

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR
DE MINAS GERAIS
CENTRO DE ENSINO DE BOMBEIROS

SISTEMAS DE REDUÇÃO DE FORÇAS
- CSAlt -



Autor: William da Silva Rosa, Cap BM
Fotos: Cadetes Josias e Carolina - Asp 2005

Novembro - 2005

*"Se me derem uma alavanca e um ponto de apoio, deslocarei o mundo."
(Arquimedes, século III a.C.)*

ÍNDICE

Introdução.....	4
Origem histórica.....	5
Equipamentos.....	6
Tipos de polias.....	8
Vantagem mecânica.....	10
Efeito polia.....	11
Carga de trabalho.....	12
Polipasto em "Z"	13
Nomenclatura convencional <i>vs</i> versão UERE.....	13
Conclusão.....	17
Bibliografia.....	18

INTRODUÇÃO

O ser humano, no começo de sua existência na terra, agia por instinto e, com isso, como os outros animais irracionais, se impunha pela força física. Tal situação, no entanto, funcionava bem com seus colegas de raça ou com outros animais mais fracos.

Passado o tempo o homem descobriu que para sobressair-se sobre os demais habitantes do nosso planeta era preciso algo mais do que músculos e então passou a usar o cérebro. A partir de então "dominou" o planeta e tem, teoricamente, sobrepujado sobre todas as criaturas.

Partindo de tal linha de raciocínio passaremos a falar sobre os sistemas de redução de forças aplicados nas operações de salvamento em altura, os quais, pelas características de leveza e praticidade, resumir-se-ão em mosquetões, cordas e "polias".



ORIGEM HISTÓRICA

"Arquimedes, um dos mais importantes matemáticos da humanidade, viveu no séc. III a.C., na cidade de Siracusa, uma colônia grega situada na Sicília (sul da Itália) e foi a primeira pessoa que construiu e usou um sistema de roldanas com o qual ele podia deslocar grandes pesos, exercendo pequenas forças. Conta-se que, para mostrar a eficiência deste dispositivo, ele preparou uma espetacular demonstração experimental: um navio da frota real foi tirado da água, com grande esforço, por um grupo de soldados e colocado sobre a areia da praia. Ligando o sistema de roldanas ao navio, Arquimedes convidou o Rei Hieron para puxar pela extremidade livre da corda. Sem realizar grande esforço, Hieron conseguiu, sozinho, arrastar o navio sobre a areia, causando surpresa geral e fazendo aumentar ainda mais o prestígio de Arquimedes junto ao rei".¹

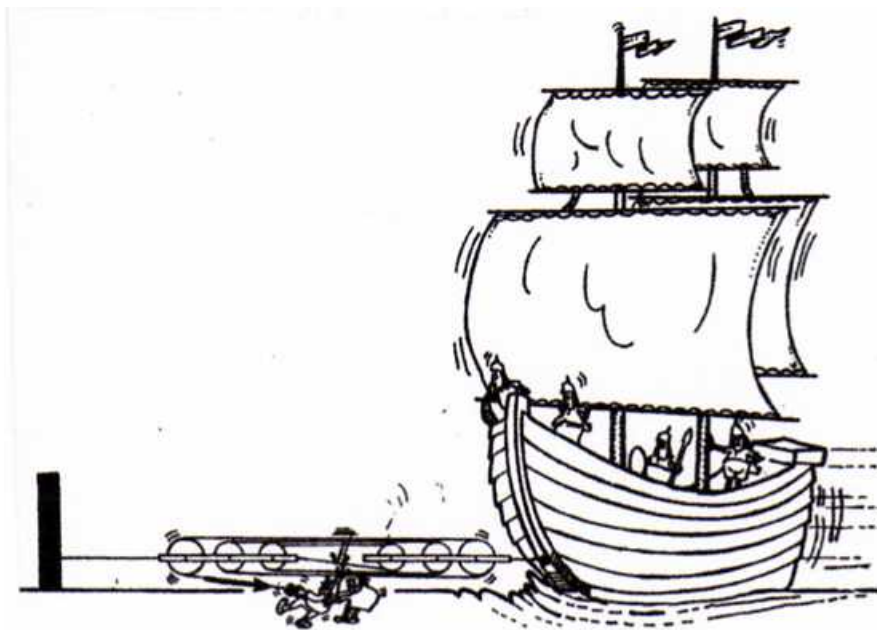


Fig. 8-35: O rei Hieron conseguiu, sozinho, arrastar um navio sobre a areia, usando um sistema de roldanas inventado por Arquimedes.

Na atividade BM Arquimedes está muito presente, tanto nas nos trabalhos em altura, quando utilizamos polias, quanto quando usamos outros equipamentos como o "arrombador" (princípio de alavanca) ou mesmo quando "equilibramos" nosso corpo durante um mergulho, por conhecermos a Lei do Empuxo.

¹ Beatriz Alvarenga e Antônio Máximo, Curso de Física 1, 2ª edição, pp. 260 a 262.

