Espaço e tempo de desaceleração.

Sim, mas veremos nos próximos capítulos que reter a queda de uma pessoa não basta para garantir que ela não se machuque. A maneira como vamos pará-la determinará a sua segurança. E a palavra chave para isso é **DESACELERAÇÃO**. E na desaceleração de um trabalhador teremos o efeito da inércia chamada de Força **G** (g).



Embora faça parte do conjunto de ensaios do cinturão de segurança a queda com o manequim na posição cabeça para baixo, uma queda real nesta condição pode provocar uma aceleração além dos limites de tolerância do corpo do trabalhador. Isso acontece porque no momento da retenção da queda o corpo enfrentará um giro com grande aceleração.

No ano de 2003, o engenheiro Harry Crawford realizou um estudo encomendado pela Health and Safety Executive (órgão da Inglaterra responsável pela saúde e segurança do trabalho), sobre as forças de impacto sobre o corpo de um trabalhador amparado por um cinturão de segurança. Veja alguns dados sobre a Força G (**g**):

Considerando o uso do absorvedor de energia, que tem a função de desacelerar a queda, e projetado para gerar sobre o corpo do trabalhador uma força máxima de 6 kN, Harry Crawford apresenta os seguintes valores de aceleração:



Uma mesma força, como o 6 kN, aplicada sobre diferentes pessoas, não terá o mesmo efeito sobre o corpo, pois a massa é um referencial para a Força G. Um trabalhador com 100 kg de massa submetido a 600kgf sofrerá o equivalente a 6 vezes o seu peso corporal como Força G. Com os mesmo 600 kgf, um trabalhador com 50 kg de massa será submetido a uma Força G equivalente a 12 vezes o peso do seu corpo.

RESUMO

As principais grandezas para o nosso tema são: **massa** (kg - quilograma); **peso** (kgf - quilograma força ou kN - newton); **energia** (J - joule); **força** (kN - quilonewton).

Massa é quantidade de matéria.

Peso é a ação da gravidade sobre a massa.

Aceleração é a taxa de alteração da velocidade.

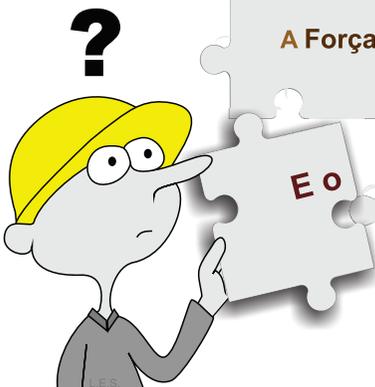
A **Energia** é definida como algo que pode produzir uma ação ou um trabalho.

A **Força** é uma forma da energia se transformar em trabalho.

A **Força G** é um efeito da aceleração.

E o que eu faço com tudo isso?!

L.E.S.



capítulo 2

Como parar a queda de um trabalhador com segurança

Eu sei que o título do capítulo pode parecer estranho, mas nas páginas seguintes veremos que apenas parar a queda de uma pessoa não basta.

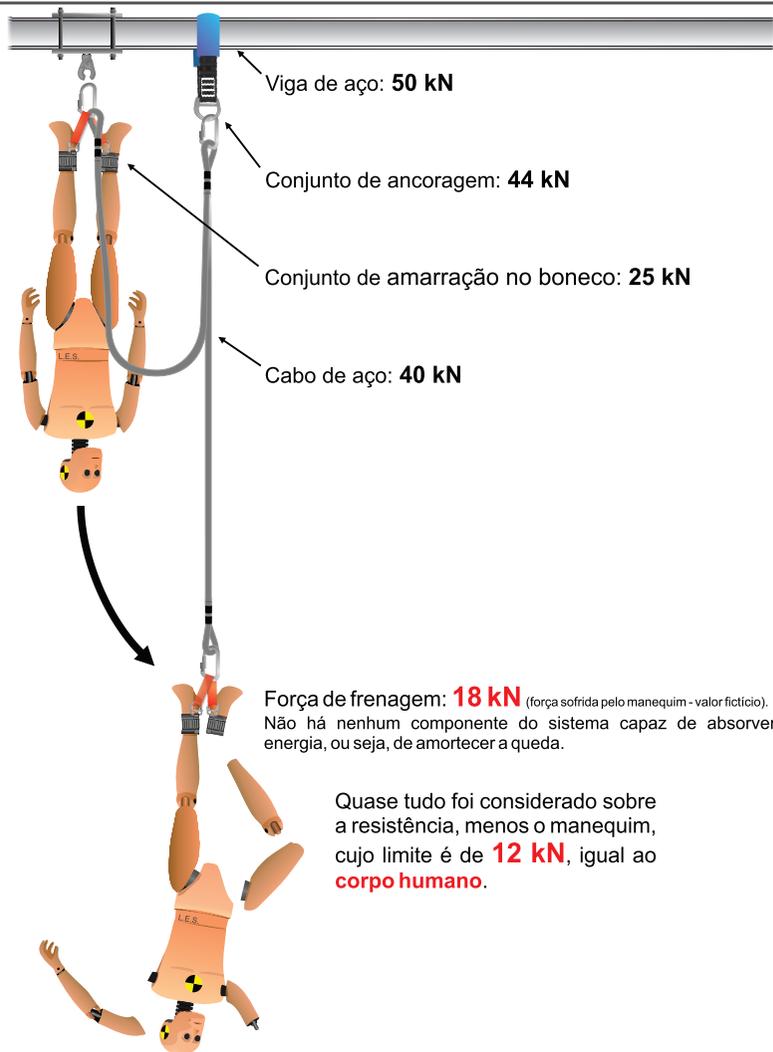


Pensamento do nosso personagem: " Porque não usaram o manequim?!!!!!! "
Resposta: Por que é apenas um sonho.



ENTÃO?!

Já sei! Vou montar um sistema para parar a queda do trabalhador feito somente de peças muito fortes!



Força de frenagem: **18 kN** (força sofrida pelo manequim - valor fictício).
 Não há nenhum componente do sistema capaz de absorver energia, ou seja, de amortecer a queda.

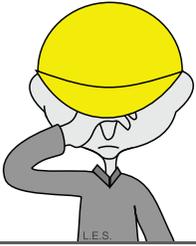
Quase tudo foi considerado sobre a resistência, menos o manequim, cujo limite é de **12 kN**, igual ao **corpo humano**.



No capítulo anterior descobrimos que a energia, em suas várias formas, pode produzir grandes trabalhos que incluem, além de benefícios a vida humana, infelizmente, também a desagradável capacidade de destruição através da força. E muita energia gera muita força!

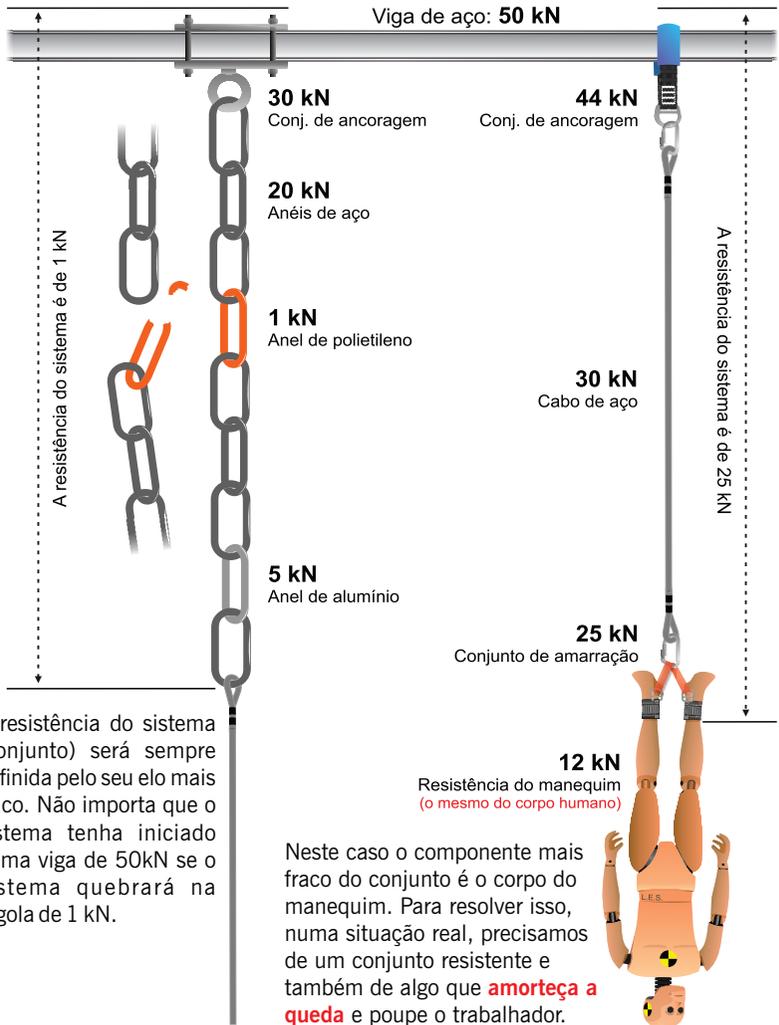
Um trabalhador, ao enfrentar uma queda livre entre um nível superior e um inferior e ao ser amparado por um sistema de segurança ou alcançar o piso, utilizando da mais formal e precisa terminologia técnica e científica, vai gerar uma baita “pancada” sobre o sistema e sobre seu corpo! Então? O que podemos fazer?

Ainda sobre a resistência do sistema.



O ensaio anterior foi um desastre! Mas a culpa não foi da escolha dos equipamentos ou da montagem do conjunto. O ensaio deu errado porque faltou um recurso no sistema que protegeria o manequim ou, numa situação real, pouparia o corpo do trabalhador de forças muito perigosas. Nas páginas seguintes abordaremos esse componente que falta, mas no momento, vamos continuar aprendendo sobre a resistência de sistemas projetados para amparar a queda de uma pessoa.

Em um conjunto com vários componentes diferentes, qual será a resistência do sistema?

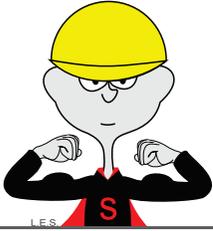


A resistência do sistema (conjunto) será sempre definida pelo seu elo mais fraco. Não importa que o sistema tenha iniciado numa viga de 50kN se o sistema quebrará na argola de 1 kN.

Neste caso o componente mais fraco do conjunto é o corpo do manequim. Para resolver isso, numa situação real, precisamos de um conjunto resistente e também de algo que **amorteça a queda** e poupe o trabalhador.

O CORPO HUMANO SUPORTA 12 kN

Isso quer dizer que eu posso ser colocado numa prensa com 1.200 quilos de força?!



Não!!!! Você será esmagado e não sobrar muito para devolver a família! Esse limite de força poderá ser suportado por um ser humano em uma fração pequena de tempo, durante uma aceleração (alteração de velocidade).

Se você for um jovem militar saudável, com um bom condicionamento físico, amparado com um modelo de cinturão específico para paraquedismo e desacelerado pela abertura do seu paraquedas, estará tudo bem. No entanto, caso você não se encaixe plenamente nesse perfil, é aconselhável limitar essa força a um valor menor, pois certamente o seu corpo não terá a mesma tolerância.

Como se chegou a esse valor?

Na década de 40, com a segunda guerra mundial acontecendo, países como Estados Unidos, Inglaterra e Alemanha estavam desenvolvendo novas tecnologias aeronáuticas, que incluíam aviões com uma capacidade muito maior de propulsão. Essas novas tecnologias trouxeram problemas a serem considerados, como os limites de resistência do corpo humano as ações da aceleração, seja no aumento ou na diminuição da velocidade. Isso implicava saber se um piloto suportaria a aceleração no momento, por exemplo, de ser ejetado para fora da aeronave e também se aguentaria a desaceleração no momento em que o paraquedas automático se abrisse.

Para esses limites de força do corpo humano foram feitos testes com animais, colunas vertebrais de cadáveres humanos e até mesmo com um famoso pesquisador e voluntário da Força Aérea Americana, o coronel John Stapp, que em um dos testes de desaceleração quase perdeu os globos oculares (olhos), e esse “quase” provocou problemas permanentes de visão, além de outros tipos de lesão no corpo.

O resultado dessas pesquisas foi determinar que o corpo humano suporta, num intervalo pequeno de tempo, no máximo **12kN**, porém, pessoas em condições físicas e de saúde abaixo do ideal, e o próprio envelhecimento do corpo, as tornam menos resistentes.

E os tais 6 kN?

Com base na tolerância de 12 kN para condições muito favoráveis, e considerando também que vários fatores como condicionamento físico, estado de saúde e idade podem tornar uma pessoa menos resistente a essas forças, a União Europeia determinou um valor máximo **6 kN** de força de frenagem (força gerada na retenção da queda) para fins de projeto, fabricação, ensaio e certificação de equipamentos de retenção de queda de trabalhadores.

Fatores que interferem na tolerância do corpo aos efeitos da força e da aceleração.

Condicionamento físico



Saúde



Idade

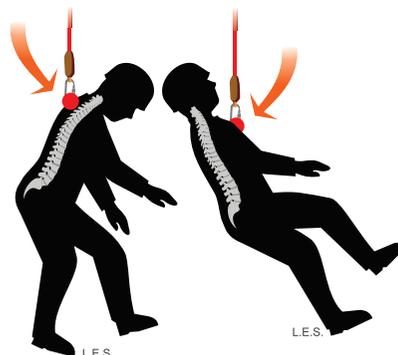


Posição do corpo na retenção da queda



O cinturão (arnês) para a prática de paraquedismo favorece a maior tolerância do corpo a força de frenagem e a desaceleração, pois garante que o esforço seja aplicado na posição em que a coluna vertebral é mais resistente.

Além da força de frenagem e os efeitos da desaceleração sobre a coluna vertebral, a posição dos elementos de engate do cinturão para trabalhadores pode provocar a flexão da coluna no momento da retenção da queda.



Os 6 kN no Brasil

As normas técnicas brasileiras da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) de 2010 sobre equipamentos de segurança para proteção contra quedas de altura, incorporou este mesmo padrão de **6 kN**. Isto significa que para **alguns** equipamentos de proteção individual destinados aos trabalhos em altura conseguirem a certificação por organismo acreditado pelo INMETRO e o Certificado de Aprovação (CA) do Ministério do Trabalho, devem ser testados em laboratório para comprovação de que podem reter a queda de uma pessoa gerando sobre o corpo dela no máximo **6 kN**, dentro das condições impostas pelas normas técnicas para os ensaios de equipamentos.



E como essas forças podem me machucar?

Devemos lembrar que qualquer agente que afete o nosso corpo, como gases, eletricidade, calor, frio e força, entre outros, causará efeitos proporcionais a três fatores básicos. São eles:

Fatal
Perigoso
Controlável
Inofensivo



Intensidade

Qual o grau de toxicidade, potência e etc. No caso em questão, quanto de força ou de aceleração é aplicada.



Tempo de exposição

Expor-se ao sol é bom e necessário, mas em demasia prejudica a saúde. Os valores de tolerância do corpo humano a força e a aceleração dependem do tempo de exposição.



Sensibilidade individual

Já sabemos que o condicionamento físico, a idade e a saúde são fatores que interferem na tolerância do corpo a força e a aceleração.

A Biomecânica, que é o estudo da mecânica dos seres vivos, apresenta vários e graves efeitos da força e da aceleração sobre o organismo humano. Abaixo são apresentados alguns exemplos com o objetivo de fazer um alerta sobre os riscos de reter uma queda de forma inadequada.



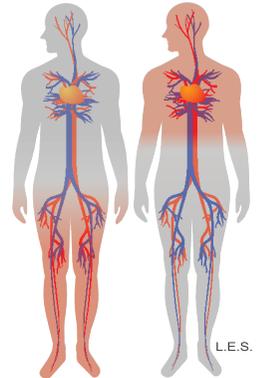
L.E.S.



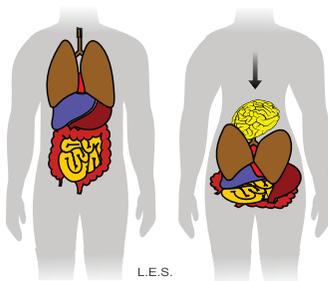
A força provocada pela retenção da queda pode prejudicar a coluna vertebral de muitas maneiras, dependendo do sentido da força, da intensidade e do local afetado.



O sangue pode se acumular em partes do corpo e provocar o rompimento de vasos sanguíneos.



L.E.S.

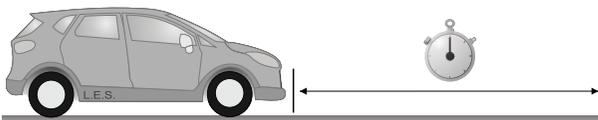


L.E.S.

Os órgãos internos do corpo humano podem ser gravemente afetados pela desaceleração (aceleração negativa), podendo ser rompidos ou, em situações extremas, até mesmo explodir por causa da vibração e ressonância provocados pela aceleração.

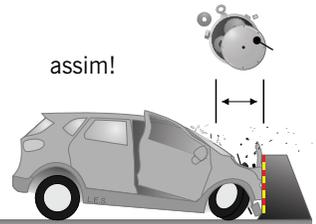
O importante é:

Se a pessoa vai parar assim, ou...



L.E.S.

assim!