EQUIPAMENTOS

Para montarmos um sistema de redução de forças² utilizaremos basicamente cordas, mosquetões e polias. Para sistemas mais complexos poderemos incluir "nós" blocantes ou blocantes mecânicos para atuarem como Dispositivos de Captura Progressiva (DCP). Em caso de emergência e escassez de recursos, as polias poderão ser substituídas por mosquetões.

O termo polia será utilizado genericamente para definir o equipamento composto de placas laterais móveis ou fixas, composto de eixo ou rolamento sobre o qual gira uma "roldana" de metal (aço ou duralumínio) ou de "náilon".

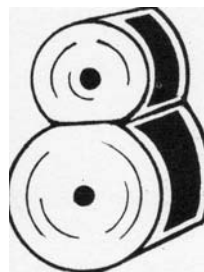


Já o nome "patesca" foi muito utilizado no CBMMG, porém, com a introdução de novas técnicas baseadas em bibliografias recentes, o termo "polia" ganhou força e ocupou seu lugar.

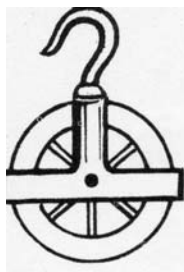
Existem outros equipamentos com princípios de funcionamento análogos às polias, porém com nomes e formatos diferentes, tais como: Cadernal, Polé, Catrina, Moitão e a própria Patesca³.



Cadernal



Polé



Catrina



Moitão



Patesca

As cordas a serem utilizadas devem ser de baixa elasticidade, ou seja, semi-estáticas ou estáticas⁴, e o diâmetro vai depender das polias, normalmente girando em torno de 0 a 13mm.

² Também podemos dizer "sistema multiplicador de forças". Tudo vai depender do referencial em relação à aplicação da força. Na ponta da corda realizaremos "menos" força para içar uma carga; já na carga será "aplicada" mais força, para que seja movimentada.

³ Ver Edil Daubian Ferreira em seu livro "Segurança", Vol. 4: Equipamentos de Bombeiros, p. 259.

Nas instalações de DCPs devemos dar preferência para nós auto-blocantes confeccionados com cordeles de 8mm uma vez que os blocantes mecânicos normalmente "mordem"⁵ muito a corda danificando-a com cargas superiores a 400 kgf. Uma exceção à regra é o "Rescucender"⁶, o qual não possui "garras" que danifiquem a corda, agindo simplesmente através de pressão e de acordo com a força de tração. Outra vantagem importante desse aparelho é que em caso de sobrecarga ou de força de choque importante, a corda pode deslizar, o que será um indicativo de que o sistema está sendo submetido a uma condição insegura.



Para o uso específico de nós auto-blocantes existem polias de base reta que facilitam o afrouxamento do nó, durante o içamento da carga.



Polia de base reta para uso com nó Prusik

⁴ A maioria das bibliografias só cita corda estática e dinâmica, não fazendo referência às semi-estáticas, que seriam aquelas que têm uma mínima elasticidade.

⁵ Tais aparelhos possuem um mordente em aço cromado munido de picos inclinados que se fixam à corda facilitando a "blocagem".

⁶ Bloqueador móvel (trava quedas para corda) destinado à progressão em corda fixa (em contra-segurança), ao içamento de cargas pesadas, a sistemas de redução de forças (em anti-retorno). Ver Catálogo PETZL "Work Solutions", 2005, p. 79.

TIPOS DE POLIAS

Existem uma infinidade de modelos de polias das mais variadas marcas, cada uma com sua peculiaridade. Algumas vêm inclusive conjugadas com funções de outros aparelhos, como é o caso da Mini Traxion⁷, que é constituída de uma roldana e um mordente de aço munido de dentes, o qual substitui um ascensor ou um nó bloqueante.



Polias simples, em tandem e placa de multi-ancoragem

De um modo geral temos polias de placas laterais fixas ou móveis, com uma ou mais roldanas (paralelas ou em "tandem"), de eixo ou rolamento, com ou sem flange de segurança⁸ e de roldanas de metal (aço ou duralumínio) ou de náilon (não recomendadas para içamento de carga humana ou cargas muito pesadas).

⁷ Modelo de polia da marca PETZL.

⁸ Prolongamento da polia que serve de "backup" no caso de rompimento do eixo principal. Em alguns modelos de polias há um pino unindo as duas placas da polia e que serve à mesma função. Em polias de placas laterais móveis normalmente não existem tais sistemas de "ressegurança".



Polia Tandem com flanges de segurança



Polia Simples com pino de segurança

É importante salientar que em polias de placas laterais fixas deve-se utilizar preferencialmente mosquetão oval, para que a força seja distribuída igualmente nos dois orifícios de fixação do mosquetão.

No caso da polia não possuir o flange de segurança, um mosquetão deve ser passado à corda e ficar preso à ancoragem, funcionando como um *backup* do sistema principal.



Backup confeccionado na polia sem flange ou pino de segurança

VANTAGEM MECÂNICA

O motivo principal de se utilizar polias reside na vantagem mecânica oferecida pelo sistema, o que possibilita mover grandes cargas com um mínimo esforço (lembrar do Rei Hieron e Arquimedes).