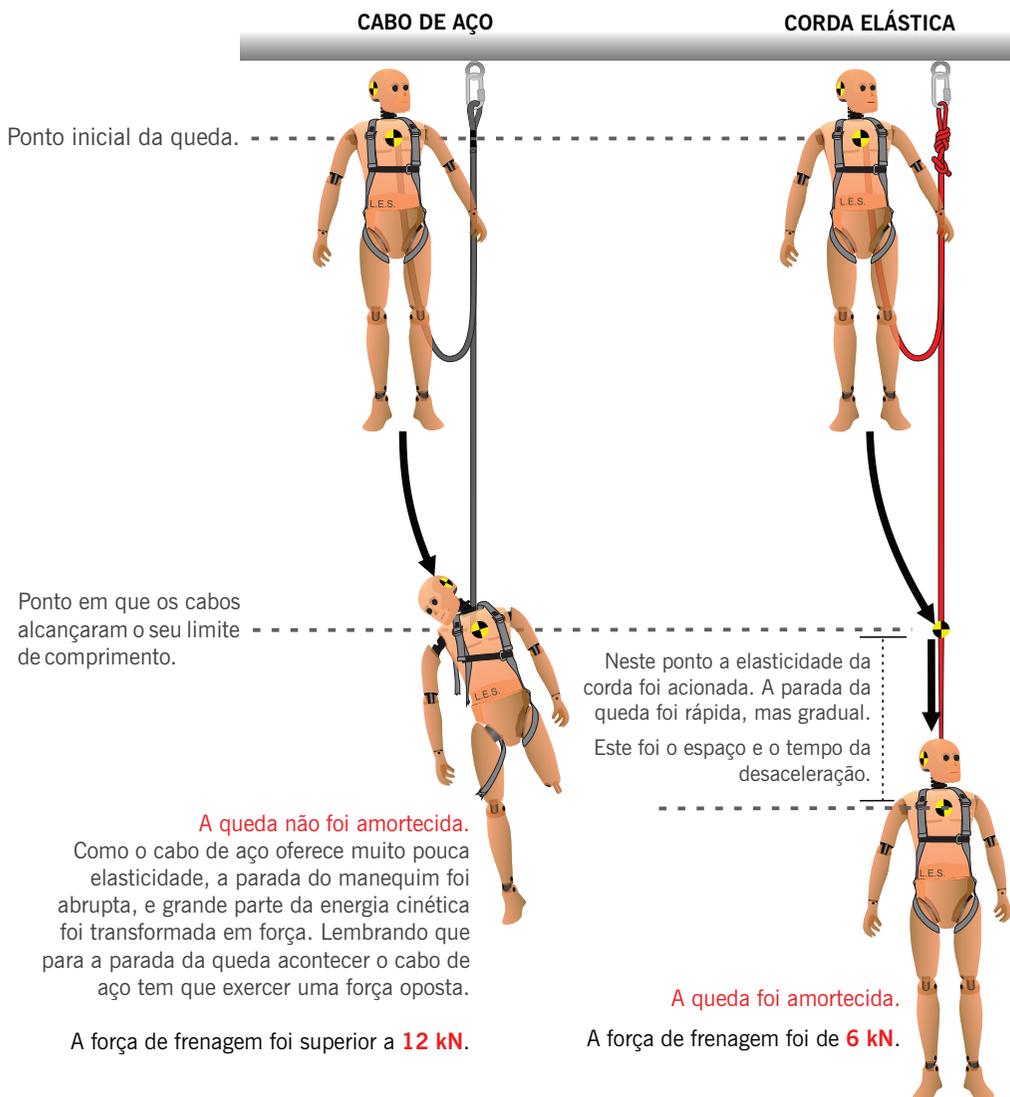


L.E.S.

A palavra de ordem é **DESACELERAÇÃO!**

Nas páginas seguintes vamos mencionar muitas vezes a absorção de energia e a desaceleração, mas em termos mais simples, o que precisamos incluir num sistema de proteção contra queda é uma forma de amortecer a queda para que o trabalhador não se machuque. É como sabermos que o corpo em queda livre vai ser parado pelo chão, mas temos que escolher se a superfície será um piso de concreto ou uma pilha de colchões.

No exemplo abaixo montamos dois sistemas, sendo o primeiro com um cabo de aço, que fará o papel do piso de concreto e o segundo sistema com uma corda elástica que fará a função da pilha de colchões.



SISTEMAS COMUNS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL

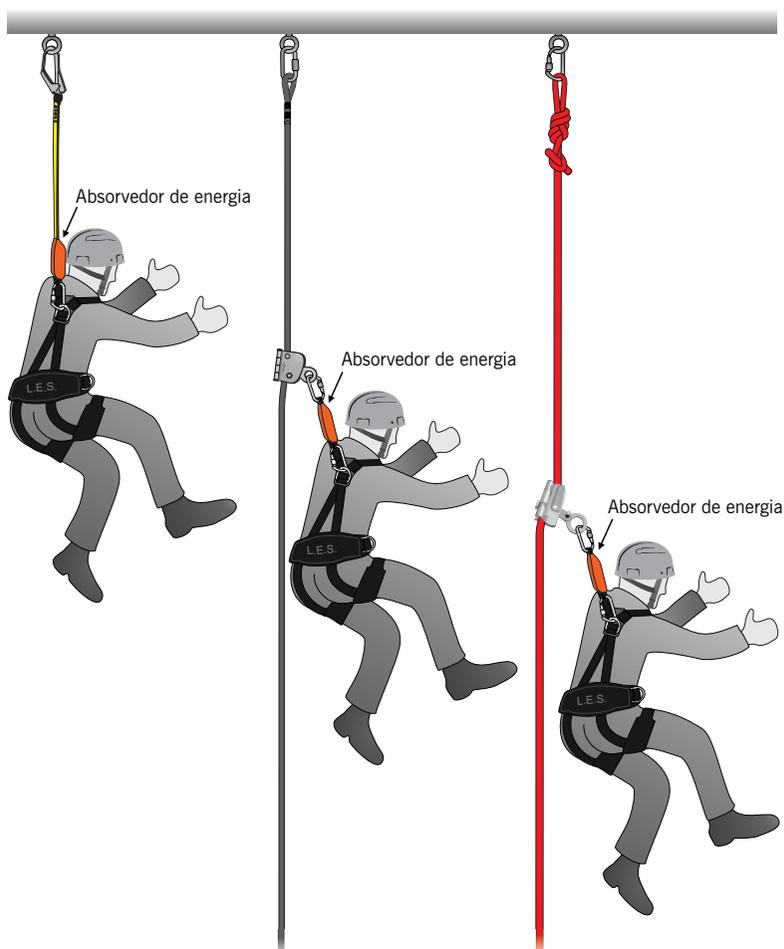
No planejamento, instalação e uso dos sistemas de proteção contra quedas, devemos considerar se o dimensionamento será para uma ou mais pessoas.

Abaixo são apresentados os sistemas mais comuns para parar uma eventual queda de um trabalhador, dimensionados para a carga de uma pessoa, e com algum recurso de amortecimento da queda.

TALABARTE COM
ABSORVEDOR DE
ENERGIA

TRAVA QUEDAS EM CABO DE
AÇO COM ABSORVEDOR DE
ENERGIA

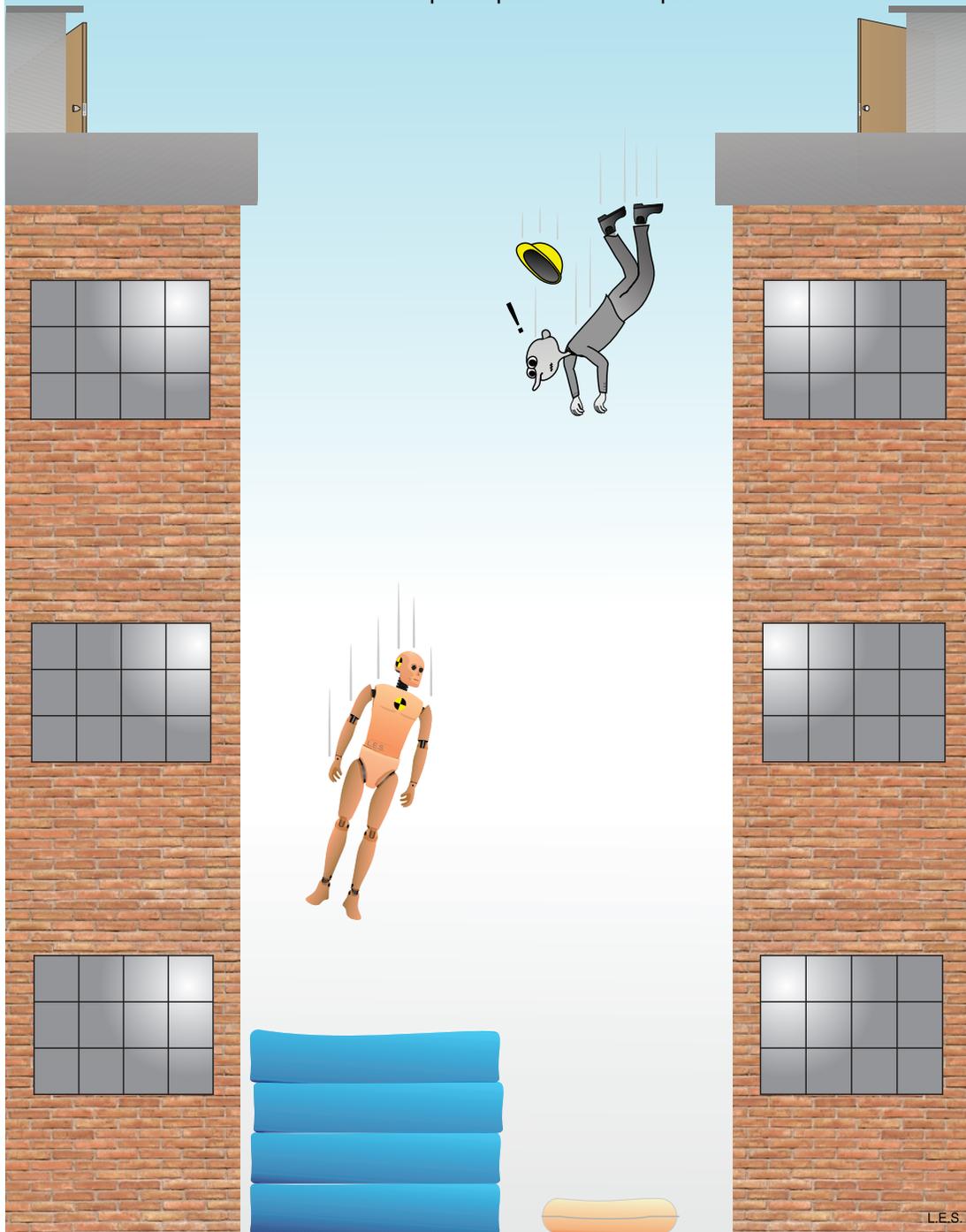
TRAVA QUEDAS EM CORDA

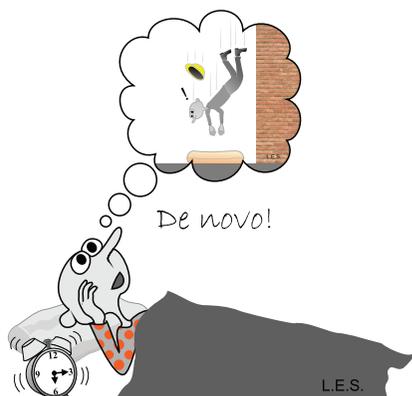


capítulo 3

Fator de queda

A proporção de quanto você está caindo para o quanto de material há para parar a sua queda.





FATOR DE QUEDA

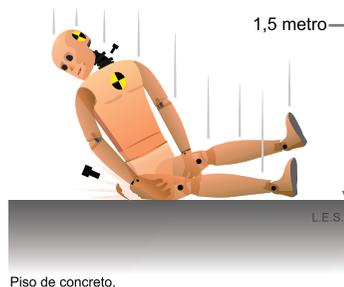
Agora que o nosso personagem despertou do seu sonho ruim, vamos continuar aprendendo sobre a maneira segura de protegê-lo de uma queda acidental.

Já abordamos alguns dos fatores envolvidos na retenção de uma queda, percebemos que o conjunto que irá parar a queda de uma pessoa precisa ser montado com itens de grande resistência, já alertamos sobre a necessidade do sistema ter uma forma de amortecer a parada e também o limite de 6 kN para que não haja o risco do trabalhador se machucar na desaceleração.

Outro item importante a acrescentarmos nesta lista é o tal fator de queda.

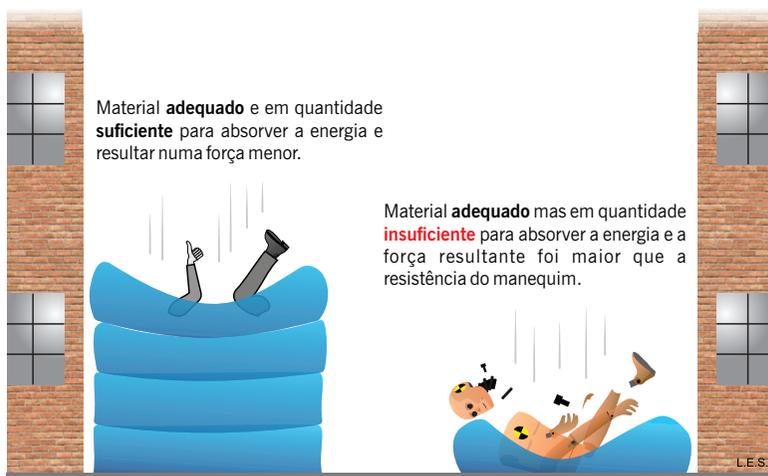
Já sabemos que a escolha do material que deterá a queda do trabalhador é essencial para a segurança dele.

Para uma pessoa, a ausência de um sistema que amortecia a queda pode ter consequências trágicas, mesmo que seja de uma pequena altura.



Mas como alguém disse um dia, tudo é relativo!

Veja o exemplo: O material e a altura da queda são os mesmos, no entanto, o resultado é muito diferente!



Neste capítulo estamos descobrindo que alguém pode sofrer uma queda de 1 metro com consequências trágicas e outra pessoa cair de 30 metros de altura, e toda satisfeita com a experiência pagar para cair de novo! Então, é o conjunto de fatores que somados vão determinar se a queda de um trabalhador terminará bem ou de forma trágica.



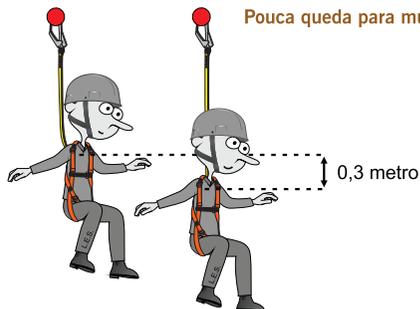
Legal! Mas eu não tenho colchões no trabalho!

É fato! Os equipamentos que dispomos no ambiente de trabalho para reter uma queda são outros. Vamos ver como o fator de queda se aplica a eles?

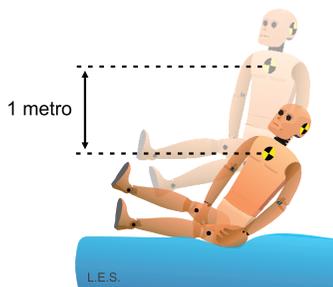
Como exemplo, vamos considerar um talabarte sem absorvedor, que não deve ser usado para retenção de quedas, no entanto, ele servirá neste momento para fazer uma analogia com os colchões. Este equipamento tem uma capacidade muito limitada de absorver energia, pois conta apenas com a elasticidade das fibras de poliamida ou poliéster do qual alguns modelos são feitos.

Com mais imaginação do que ciência, vamos fazer uma comparação entre as duas situações.

Neste primeiro exemplo o trabalhador conectou o talabarte em um ponto de ancoragem acima dele, deixando-o quase esticado, com uma pequena folga de 30 cm. O trabalhador caiu estes 30 cm sendo amparado por um talabarte de 1m. Pouca queda e muito colchão.

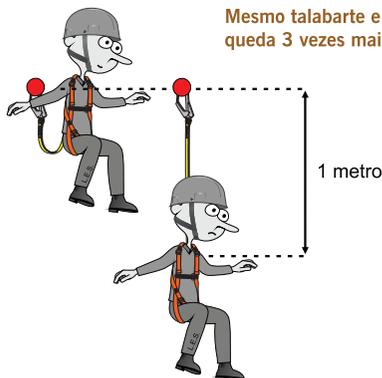


Pouca queda para muito talabarte e muito colchão.

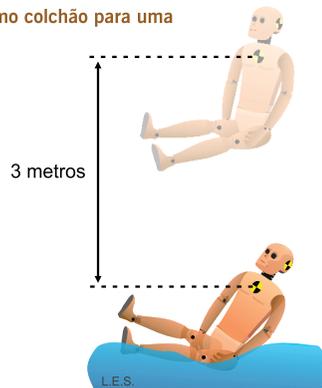


Neste segundo exemplo o trabalhador instalou o talabarte em um ponto de ancoragem que está na mesma altura da conexão do cinto. Ele caiu 1 metro que é o comprimento do talabarte em uso.

O problema está no fato do colchão e o do talabarte continuarem sendo os mesmos, mas a queda ser 3 vezes maior. O amortecimento da queda não terá a mesma eficiência.

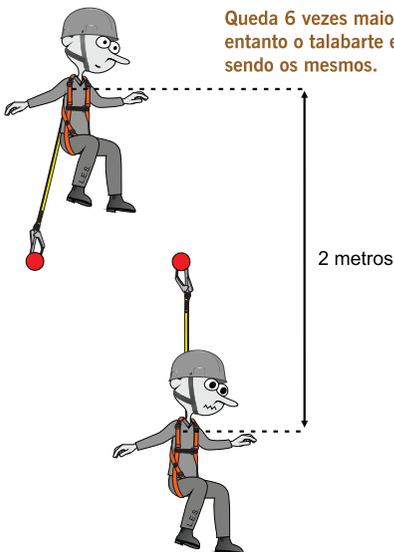


Mesmo talabarte e mesmo colchão para uma queda 3 vezes maior!

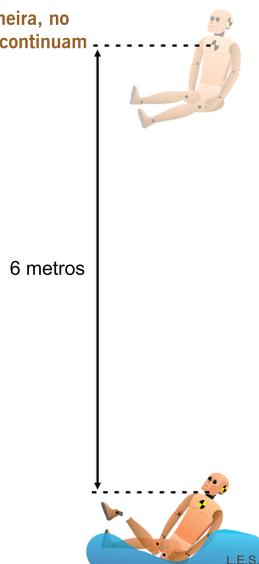


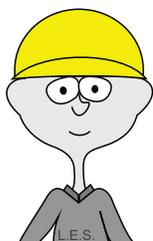
Neste último exemplo, pelo fato do trabalhador ter instalado o talabarte em um ponto de ancoragem abaixo dele, ele caiu o máximo que este tipo de situação permite, ou seja, o dobro do comprimento do talabarte, que neste caso é de 2 metros, e é proporcionalmente seis vezes maior que a primeira queda.

Muita queda para pouco colchão, e dependendo do material o trabalhador não será poupado de uma força perigosa sobre o seu corpo.



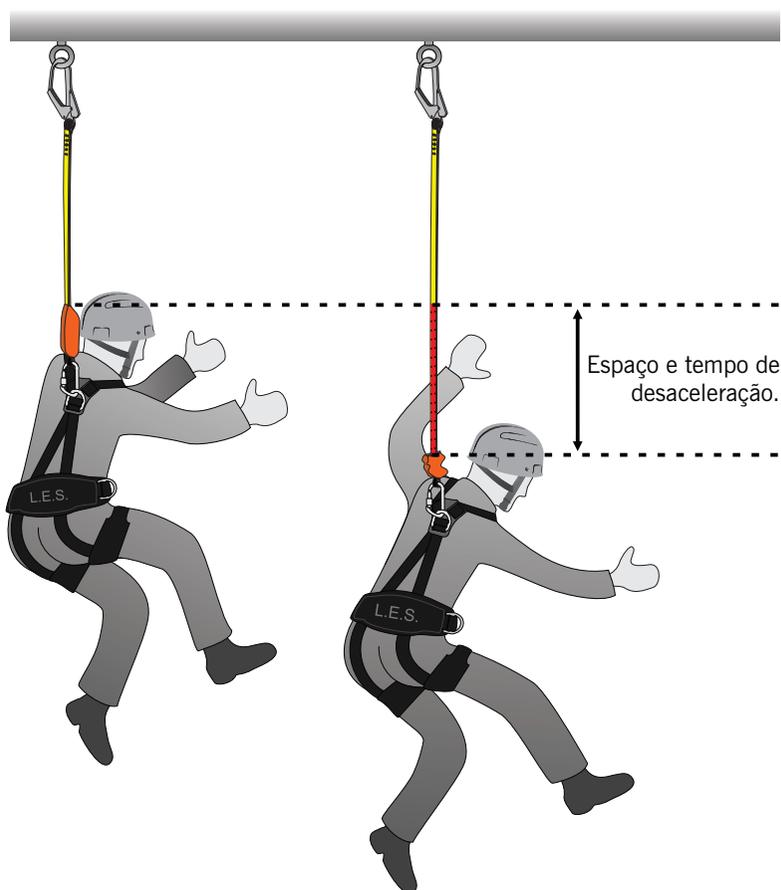
Queda 6 vezes maior que a primeira, no entanto o talabarte e o colchão continuam sendo os mesmos.





Entendi! É por isso a exigência do absorvedor de energia nos talabartes.

Sim. Embora o fator de queda 2 deva ser evitado, por segurança, esta situação é considerada no dimensionamento e testes de alguns equipamentos. O absorvedor de energia é para garantir uma desaceleração segura mesmo nessa situação extrema. Falaremos mais sobre absorvedores no próximo capítulo.



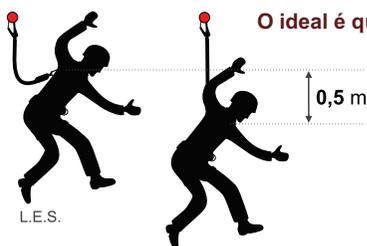
COMO É CALCULADO O FATOR DE QUEDA

É uma fórmula simples. Vamos a ela:

$$FQ = \frac{\text{Altura da queda} \img alt="silhouette of a person falling" data-bbox="730 160 785 195}}{\text{Tamanho do talabarte} \img alt="silhouette of a rope" data-bbox="735 195 790 225}}$$

Fator de queda igual a altura da queda dividida pelo comprimento do talabarte ou corda.

Exemplos:

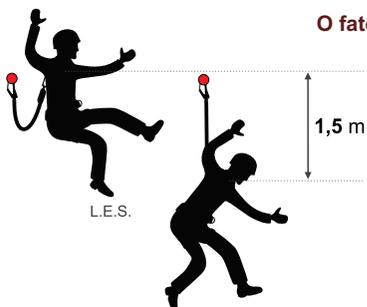


O ideal é que o fator de queda seja menor do que 1.

Queda: **0,5** metro

Talabarte: **1,5** metro

$$FQ = \frac{0,5}{1,5} = \mathbf{0,3}$$

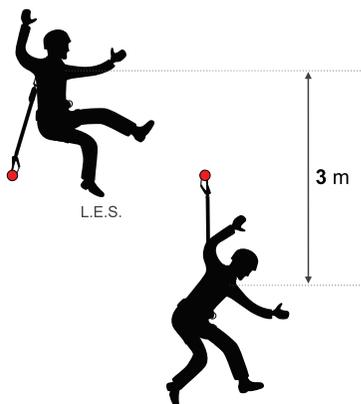


O fator de queda 1 é o máximo recomendado.

Queda: **1,5** metro

Talabarte: **1,5** metro

$$FQ = \frac{1,5}{1,5} = \mathbf{1}$$



O fator de queda 2 deve ser evitado.

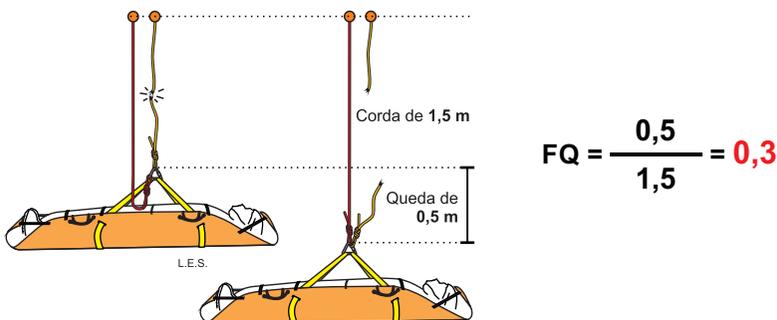
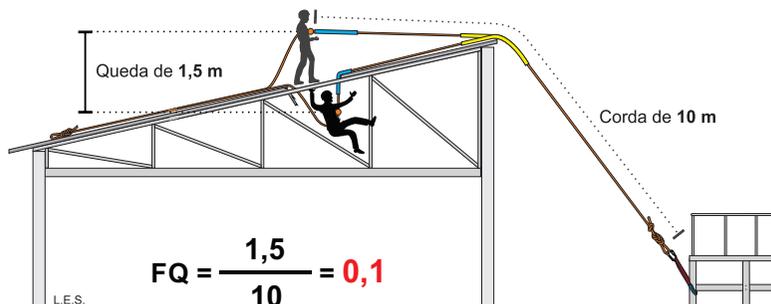
Queda: **3** metros

Talabarte: **1,5** metro

$$FQ = \frac{3}{1,5} = \mathbf{2}$$

Observação: a abertura do absorvedor de energia não é considerado nestes cálculos.

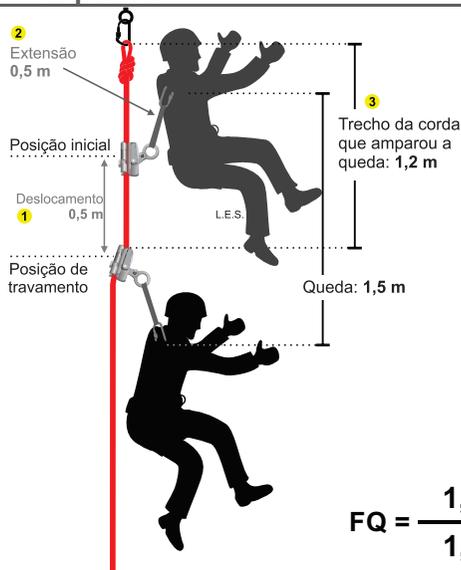
Outros exemplos de cálculo de fator de queda



Trava quedas

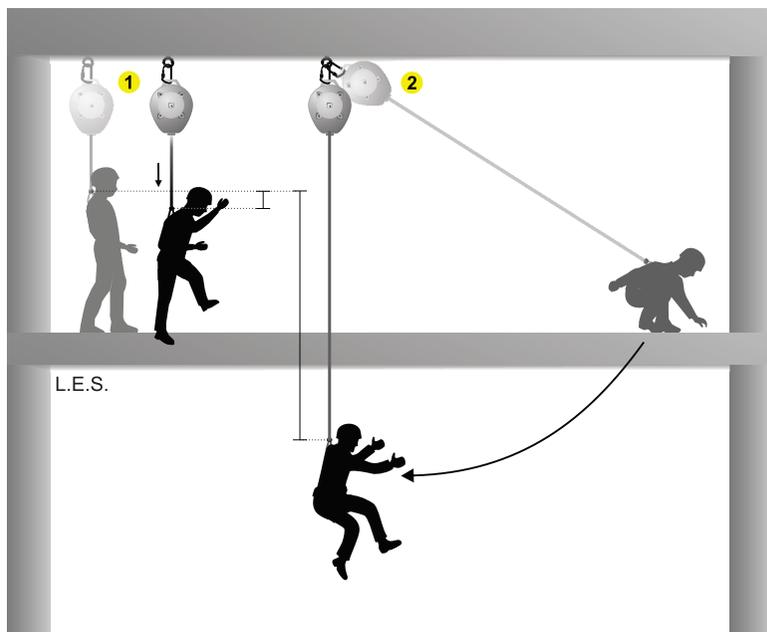
Fatores que influenciam o fator de queda:

- 1 É tolerado que o trava queda deslize pela corda entre o início da queda e o travamento. A NBR 14626 permite o deslizamento de no máximo 1 metro. No nosso exemplo determinamos 0,5 metro.
- 2 O extensor, usado na conexão entre o trava queda e o cinturão é opcional. Pode ser adquirido com ou sem ele. A extensão máxima dele deve ser de 50 cm (0,5m).
- 3 O trecho que está acima do trava queda, entre ele e o ponto de ancoragem, será a parte responsável por absorver a energia e a força de frenagem.



$$FQ = \frac{1,5}{1,2} = 1,2$$

Trava queda retrátil

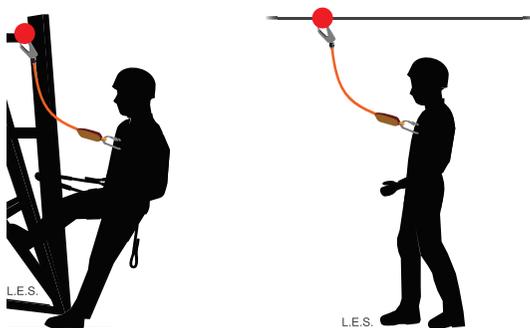


- 1** O trava-queda retrátil é projetado para oferecer um fator de queda próximo a zero. No entanto...
- 2** Se o trabalhador se distancia da vertical do trava-queda, ele pode aumentar muito a queda, e conseqüentemente o fator de queda, a energia cinética e a força de frenagem. Esta situação deve ser evitada.

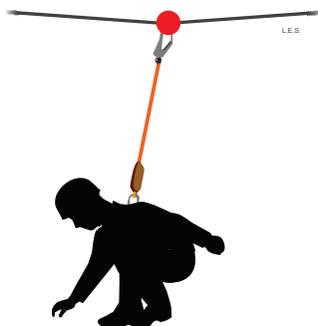
Recomendações

A regra básica a seguir é: quanto menor a queda melhor será! Portanto, no planejamento dos sistemas de proteção contra quedas de altura, procure planejar o fator de queda para que seja o menor possível, sendo aconselhável não ultrapassar o **fator 1**.

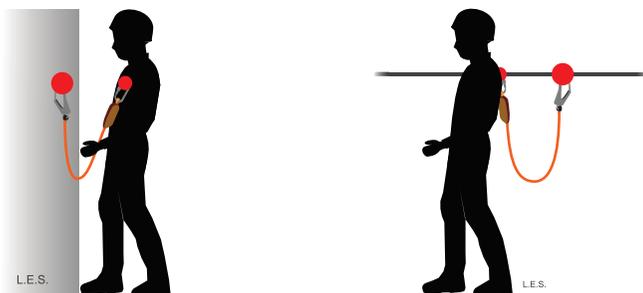
O ponto de ancoragem deve estar o mais alto possível.



Sem prejudicar a mobilidade do trabalhador.



Para garantir um fator de queda 1, o ponto de ancoragem deve estar na mesma altura da conexão com o cinto de segurança.





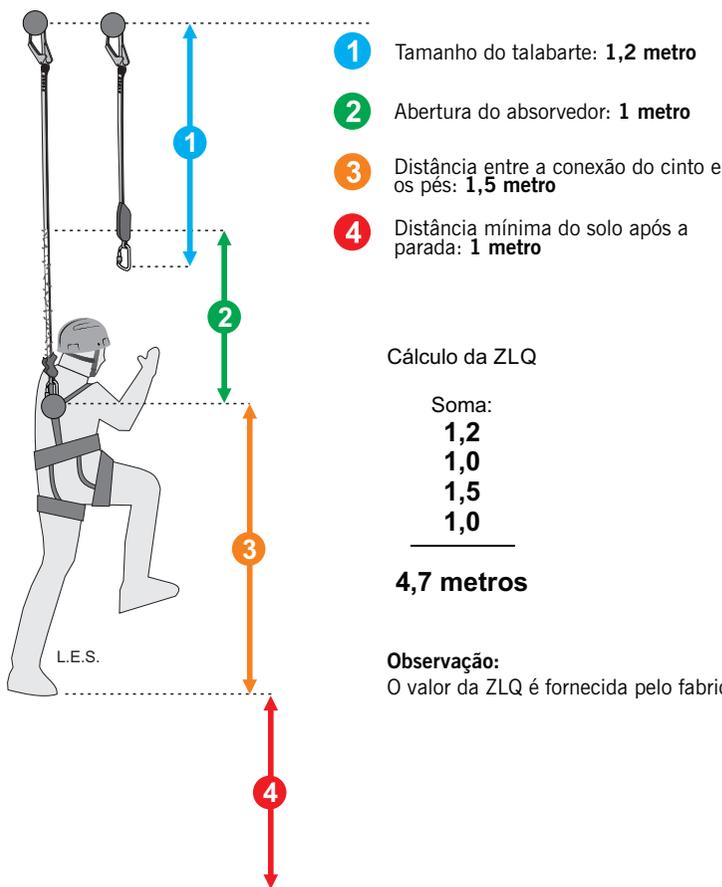
Já tá bom, não está?!

Já vimos muita coisa, mas ainda falta algo na nossa lista de requisitos para um sistema seguro de retenção de quedas: a **Zona Livre de Queda (ZLQ)**

A **ZLQ**, ou Zona Livre de Queda, compreende a distância entre o ponto de ancoragem e o solo, ou o ponto mais provável de impacto. O sistema deve ser dimensionado para que o trabalhador, após amparado pelo sistema de segurança, fique sustentado a uma distância mínima de **1 metro do solo**.

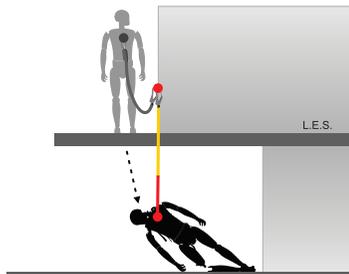
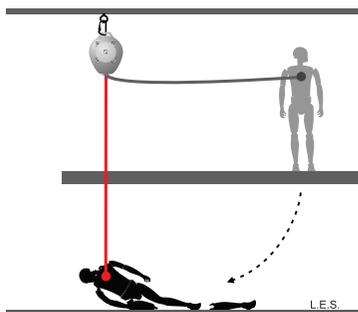
Cálculo da ZLQ

O cálculo se diferencia entre diferentes equipamentos, por isso vamos usar o talabarte como exemplo.

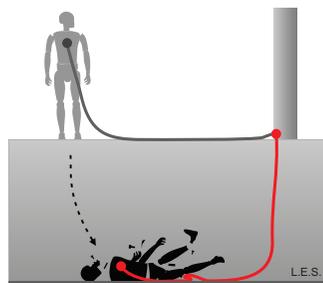
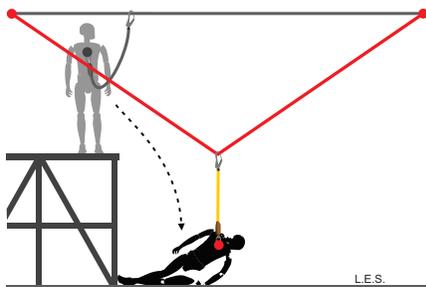




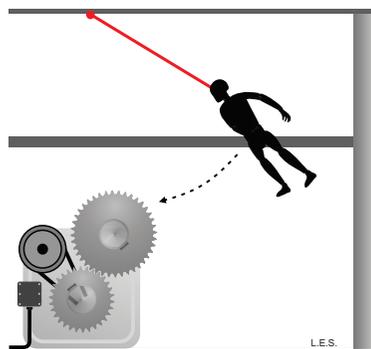
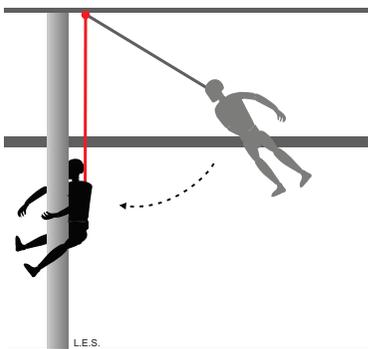
A não observância da **ZLQ** pode gerar uma tragédia!



Situações igualmente perigosas

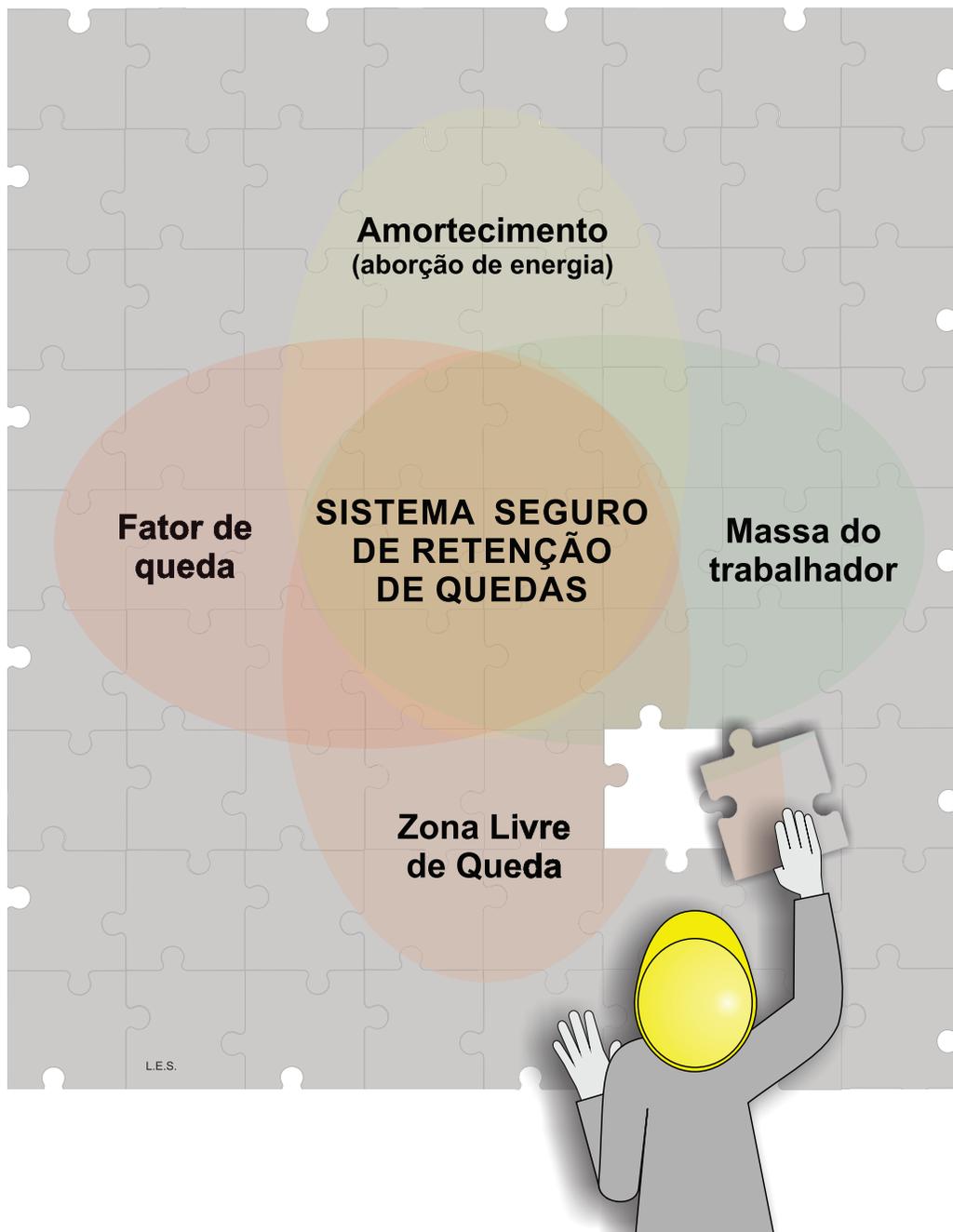


Outro risco - pêndulos



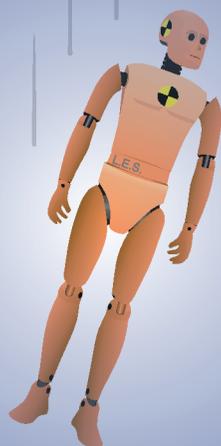
RESUMO DOS ÚLTIMOS DOIS CAPÍTULOS

Fatores que devem ser considerados no planejamento e montagem de um sistema de segurança para retenção de queda de trabalhadores.

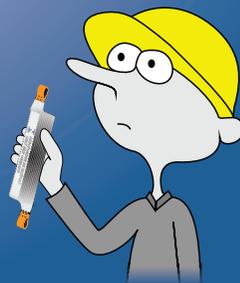


capítulo 4

Absorvedores de energia



?



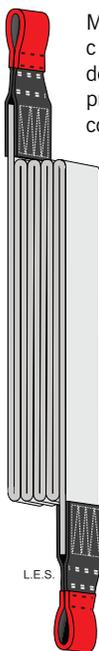
Não é mais fácil com isto?



Ok! Sei o que é, e para o que serve, mas como funciona?

Existe uma grande variedade de modelos de absorvedores de energia para compor sistemas individuais de retenção de quedas ou para compor as linhas de ancoragem (linhas de vida).

Dois exemplos para ilustrar a variedade de modelos utilizados para compor sistemas individuais.



Modelo em ziguezague composto de uma fita dobrada e unida por fibras da própria fita ou por fios de costuras independentes.

Modelo muito comum na composição de sistemas individuais.

Quando acionado, a fita se desdobra e se alonga.

Representação artística baseada em um modelo da Hércules/Ansell.



Modelo com formato diferente, porém, com o funcionamento semelhante ao anterior.

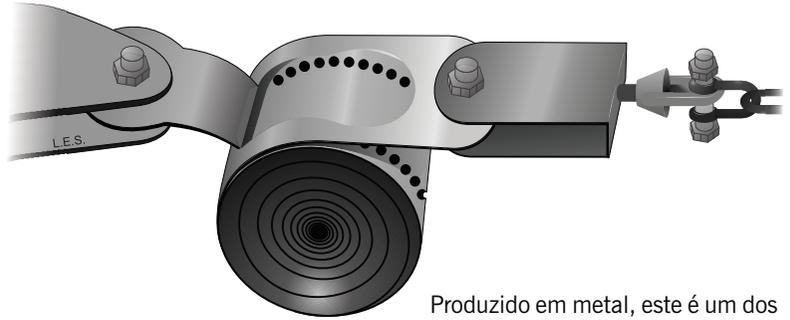


Este modelo também conta com a resistência dos fios que unem a fita e com o alongamento durante o acionamento.

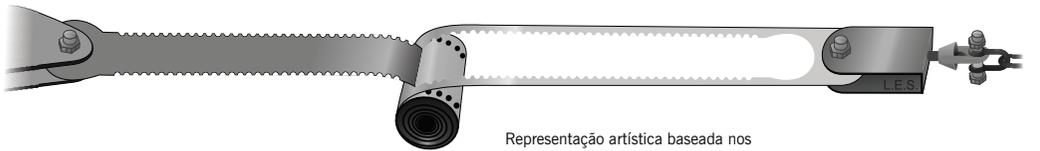
Representação artística baseada em um modelo da FIXE.



Um exemplo para ilustrar os modelos utilizados para compor as linhas de ancoragem. A sua principal função é proteger os pontos de ancoragem.



Produzido em metal, este é um dos muitos modelos desenvolvidos para linhas de ancoragem (linhas de vida).



Representação artística baseada nos modelos da DBI SALA e Miller.

Como os seus similares, oferece certa resistência, mas com a capacidade de se deformar e se alongar no processo de desaceleração do movimento e da absorção e da dissipação da energia.

Embora existam uma grande variedade de modelos, com diferentes formas e materiais, as duas características comuns a maioria deles é a deformação plástica e o alongamento.

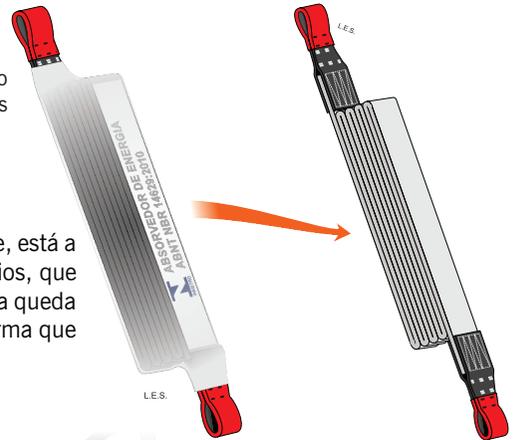
Certificação

Os modelos produzidos para compor os sistemas individuais precisam atender as especificações da norma ABNT NBR 14629 e certificados por um organismo acreditado pelo INMETRO.

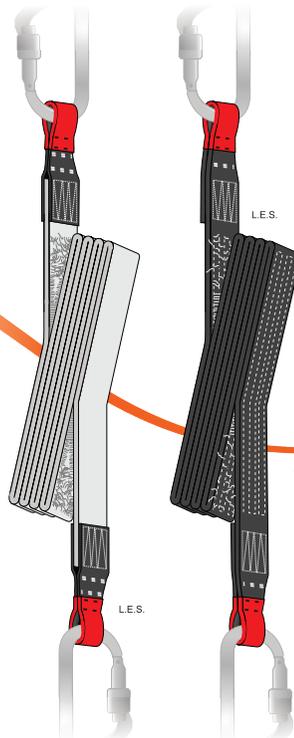
Eles podem fazer parte, por exemplo, de talabartes de segurança para retenção de queda, trava quedas deslizantes e trava quedas retráteis.

O modelo mais comum é o construído com fitas dobradas em forma de ziguezague.

Protegida por um envelope, está a fita dobrada e unida por fios, que fará o trabalho de frear a queda do trabalhador de uma forma que não o machuque.



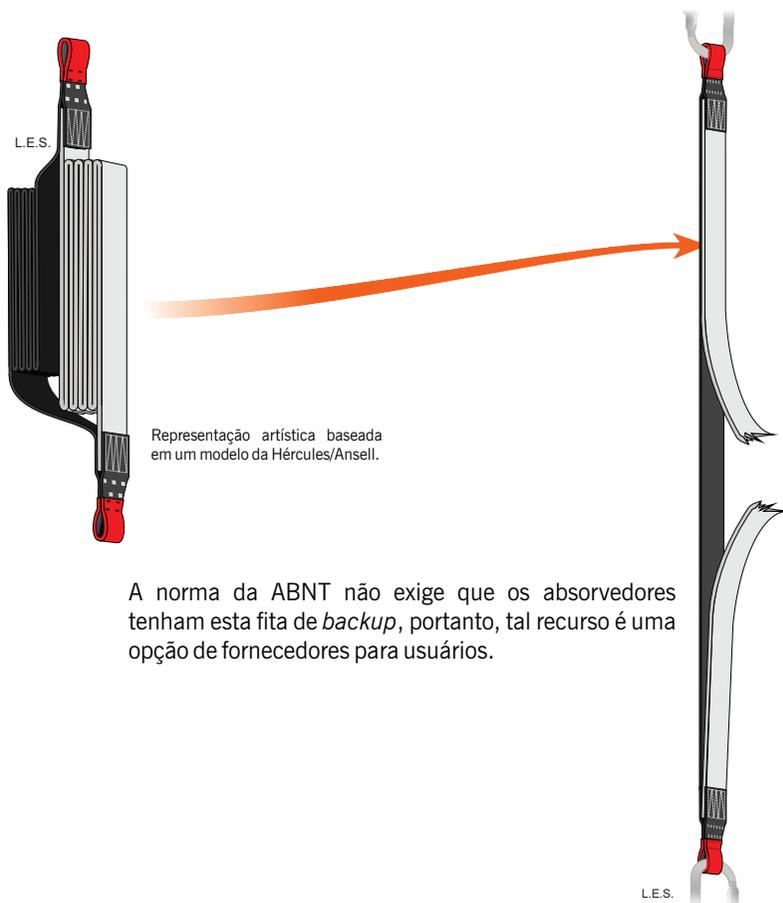
Normalmente este modelo de absorvedor de energia é construído com uma fita pré-fabricada, produzida em uma máquina específica, que une parte dos fios da trama da própria fita. O absorvedor, ao ser acionado, romperá os fios que unem as dobras e se alongará, ou...



...ter as dobras unidas por uma costura convencional, com fios resistentes e independentes da trama da fita.

Alguns modelos de absorvedores de energia disponíveis no mercado oferecem uma fita extra de proteção, dobrada paralelamente a fita principal.

A função dessa segunda fita é reter o trabalhador caso a fita principal chegue ao limite de romper.



Sobre o funcionamento

Vamos conhecer as funções básicas de um absorvedor de energia:

Contribuir para a retenção da queda

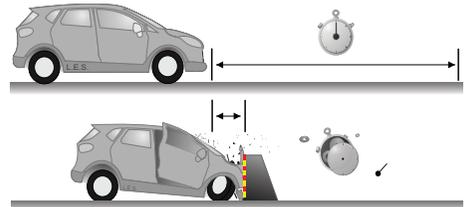
Como parte do sistema de retenção de queda, o absorvedor deve aplicar uma força contrária para que o movimento seja interrompido.



Desacelerar

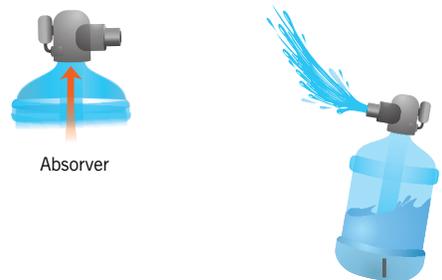
Relacionado com o item acima, cabe ao absorvedor fazer com que, num determinado intervalo de tempo e distância, a diminuição da velocidade seja gradual.

Comparando com a situação de frear um carro, a questão é: como ele será parado?



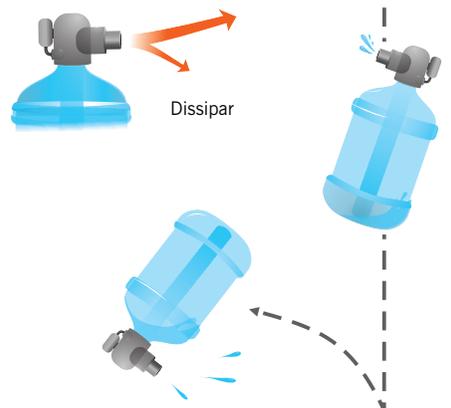
Absorver energia

Lembrando que a força é uma manifestação da energia, o equipamento deve absorver parte da energia cinética para que a força, como resultado final, seja a menor possível. O absorvedor deve conseguir absorver energia suficiente para garantir que a força resultante seja de no máximo 6 kN.



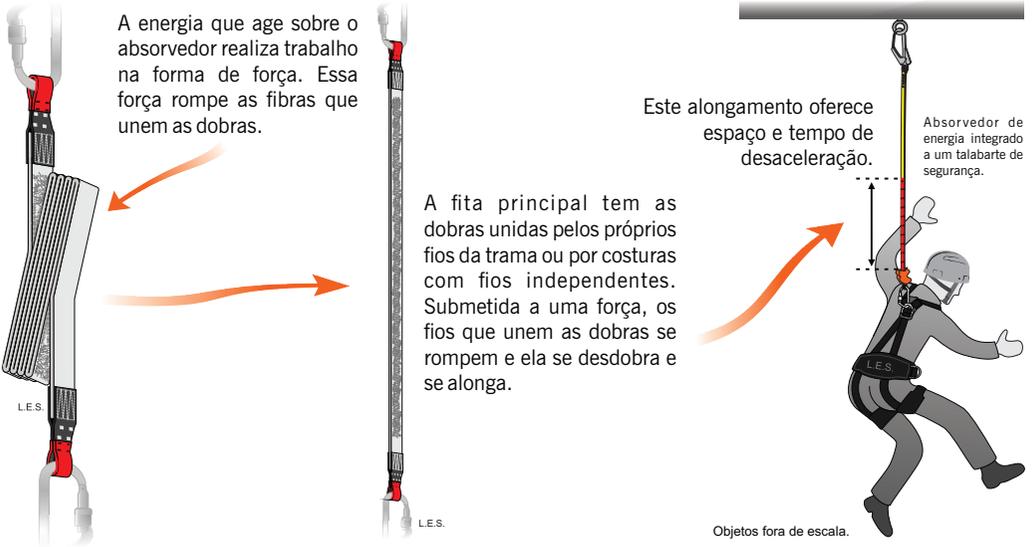
Dissipar energia

Pela física, a lei ou princípio da conservação de energia diz que ela não pode ser criada ou destruída, apenas ser transformada. Isto significa que na queda de um trabalhador a energia já existe na forma de energia potencial, e ao começar a queda ela será transformada em energia cinética. Essa, por sua vez, não pode ser extinta, portanto, se queremos reduzir a energia que vai gerar a força, é preciso convertê-la em uma forma que possa ser dissipada, que no caso é, principalmente, energia térmica (calor).



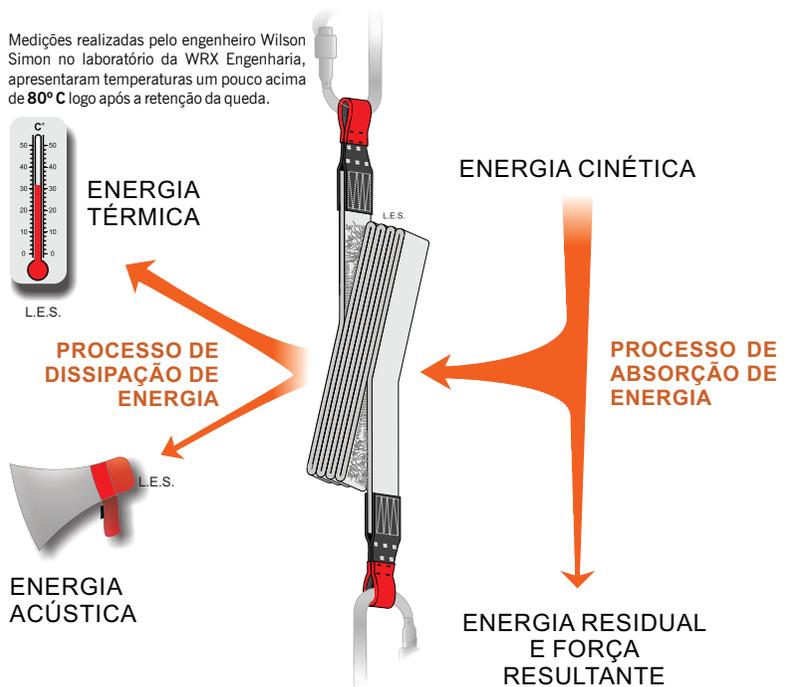
Sobre o funcionamento

Na prática o absorvedor funciona da seguinte forma:



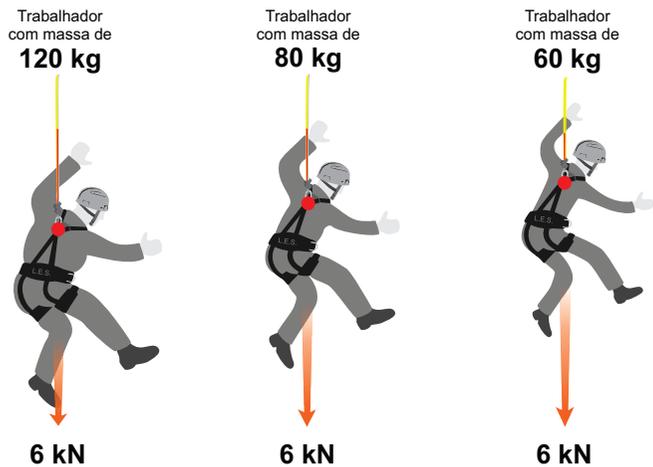
E para poupar o corpo do trabalhador de uma força muito perigosa a absorção e a dissipação de energia acontecem assim:

Medições realizadas pelo engenheiro Wilson Simon no laboratório da WRX Engenharia, apresentaram temperaturas um pouco acima de **80° C** logo após a retenção da queda.



Sobre o funcionamento

O esperado de um absorvedor de energia é que ele gere sobre o corpo do trabalhador no máximo 6 kN de força de frenagem, independente da massa do trabalhador. Porém, o absorvedor de energia não pode garantir sozinho o resultado de uma queda. O sistema, ou seja, todo o conjunto de componentes, deve ser planejado para se adequar a variedade de pessoas e situações de trabalho. E é importante considerarmos que o 6 kN é um valor máximo, sendo esperado o devido esforço para que o valor seja sempre o menor possível.



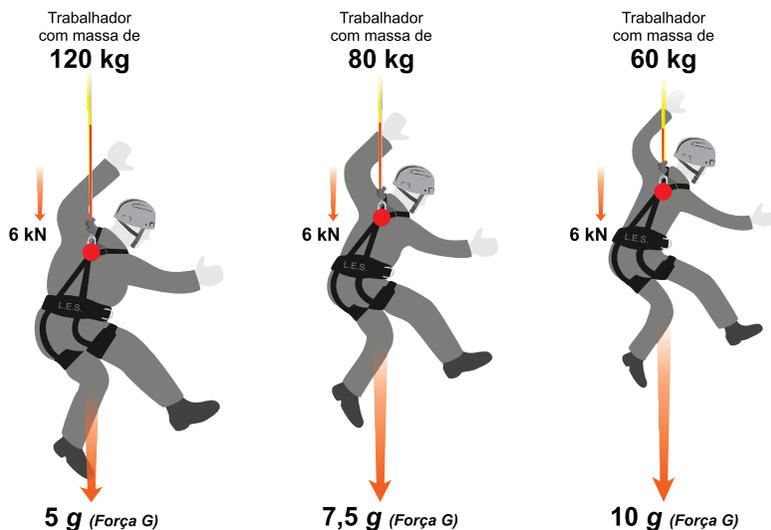
Então é só manter o foco nos 6 kN ?

Quase isso!

É um bom começo planejar os sistemas de retenção de quedas para que um trabalhador não seja submetido a mais de 6 kN, porém, um bom planejamento considera todos os fatores, incluindo o fato de que uma força de 6kN (600 kgf aproximadamente) terá um impacto diferente no corpo de diferentes pessoas.

Lembre que a energia e a conseqüente força de impacto não são os únicos a afetarem o corpo humano no final de uma queda, pois temos também a aceleração, ou mais especificamente, a desaceleração (aceleração negativa).

Abordamos a Força G (g) no capítulo 1, e sabemos que existe uma equivalência com a força peso, então, 600 kgf terá um efeito diferente entre alguém de 120 kg ou alguém de 60 kg.



Embora o absorvedor de energia seja um componente muito importante em um conjunto de retenção de queda, ele não é o único elemento que deve ser considerado no planejamento de um sistema, e muito menos a solução isolada para os casos de trabalhadores muito pesados ou muito leves. Contudo, considerando que este equipamento é parte da solução, a seleção dele deve ser cuidadosa e feita com critérios técnicos.

Características técnicas

Os absorvedores de energia podem compor alguns equipamentos de proteção individual como o talabarte de segurança, o trava quedas deslizante e o trava quedas retrátil, desde de que o conjunto seja produzido pelo fabricante e submetido aos ensaios exigidos pelas normas da ABNT e certificados por um organismo acreditado pelo INMETRO.

Vamos usar como exemplo o **talabarte de segurança** provido de **absorvedor de energia** para ilustrar como a seleção deve ser criteriosa entre as diferentes características técnicas dos modelos disponíveis no mercado brasileiro.

Observação

Os dados apresentados a seguir foram obtidos através de entrevistas com fornecedores e laboratórios, e são apresentados com o objetivo de fornecer somente uma noção sobre as opções disponíveis no mercado brasileiro.

Talabarte de segurança com absorvedor de energia

Modelos

O mercado brasileiro disponibiliza diferentes modelos de talabarte com absorvedores de energia, sendo que cada um deles atende a condições diferentes de trabalho. Vejamos alguns exemplos:

Atenção: É desaconselhável uma queda amparada por dois absorvedores de energia que possam ser acionados simultaneamente, pois existe o risco da resistência de ambos, somadas, provocar uma desaceleração perigosa para o corpo do trabalhador.



Talabarte simples com absorvedor.

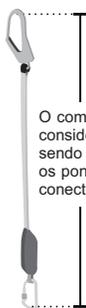


Talabarte duplo em Y com um único absorvedor.

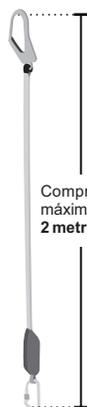


Talabarte duplo em V com dois absorvedores independentes.

Comprimento



O comprimento é medido considerando o conjunto, sendo o início e o término os pontos de contato dos conectores.



Comprimento máximo de **2 metros**.

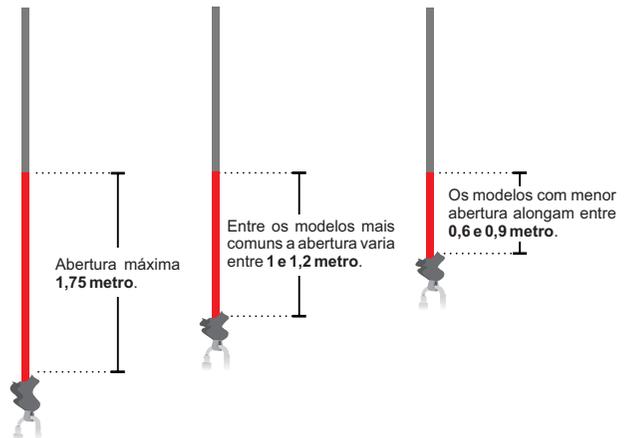


O tamanho dos modelos mais comuns varia de **1,2 a 1,5 metro**.

A norma técnica brasileira (ABNT NBR **15834:2010** - Talabarte de segurança) impõe um comprimento máximo de **2 metros**. Abaixo desse valor existem opções de tamanho.

Abertura dos absorvedores

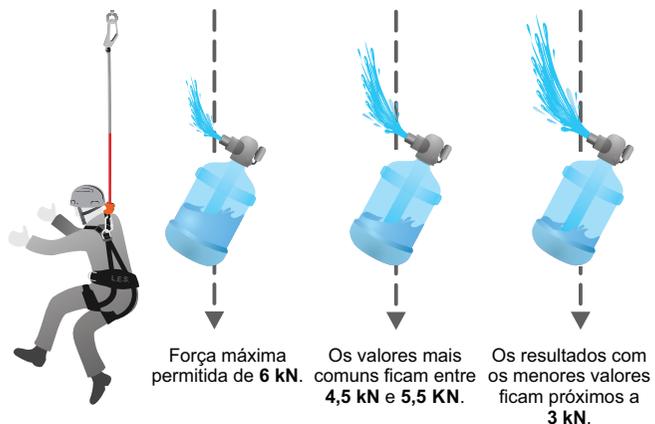
A norma técnica brasileira (ABNT NBR **14629**:2010 – Absorvedor de energia) impõe um comprimento máximo de 1,75 metro para a abertura de um absorvedor de energia. Existem opções no mercado abaixo desse valor.



Atenção: A avaliação dessa característica deve ser considerada juntamente com o comprimento do talabarte e a eficiência na absorção de energia.

Absorção de energia, dissipação de energia e força resultante

A norma técnica brasileira sobre absorvedores de energia impõe o valor máximo de **6 kN** de força de frenagem sobre o corpo do trabalhador. Modelos de diferentes fornecedores oferecem valores abaixo desse limite.





Ok. E tudo isso eu uso para...?

Eu ainda quero saber o que fazer com os trabalhadores muito pesados ou muito leves.

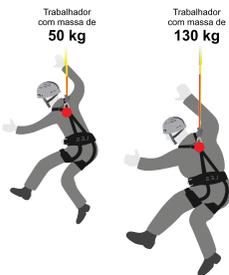
Já sabemos que a segurança do trabalhador, no momento da retenção de uma queda, é definido por um conjunto de fatores, e ignorar qualquer um deles implica colocar a pessoa em risco. O peso (massa) do trabalhador é um fator importante e não pode ser desconsiderado, no entanto, este item, isoladamente, não define se a retenção da queda será eficiente ou perigosa para a pessoa.

O mesmo para o tipo de material que deterá a queda. Ter um absorvedor de energia que atenda a norma brasileira e devidamente testado e certificado é um bom começo, mas apenas ele não garantirá uma queda segura.



Nenhum destes itens resolve isoladamente a segurança de uma queda, no entanto, qualquer um deles, quando negligenciado, coloca o trabalhador em risco.

A Zona Livre de Queda não influencia a força de impacto, no entanto, a não observância deste item pode levar o trabalhador a morte. De nada valerá garantir a montagem de um sistema sob o aspecto tecnológico, se ele não reter a queda antes do trabalhador chegar ao chão!



Sabemos que o peso (massa) do trabalhador irá interferir na força de frenagem, pois é componente das fórmulas básicas que definem a energia potencial, a energia cinética e a Força, no entanto, por causa de uma abordagem muito simplista, a preocupação com o peso tem recaído sobre a resistência do cinturão de segurança, e esta linha de pensamento é equivocada. Tal questão já foi abordada e será melhor respondida até o final deste livro. Mas para darmos continuidade a este capítulo é importante lembrar que, dos fatores que determinam o resultado de uma queda, o peso do trabalhador é o único que podemos não ter controle, e é um problema que pode e deve ser gerenciado.

Existe uma adequação do absorvedor de energia ao peso do trabalhador?

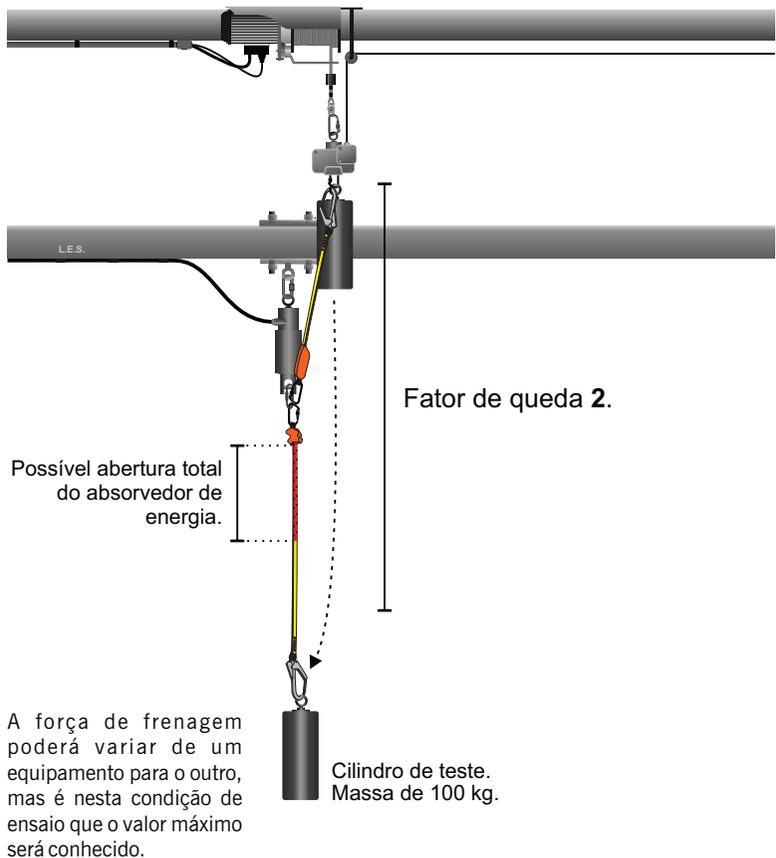
Já houve na Europa estudo recomendando que os absorvedores fossem fabricados com diferentes resistências, porém, isso não foi adotado. A recomendação era para que os absorvedores fossem oferecidos para três grupos de pesos, com a força de frenagem de no máximo 8 kN para pessoas entre 100kg e 140kg, absorvedores com a força de frenagem máxima de 6 kN para pessoas de 80kg a 100kg e absorvedores de 4 kN para pessoas de 50kg a 80kg (Harry Crawford, 2003).

O padrão adotado no Brasil é similar ao Europeu, seguindo a norma internacional ISO 16024, com o requisito de gerar ao final de uma queda uma força de frenagem máxima de **6kN**, e em condições específicas de ensaio, como por exemplo, uma queda **fator 2** com uma massa de **100 kg** para o teste dinâmico. Portanto, para efeito de certificação não há alternativas, porém, como vimos no item anterior, o mercado oferece equipamentos com desempenhos diferentes, cabendo aos gestores a responsabilidade de especificar a opção adequada para cada situação de trabalho e aos fabricantes a responsabilidade de fornecer as informações que ajudem nessa seleção.

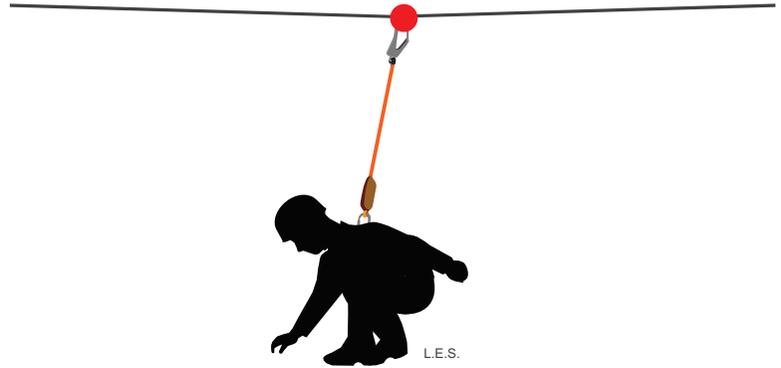
É atribuição dos encarregados pelo planejamento dos trabalhos os ajustes nos sistemas para torná-los seguros para as pessoas mais pesadas ou mais leves. Entre os fatores que determinam o resultado de uma queda, a massa é o único que podemos não ter controle, mas podemos controlar o sistema que amortecerá a queda e, o mais importante, o **Fator de Queda**.

Administrar o Fator de Queda resolve vários problemas.

Veremos no próximo capítulo a metodologia de ensaio do absorvedor de energia, em que as condições de teste submetem o equipamento a um teste dinâmico com uma massa de 100 kg e com uma **queda fator 2**. E é nesta situação que a força de frenagem pode chegar próximo aos 6 kN. No dia-a-dia de trabalho, com raros casos de exceção, submeter uma pessoa a um fator de queda 2 é reprovável, e mesmo que o ponto de ancoragem ou a linha de vida estejam na altura dos pés do trabalhador, há maneiras de reduzir a queda.



O ponto de ancoragem deve estar o mais alto possível, sem prejudicar a mobilidade do trabalhador, fazendo com que o fator de queda seja preferencialmente **menor do que 1**.



Então, como o fator de queda é algo controlável, é possível planejar e montar um sistema de retenção de queda que gere sobre o corpo do trabalhador uma força de frenagem muito menor do que os resultados obtidos em laboratório, e atender com segurança as pessoas que apresentam pesos acima ou abaixo do que é considerado comum (escala de valores que enquadra a maior parte dos trabalhadores).

Ancoragem acima	=	menos queda;
Menos queda	=	menos energia;
Menos energia	=	menos força de frenagem;
Menos força	=	menos solicitação dos equipamentos e do corpo do trabalhador.



RESUMO

Existem vários modelos de absorvedores e todos tem a função de reter uma queda de forma segura, protegendo o trabalhador e os pontos de ancoragem.

O absorvedor tem as funções de contribuir para a retenção da queda, desacelerar o corpo do trabalhador gradativamente, absorver e dissipar energia.

Os modelos que compõe os conjuntos individuais de proteção precisam atender a norma técnica e serem certificados por órgão autorizado INMETRO.

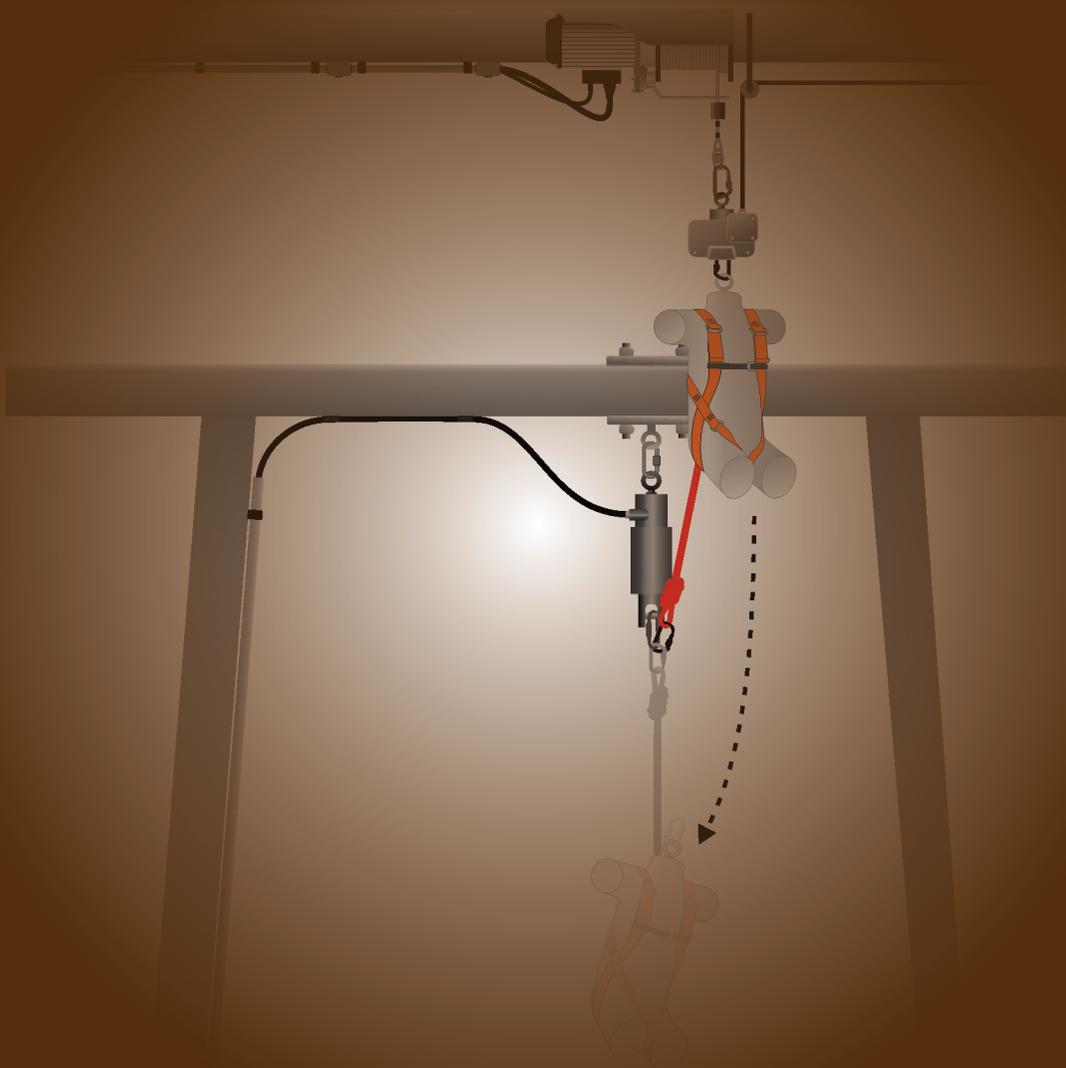
Os absorvedores de uso individual devem gerar uma força de frenagem de no máximo 6 kN, independente do peso do trabalhador.

Os absorvedores são testados e certificados por uma única metodologia, mas existe no mercado equipamentos com características e desempenhos diferentes.

Administrar o Fator de Queda resolve muitos problemas.

capítulo 5

Ensaio de equipamentos



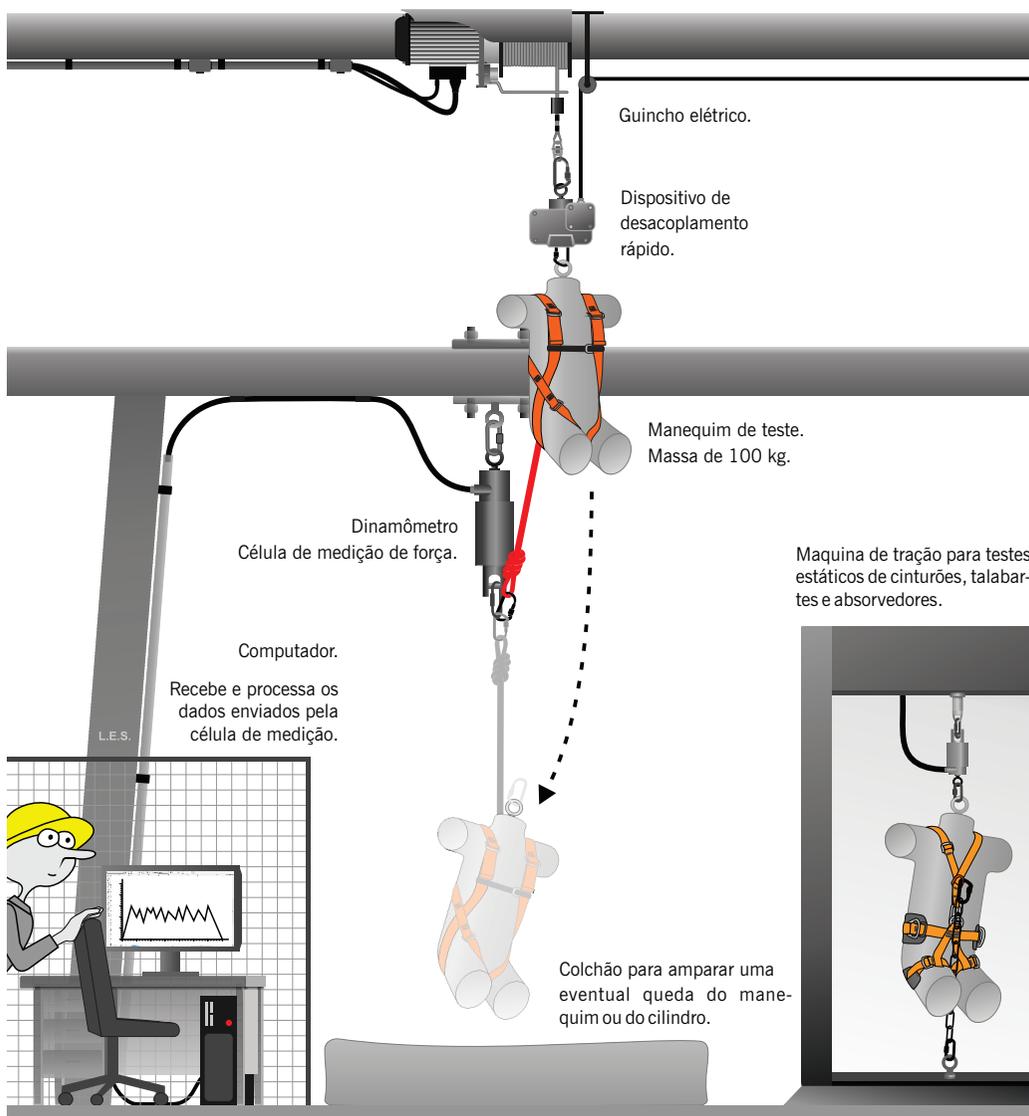
Vamos começar conhecendo um ambiente de laboratório?

Imagem meramente ilustrativa.

O desenho é uma criação artística baseada em tecnologias reais utilizadas em laboratórios.

Para oferecer um cenário completo, a célula de medição de força foi incluída na imagem, entretanto, os testes dinâmicos de cinturões de segurança não exigem tal medição.

Informações técnicas cedidas gentilmente pelo laboratório da Falcão Bauer.





Como saber se eu posso confiar no equipamento certificado?

Conhecendo um pouco das normas e das metodologias de ensaios. Vamos usar o cinturão de segurança e o talabarte como exemplos?

NORMAS

Com base em normas européias comitês de estudo brasileiros criaram um conjunto de normas técnicas publicadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) no ano de 2010. Essas normas abordam as características técnicas e as metodologias de ensaio de equipamentos individuais de proteção contra quedas de altura. São elas:

NBR 14626 - Trava-queda deslizante guiado em linha flexível;

NBR 14627 – Trava-queda deslizante guiado em linha rígida;

NBR 14628 – Trava-queda retrátil;

NBR 14629 – Absorvedor de energia;

NBR 15834 – Talabarte de segurança;

NBR 15835 – Cinturão de segurança tipo abdominal e talabarte de segurança para posicionamento e restrição;

NBR 15836 – Cinturão de segurança tipo para-quedista;

NBR 15837 – Conectores

Observação: Este conjunto de normas está em fase final de revisão.

Atualmente considera-se o conjunto de equipamentos, como por exemplo, cinturão e talabarte ou cinturão e trava-quedas, para a emissão do Certificado de Aprovação (CA) do Ministério do Trabalho. Os equipamentos que compõe estes conjuntos devem ser avaliados e certificados individualmente por um órgão acreditado pelo INMETRO.

Para exemplificar o processo de ensaio dos equipamentos vamos utilizar os dois mais comuns no cotidiano dos trabalhos em altura, que é o cinturão de segurança tipo paraquedista e o talabarte de segurança com absorvedor de energia. Portanto, as normas que usaremos como referência são as NBR 14629, 15834 e 15836.

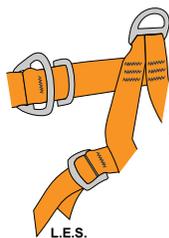
A incumbência dos laboratórios acreditados pelo INMETRO são, basicamente, seguir as seguintes etapas de avaliação:



L.E.S.

Visual

Verifica-se o desenho e a ergonomia, os materiais de construção, a marcação e as informações que acompanham o produto.



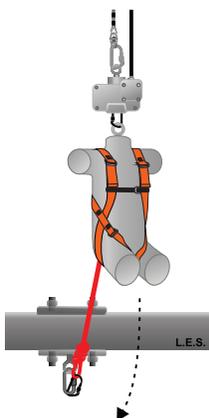
L.E.S.

Resistência a corrosão

As peças metálicas são submetidas a dois períodos de 24 h em névoa salina.

Resistência estática

São aplicadas determinadas forças por determinado tempo.



L.E.S.

Resistência dinâmica

O equipamento é submetido a quedas consecutivas.

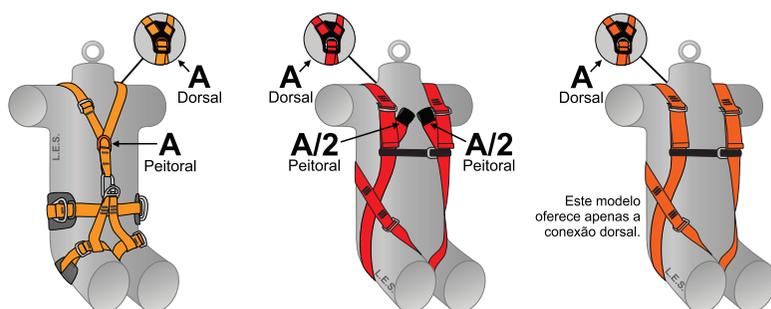


L.E.S.

No Certificado de Aprovação (CA) do cinturão de segurança deve constar a lista de equipamentos acessórios que podem ser utilizados em conjunto com ele, e com os respectivos números de certificação pelo sistema INMETRO.

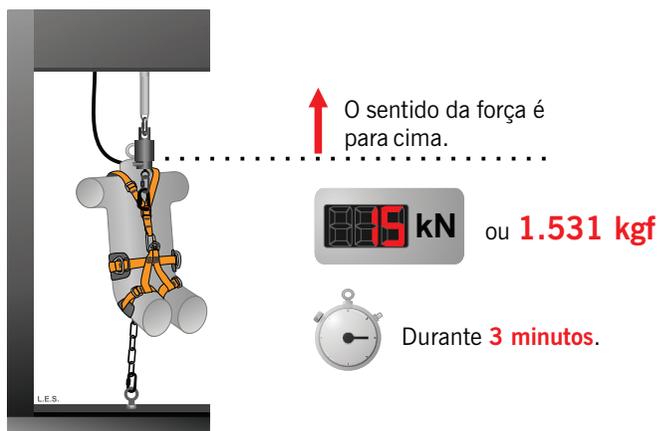
Elementos de engate do cinturão de segurança tipo paraquedista

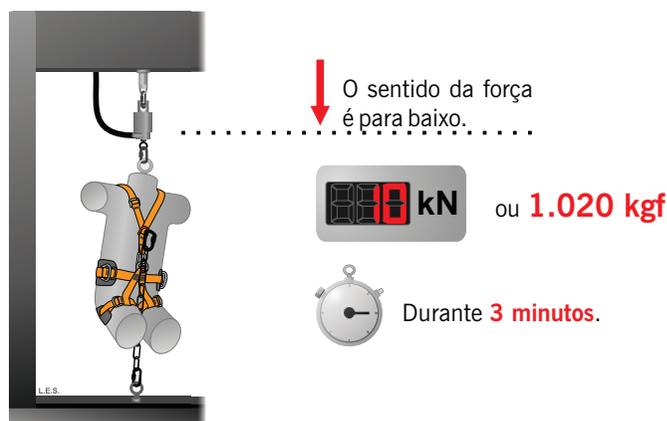
Um cinturão de segurança tipo paraquedista pode oferecer até quatro tipos de elementos de engate e ter até nove pontos de conexão, no entanto, apenas dois são destinados a retenção de queda. Os demais tem outras funções como suspensão e posicionamento. Os elementos de engate destinados a amparar uma queda são identificados pela letra A, e quando compostos por duas ou mais extremidades são utilizadas as identificações A/N (número de extremidades). Veja os exemplos abaixo.



Ensaio estático do cinturão paraquedista

Para avaliar a resistência da estrutura, ou seja, conjunto de fitas, costuras, fivelas e anéis, a amostra é testada em uma máquina de tração com força e tempo determinados pela NBR 15836:2010. É realizado o primeiro teste na posição em pé, para avaliar as partes inferiores do cinturão e depois a aplicação da força é invertida para avaliar a estrutura superior.





Ensaio dinâmico do cinto tipo paraquedista

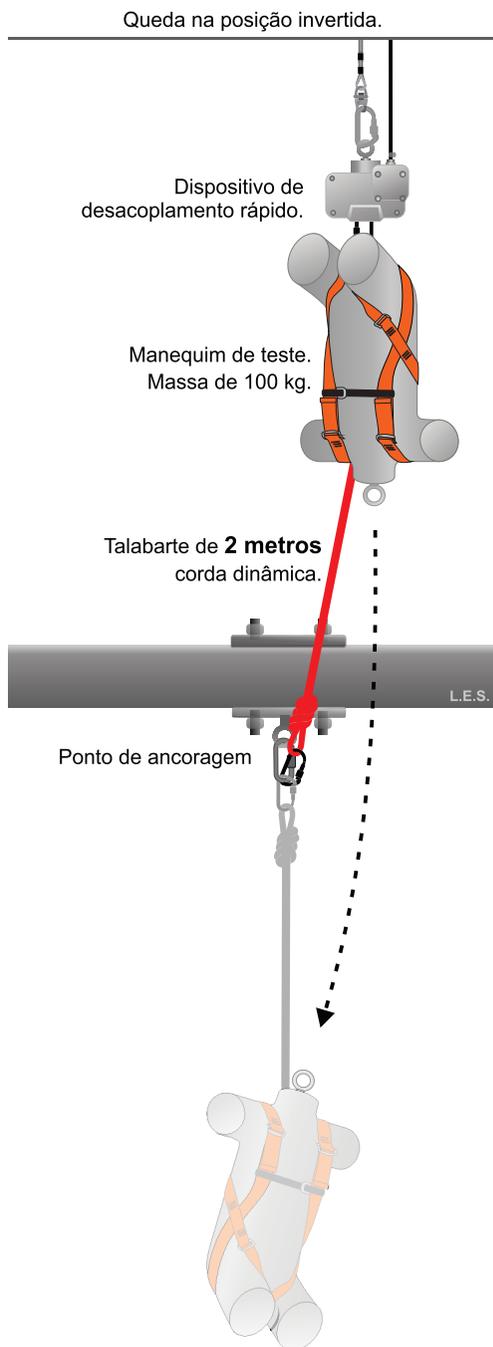
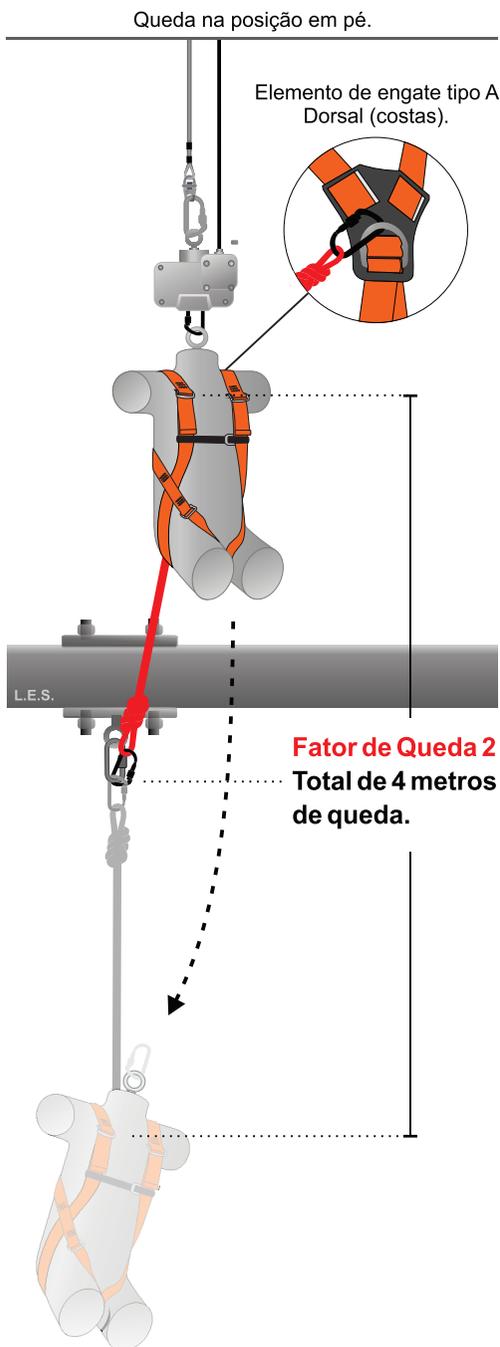
A norma técnica brasileira, a NBR 15836:2010, determina o ensaio dinâmico do cinto vestido em um manequim com massa de 100kg. As condições do teste são:

- Testar todos os elementos de engate tipo A (retenção de queda);
- Conectar um talabarte de 2 metros feito com uma corda dinâmica padrão europeu EN 892;
- Queda Fator 2, ou seja, o manequim cairá 4 metros;
- Realizar um teste com o manequim na posição em pé;
- Realizar outro teste com o manequim na posição invertida.

O requisito é que o cinto consiga amparar a queda do manequim.

A norma não exige a medição de força neste ensaio, mas sabe-se que estas condições produzem sobre o cinto de 10kN a 12 kN de força de frenagem.

Veja as ilustrações na próxima página



As condições de teste submetem o cinturão de segurança a um fator de queda maior do que o recomendável para o dia-a-dia de trabalho e uma força de frenagem muito maior do que o valor aceitável para um sistema seguro. Desta forma o ensaio oferece uma boa margem de segurança.

?



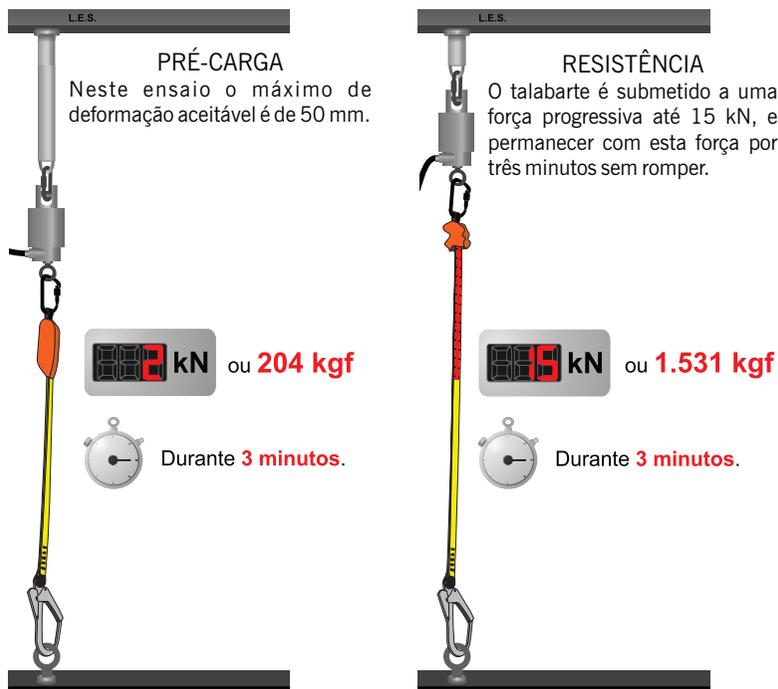
É os ensaios com o talabarte?

Ele também é submetido a várias avaliações diferentes para provar a sua conformidade com as normas técnicas, que no caso do talabarte de segurança com absorvedor de energia envolve duas normas, a NBR **14629:2010** - Absorvedores e a NBR **15834:2010** - Talabartes de segurança.

Ensaio estático do talabarte de segurança com absorvedor

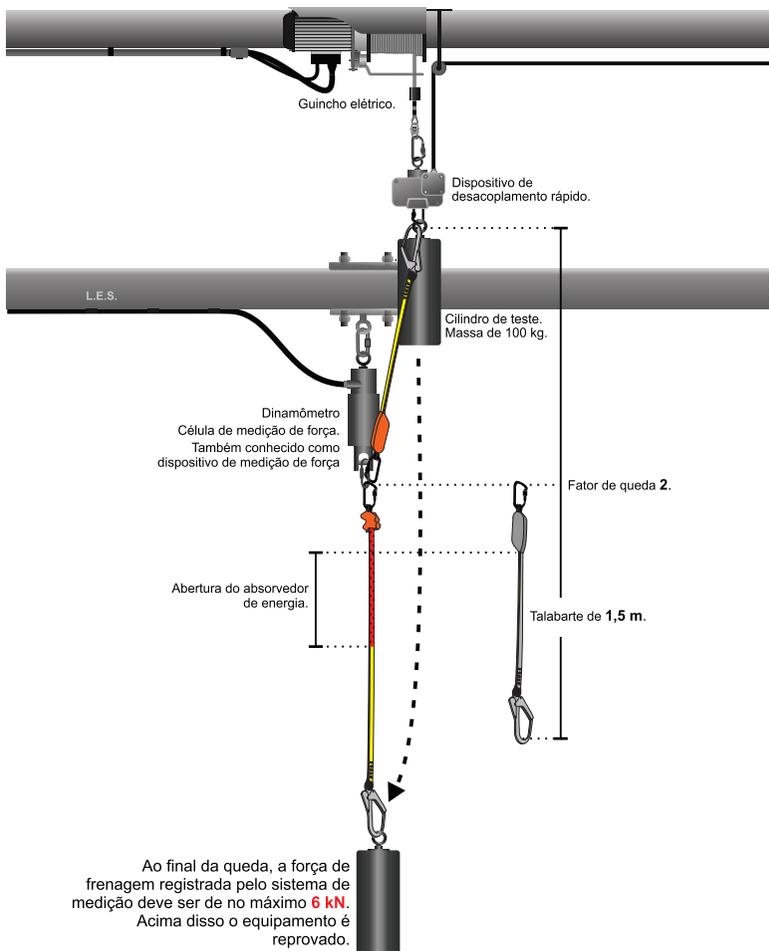
O talabarte de segurança com absorvedor de energia é submetido a testes de resistência parecidos com os do cinturão de segurança tipo paraquedista, porém, o talabarte com absorvedor também tem a função de amortecer a queda, poupando o trabalhador e o ponto de ancoragem de forças muito perigosas, portanto, alguns ensaios tem como foco o absorvedor de energia.

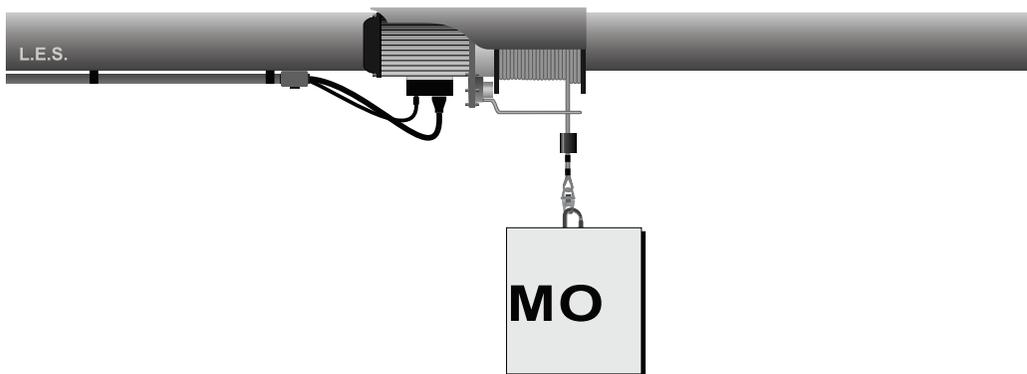
São realizados dois ensaios consecutivos com a mesma amostra (conjunto talabarte e absorvedor). O primeiro é uma pré-carga de 2 kN durante três minutos. O absorvedor não pode alongar mais do que 50 mm. Na sequência, a mesma amostra é submetida a uma força de 15 kN pelo mesmo tempo de duração. O requisito é não romper com a aplicação da força.



Ensaio dinâmico do talabarte de segurança com absorvedor

Para o ensaio dinâmico é necessária uma nova amostra com o absorvedor intacto. Assim como realizado com o cinturão de segurança, o talabarte será submetido a uma queda fator 2 com uma massa de 100 kg. Como não é necessário o manequim, foi padronizado o uso de um cilindro metálico com dimensões específicas. Diferente do cinturão, a célula de medir força (dinamômetro) é obrigatória, pois não será avaliado apenas a resistência do equipamento, mas também a sua eficiência em amortecer a queda. As normas brasileiras, seguindo padrões internacionais, exige que a força aplicada nas extremidades do talabarte ao final da queda não ultrapasse 6 kN. Sabemos que este valor é exigido para garantir uma frenagem segura da queda do trabalhador, sem risco de machucá-lo na retenção da queda.





RESU

No Brasil o Certificado de Aprovação é emitido para o conjunto de equipamentos de proteção individual de altura, ou seja, o cinturão e os equipamentos acessórios que podem ser utilizados com ele.

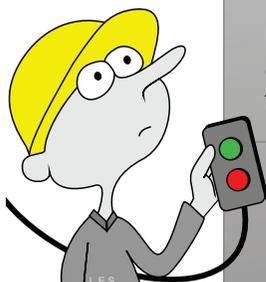
Todos os equipamentos individuais de altura, seja o cinturão ou os acessórios, devem ser certificados pelo sistema INMETRO.

Os acessórios como talabartes e trava-quadras devem constar no CA do cinturão, com os seus respectivos números de certificação pelo sistema INMETRO.

Os equipamentos certificados pelo sistema INMETRO tem que estar em conformidade com as normas técnicas brasileiras e serem avaliados com uma série de ensaios que incluem os estáticos e os dinâmicos.

No ensaio dinâmico, o cinturão de segurança é submetido a uma força próxima do dobro do que deve enfrentar numa situação real, e de 10 a 15 vezes o peso do manequim de teste.

No ensaio dinâmico, o absorvedor de energia tem a sua eficiência avaliada e para ser aprovado deve apresentar uma força no final da queda de no máximo 6 kN.



CONCLUSÕES

Questão

Um cinturão de segurança deve ter uma resistência maior quando usado por pessoas mais pesadas?



É o cinturão de segurança? Ele não precisa ter uma resistência maior quando usado por trabalhadores mais pesados?

Vamos considerar alguns fatos antes de responder objetivamente esta pergunta.

Relembrando, o cinturão de segurança tipo paraquedista é testado com os seguintes valores de força:

Ensaio estáticos



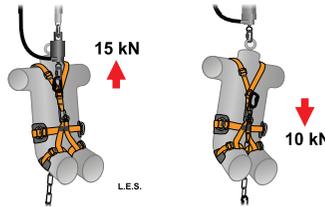
1.531 kgf

Força aplicada no sentido que testa a estrutura da **parte de baixo** do cinto.



1.020 kgf

Força aplicada no sentido que testa a estrutura da **parte de cima** do cinto.



Ensaio dinâmicos



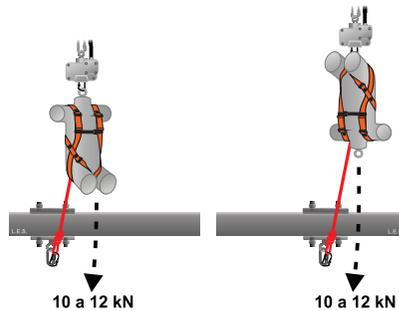
1.000 a 1.200 kgf

Queda com o manequim na posição em pé.



1.000 a 1.200 kgf

Queda com o manequim na posição invertida.



Obs.: A norma técnica não exige a medição da força nos ensaios dinâmicos, entretanto, as condições dos testes geram de 10 a 12 kN de força como resultado da queda.



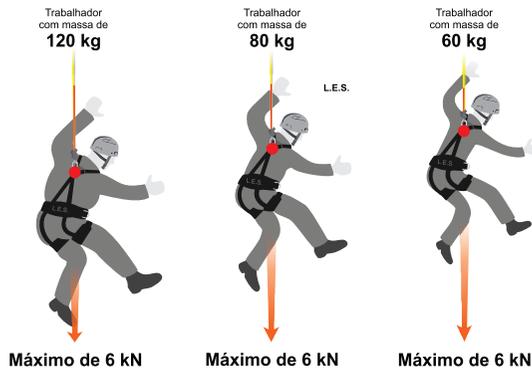
L.E.S.

Primeira conclusão

Se a menor força aplicada sobre o cinturão, durante o conjunto de testes, é de 1.000 kgf, devemos nos preocupar se um trabalhador tem 90 ou 130 kg?

Mas o peso da pessoa em queda livre vai gerar uma força muito maior!

Sim! E por causa disso devemos lembrar de um outro fato importante. Independente do peso do trabalhador, o sistema de retenção de queda deve garantir que a força resultante não seja maior que **6 kN** (612 kgf).



Conclusão final

Considerando que o cinturão é certificado com uma resistência de 10 a 15 vezes maior do que o peso de teste (100 kg), e que um sistema de retenção de queda não pode gerar mais do que 6 kN (612 kgf), este equipamento não é o problema ou a solução para os casos de trabalhadores muito pesados.

De nada adiantará ter um cinturão que suporte 20 kN de força se o corpo do trabalhador tem uma tolerância menor que 12 kN.

Então, a resposta objetiva a questão é **NÃO!** Não há a necessidade de um cinturão de segurança ter uma resistência maior para pessoas mais pesadas.



Mas eu sei que existem modelos de cinturões para pessoas com mais de 100 kg!

Existem de fato. Porém o foco é ergonômico e não de resistência. Há a necessidade de existirem modelos de cinturões para pessoas grandes ou pequenas, que possibilitem uma regulagem adequada, a posição correta dos elementos de engate e o conforto do trabalhador.



Não confunda método de teste com orientação de uso!

Atenção

Vários dos valores apresentados aqui são estimados, com base em cálculos simples e que não contemplam todas as variáveis como, por exemplo, os diferentes desempenhos entre marcas e modelos de um mesmo tipo de equipamento.



*Como assim?! Se o cinturão foi certificado para 100 kg, eu não vou colocá-lo em um trabalhador de 130 kg!
É óbvio!!!*

Pode até parecer óbvio para quem ouviu falar que as normas técnicas exigem o teste de alguns equipamentos de proteção individual com uma massa de 100 kg. Porém, essa linha de raciocínio está errada!

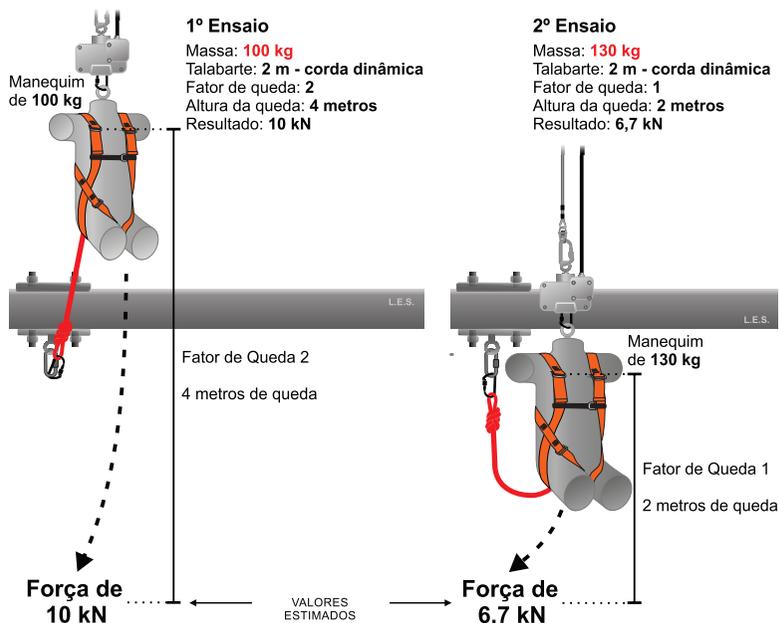
E para explicar o porque, temos que considerar alguns fatos, que são eles:

Os equipamentos não são certificados para 100 kg.

A massa (peso) de 100 kg faz parte de um conjunto de fatores, que no caso do cinturão de segurança, consiste também em um Fator de Queda 2, uma queda de 4 metros de altura e com um talabarte de capacidade limitada de absorção de energia. Estes fatores, juntos, provocam um resultado.

Com este conjunto os europeus conseguiram criar uma condição em que o cinturão é submetido a uma força próxima do limite do corpo humano. E esta força, que varia de 10 a 12 kN é o objetivo do teste.

E para enfatizar que a massa utilizada no teste não é, isoladamente, determinante, vamos usar o exemplo abaixo.



O primeiro ensaio foi muito mais severo na aplicação de força sobre o cinturão do que o segundo, embora tenha utilizado um manequim com peso menor.

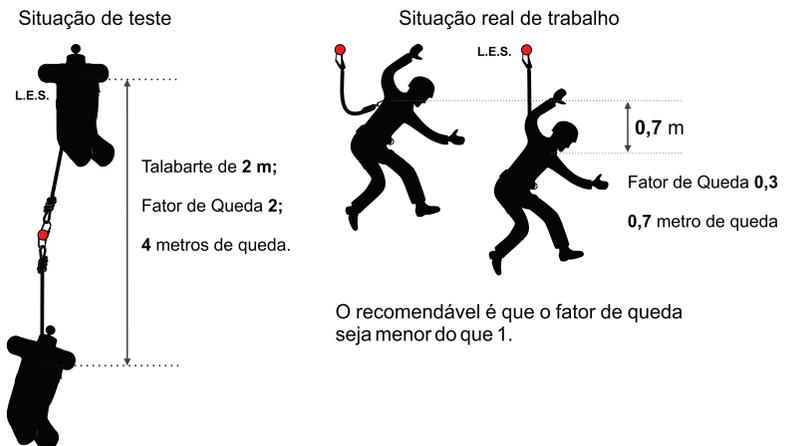
O conjunto de fatores do segundo ensaio foi diferente do primeiro, não apenas na massa, mas também no fator de queda e consequentemente na altura da queda. O resultado foi massa maior e força menor!

Primeira conclusão

A metodologia de ensaios não está focada no peso do trabalhador, mas nas forças que podem ser geradas pelo **sistema** de retenção de queda. O peso(massa) é apenas um dos fatores que influencia o resultado.

Fator de queda

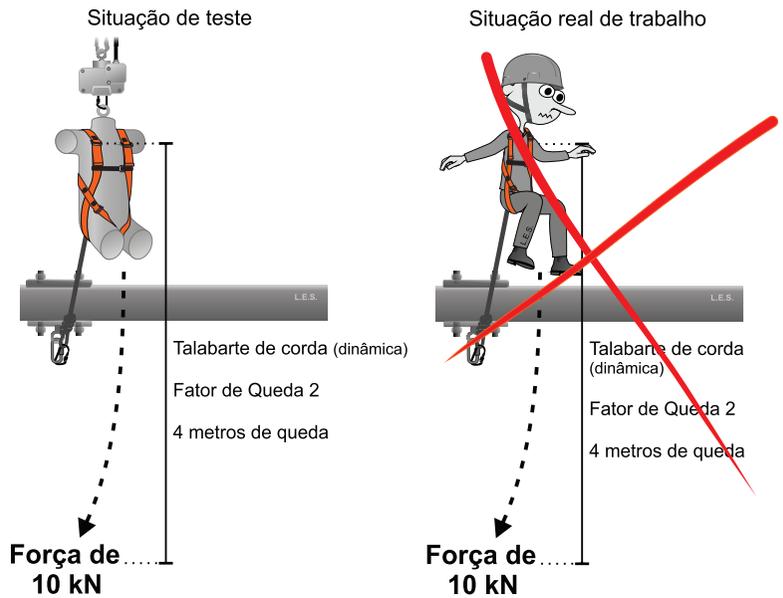
A metodologia de ensaios determina condições extremas para assegurar a confiabilidade do equipamento. Dentro desta proposta, o Fator de Queda adotado nos testes dinâmicos é o máximo esperado em situações de trabalho, mas o recomendável é que nas situações reais, se o risco não puder ser evitado, a queda seja a menor possível.



Algumas condições de testes de equipamentos não podem ser aplicadas nas situações reais de trabalho

A situação do teste dinâmico do cinturão de segurança é o melhor exemplo que podemos usar para diferenciar as metodologias de ensaio dos equipamentos das orientações de uso desses mesmos equipamentos.

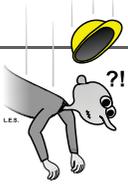
As condições e o resultado deste exemplo específico, utilizados no ambiente de laboratório, não podem ser replicadas numa situação que envolva uma pessoa.



Conclusão final

As normas técnicas de equipamentos para retenção de quedas foram elaboradas para determinar características e avaliar os equipamentos, e não visam orientar sobre a seleção, o uso e os cuidados desses mesmos equipamentos.

Administrar o Fator de Queda resolve problemas.



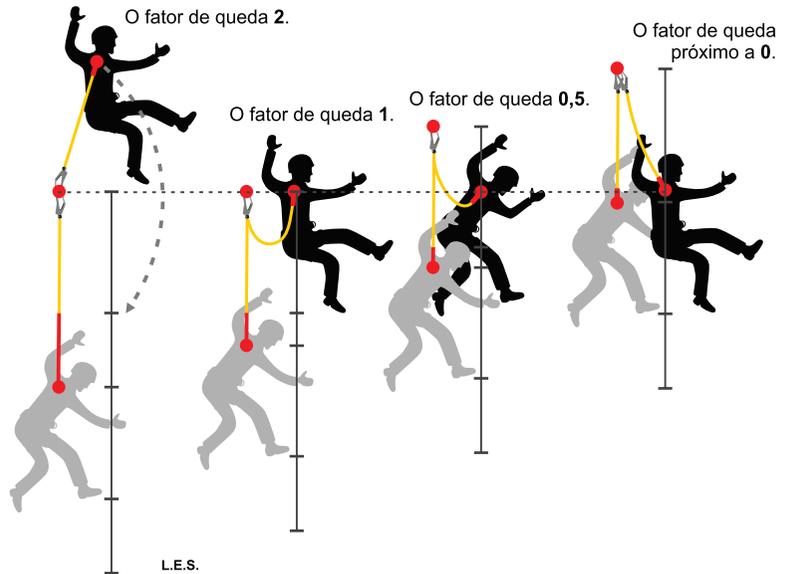
E como o Fator de Queda vai me ajudar?

Vamos listar os três principais benefícios em controlar o Fator de Queda. São eles:

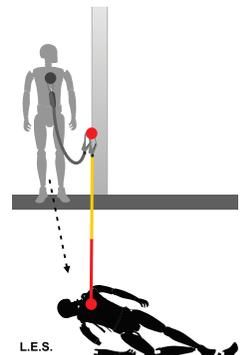
Ajudar a controlar a Zona Livre de Queda (ZLQ)

A ZLQ é calculada de forma diferente entre os tipos de EPI, mas usando o talabarte de segurança provido de absorvedor de energia como exemplo, podemos compreender como o controle do Fator de Queda pode ajudar.

A ZLQ informada pelo fabricante é determinada no teste em laboratório com o Fator de Queda 2, que tenta a exigir o máximo do equipamento, com a possibilidade de provocar a abertura total do absorvedor.

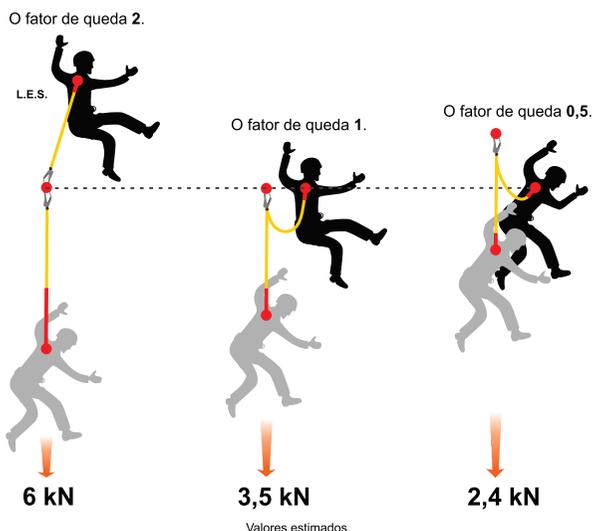


Desconsiderar a ZLQ pode gerar a morte do trabalhador.



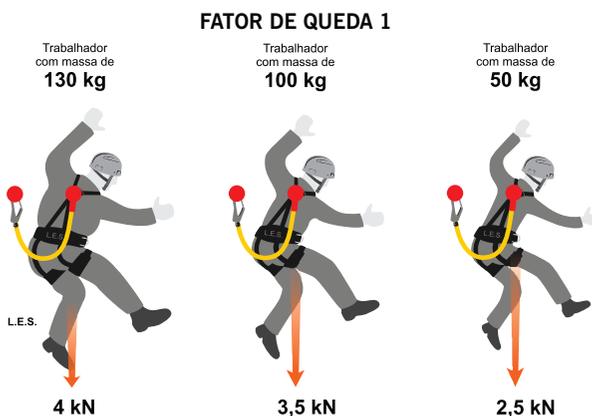
Exigir menos do sistema e do corpo do trabalhador

Com um fator de queda menor do que 2, a força gerada sobre o sistema e sobre o corpo do trabalhador será menor.



Aumentar a margem de segurança para os casos extremos

Com base no item anterior, um fator de queda menor tornará o sistema mais seguro para ser utilizado por trabalhadores com peso superior ou inferior aos valores considerados comuns.



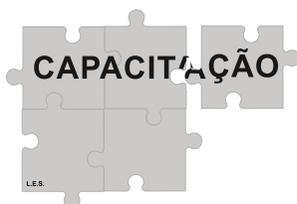
Valores estimados. Os cálculos de proporcionalidade não consideram as possíveis variáveis no desempenho dos absorvedores de marcas e modelos diferentes para pessoas acima ou muito abaixo dos 100 kg.

**Conclusão**

Mantenha o foco no que é, de fato, a solução de muitos problemas relacionados a queda de trabalhadores. Administre o fator de queda. Garanta que a queda, caso ocorra, seja a menor possível.

Não há a necessidade de se preocupar com a resistência do cinturão de segurança além do que é exigido em norma, porém, os sistemas de retenção de queda exigem a nossa atenção para no mínimo oito itens.

A segurança dos trabalhadores, dos mais leves aos mais pesados, está no planejamento, montagem, inspeção e uso do sistema completo.

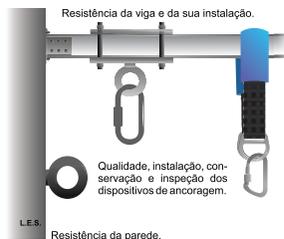


O treinamento aplicado aos **trabalhadores** deve ser baseado nas suas rotinas, considerando os problemas existentes e as soluções a serem aplicadas.

Sem a capacitação dos **gestores** o treinamento dos trabalhadores pode ser inócuo ou motivo de conflitos.



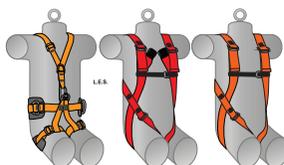
A capacitação dos gestores e dos trabalhadores garante a competência necessária para **a correta seleção, uso e manutenção dos equipamentos e sistemas.**



A avaliação, o planejamento, a instalação, o uso, a inspeção e a manutenção dos sistemas de ancoragem devem contemplar **todos os elementos que os compõe.**

Lembre-se que a resistência de todo o sistema é definido pelo seu **elo mais fraco.**

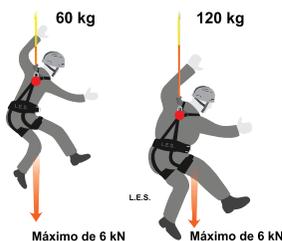
Outra lembrança importante é que a posição do ponto de ancoragem deve contribuir para administrar o **fator de queda e a zona livre de queda.**



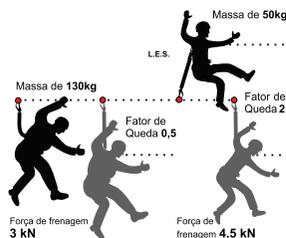
Não há a necessidade de selecionar o modelo do cinturão de segurança pela característica de resistência, além do que já é exigido pela norma, mas os critérios de **aplicação, tamanho, recursos, peso do equipamento e conforto** devem ser considerados.



O elemento de ligação entre o cinturão de segurança e o sistema de ancoragem deve contemplar **a resistência, a capacidade de absorver energia, a Zona Livre de Queda e a ergonomia.**

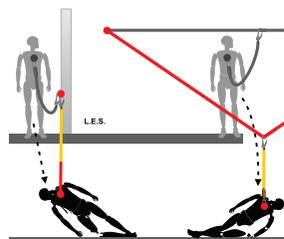


A massa é um dos fatores que compõe a energia potencial, a energia cinética e a força de impacto, portanto deve ser considerado, e com **atenção especial aos casos de pessoas muito pesadas ou muito leves.**



Os sistemas de retenção de queda devem ser planejados e adaptados as condições de trabalho e ao perfil físico dos trabalhadores.

Dois recursos que devem ser considerados para administrar os extremos de peso dos trabalhadores é **o fator de queda e as características do elemento de ligação,** com destaque para o desempenho na absorção e dissipação de energia.



De nada valerá planejar e estruturar o melhor sistema de retenção de queda, sob o aspecto de tecnologia, se este sistema não interromper a queda do trabalhador antes que ele alcance o chão!

Considere sempre a **Zona Livre de Queda.**

PRINCIPAIS REFERÊNCIAS

Coletânea de normas da ABNT sobre EPI contra quedas de altura; publicação de 2013 da ABRASEG.

Marco Aurélio Nalon; Força de Impacto sobre o Corpo Humano durante uma Queda em Ambiente de Trabalho.

Marco Aurélio Nalon; Forças na Escalada; FEMESP.

Anderson Aparecido Cassemiro; Queda dos corpos e Equações Diferenciais num primeiro curso de Cálculo; 2011; monografia desenvolvida como requisito para aprovação no curso (Especialização em Matemática para Professores) ênfase em cálculo, pela Universidade Federal de Minas Gerais.

Wilson Roberto Simon; Trabalhos em Altura; apresentação didática; 2011.

Wilson Roberto Simon; texto sobre cálculos de quedas com absorvedores de energia.

Luiz Makoto Ishibe; Cordas / Escalada em Rocha;
<http://www.halfdome.com.br/>.

Harry Crawford; Survivable Impact Forces on Human Body Constrained by Full Body Harness; for the Health and Safety Executive, 2003.

Marcelo Roberto Jimenez e Miguel Freitas; Estudo sobre as Proteções Fixas utilizadas no Brasil (Grampos); Rio de Janeiro 1999.

ABNT/CB-32; Sistemas e equipamentos de proteção individual para trabalhos em altura – Seleção, uso e manutenção; Projeto de norma 32:004.05-001; 2016.

Marcos Amazonas; Normas técnicas de trabalho em altura 6 kN força máxima de retenção de queda; apresentação didática apresentada no evento da ABIQUIM; 2015.

Gianfranco Pampalon; NR 35 Trabalhos em Altura; apresentação didática; 2015.

Guilherme Amaral; Dispositivos e Sistemas de Ancoragem: tendências mundiais e a direção que o Brasil está seguindo; apresentação didática da 3M/Capital Safety de 2015.

Website SÓ FÍSICA; diferentes conteúdos; acessado no período entre novembro de 2015 a fevereiro de 2016; <http://www.sofisica.com.br/>

Dulcidio Braz Júnior; O que é a "Força" G?; 2008; website Física na Veia; <http://fisicamoderna.blog.uol.com.br/>.

Paulo Augusto Bisquolo; UOL Educação / Física; Termodinâmica (1): Calor, trabalho e rendimento; <http://educacao.uol.com.br/>.

Agradecimentos

Não é possível realizar um projeto como este sem a contribuição de várias pessoas. Atribuo muito valor ao tempo despendido por profissionais que interromperam as suas rotinas para fazerem uma leitura crítica de partes do conteúdo deste livro, para conversarem sobre assuntos relacionados ao tema, para responderem e-mails sobre as minhas dúvidas, para selecionar e enviar material de pesquisa, para sugerir conteúdos e indicar erros. Sou muito grato!

Agradeço a consultora Jussara Nery, ao médico Oswaldo Bastos, ao Coronel aposentado da Força Aérea Suíça Jean-François Perrier, ao engenheiro, consultor e professor da Universidade de Lisboa Luís Alves Dias, aos engenheiros brasileiros Gianfranco Pampalon, Wilson Simon e Justo Alcazar. Aos físicos Alfredo Bonini, Marco Aurélio Nalon e Wmarley de Moraes Junior. Também ao químico Antonio Vladimir Vieira, chefe de laboratório, ao Marcos Amazonas da Honeywell e ao Guilherme Amaral da 3M/Capital Safety.

Agradeço também ao Laboratório Falcão Bauer, que muito ajudou através do seu encarregado de laboratório, o Thiago Rainet. Agradeço também a Hércules/Ansell cujas contribuições foram oferecidas através Rafael Emilio Cruz e do Marcio Ricardo Guimarães, a Bonier Equipamentos, através do Irvan Burda e um especial agradecimento a ANIMASEG / ABRASEG, dirigido ao seu presidente João Fabio Gíória (FESP) e ao seu diretor executivo Raul Casanova Junior.

Após a publicação da primeira edição recebi importantes contribuições do Físico João Vitor Frossard, aluno de Mestrado em Física na Universidade Federal de Juiz de Fora (MG).

Sobre o autor

Graduado em Gestão de Recursos Humanos pelo Centro Universitário do SENAC, Campos Santo Amaro (SP). É Técnico de Segurança do Trabalho e Bombeiro Profissional Civil. Atuou na área esportiva por mais de 30 anos acumulando experiência em atividades verticais e, no Brasil, teve a oportunidade de receber treinamentos com instrutores italianos, americanos e espanhóis. No mercado industrial atua há vinte anos como consultor, palestrante e instrutor. Nos últimos anos dedicou-se aos temas de espaços confinados, trabalhos em altura e resgate (salvamento) em ambiente industrial. Desde 2012 capacita e aperfeiçoa instrutores. É o autor de artigos técnicos, de três obras literárias sobre trabalho em altura e resgate e de um conjunto de vídeos instrucionais disponibilizados na internet.

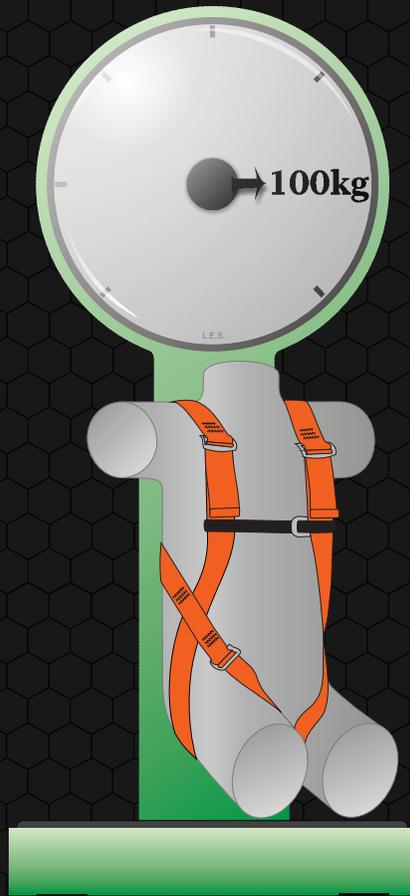
Luiz Eduardo Spinelli

 luiz@spinelli.blog.br

 www.spinelli.blog.br

 Spinelli Luiz

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



Um trabalhador com mais de cem quilos pode usar um cinturão de segurança?

Este livro responde esta pergunta e oferece uma base de conhecimento necessária para compreender os efeitos de uma queda e os requisitos necessários ao planejamento e a montagem de um sistema seguro de retenção de queda.