Por vantagem mecânica entendemos a relação entre o número de polias **MÓVEIS** do sistema e a redução da força necessária para deslocar a carga⁹. As polias fixas normalmente só direcionam a tração, agindo tão somente de forma a equilibrar as forças.



Devido ao atrito, peso da corda e das polias, não é conveniente montarmos um sistema com mais de quatro polias. Uma exceção é o Moitão ou Cardenal¹⁰, o qual possui três roldanas paralelas em cada peça.

Um cuidado especial que se deve ter é de verificar se a corda que está fixada diretamente na carga tem resistência (CR¹¹) suficiente para

⁹ No livro "Rescate Urbano en Altura", 2ª ed., 2002, Delfin Delgado relaciona a polia fixa com uma alavanca de 1ª classe, onde, de acordo com a posição da corda na roldana da polia, pode haver também uma vantagem mecânica. Por isso, a corda de "tração" deve ficar o mais paralela possível da corda onde está a carga. Dessa forma a vantagem mecânica seria de 1:1, ou seja, para erguermos 80 kgf teríamos que imprimir uma força de 80 kgf (sistema equilibrado).

¹⁰ Também denominada "talha", é uma peça de madeira ou metal, atravessada por um eixo onde se introduz uma alça destinada a içar pesos e a outros usos. (Edil Daubian Ferreira, Vol. 4, p. 249)

¹¹ Carga de Ruptura, ou seja, carga máxima suportada pelo equipamento antes de se romper.

suportar o peso a ser erguido. Levar em conta só a força "a menos" que estamos realizando é um erro grave que pode causar acidentes.

Uma atenção especial deve ser dada quanto ao uso do equipamento correto de acordo com a "carga" a ser içada. No caso de seres humanos o uso de polias de aço ou mesmo do Moitão é desaconselhável, para não dizer, proibido, uma vez que, devido ao seu peso, caso venha a cair, pode causar ferimentos graves na vítima e/ou levá-la à morte. Nesses casos o uso de polias de duralumínio é o ideal. Já para animais, devido ao peso excessivo, o recurso é a utilização de equipamentos mais "robustos".

EFEITO POLIA

Para a instalação de um sistema de redução de forças há necessidade de um sólido ponto de ancoragem, uma vez que será nele que descarregaremos o peso da carga e a força necessária para içá-la.

Um fato não muito raro, porém incorreto, é as pessoas relacionarem a força que está sendo aplicada na ancoragem com a força que exercem na corda para içar uma carga, ou seja, se para elevar 90 kgf aplicam 91 kgf na extremidade livre da corda, imaginam que a ancoragem estará recebendo 91 kgf de carga. Isso é falso, pois na situação do citado exemplo, a ancoragem estará suportando aproximadamente 181 kgf. Esse valor, portanto, refere-se ao "efeito polia".



Tal "efeito" é, então, o somatório de forças envolvidas no sistema e aplicado na ancoragem. Vale lembrar que, "se" a polia não estivesse FIXA, ela seria movimentada em direção à carga recebendo o dobro da força aplicada na extremidade livre da corda (agiria como se fosse uma polia móvel com uma vantagem mecânica de 2:1).

Assim sendo, concluímos que nosso ponto de ancoragem deve suportar, no mínimo, duas vezes o peso da carga a ser içada.

CARGA DE TRABALHO

Praticamente tudo que é construído pelo homem tem uma margem de segurança denominada tecnicamente como "fator de segurança"¹². Assim, desde o tijolo que é produzido ao cálculo dos pilares de sustentação de um prédio, leva-se em consideração tal "reserva" de segurança, com vistas a evitar acidentes no caso da estrutura ou equipamento (que é o nosso caso) ser exigida além do que prescreve o fabricante.

No caso específico das polias, é bom seguir as orientações do fabricante insertas no manual que as acompanha. Não sendo possível o acesso a tal manual, o que é mais comum do que se imagina, podemos adotar um valor cinco vezes menor¹³ do que o gravado no corpo do equipamento. Assim, uma polia com carga de ruptura (CR) de 3600 kgf (36 kN) terá uma carga de trabalho (CT) de 720 kgf (7,2 kN). Vale lembrar que esse valor refere-se ao ponto de fixação da polia à ancoragem; em cada corda poderemos aplicar apenas metade dessa força: 360 kgf (3,6 kN). Lembra-se do "efeito polia"?

¹² **Fator de Segurança (FS):** valor usado no cálculo da Carga de Trabalho (CT) para garantir uma margem de segurança na utilização dos equipamentos. Divide-se a Carga de Ruptura (CR) pelo Fator de Segurança (FS). Segundo a *National Fire Protection Association* (NFPA) 1983, edição 2001, para as atividades de bombeiros e salvamentos em alturas diversas, o Fator de Segurança (FS) para carga humana é "15", e para as demais cargas é "5". No Brasil, não temos uma doutrina consolidada a respeito do assunto. No Manual de Salvamento em Altura do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro o FS é "5", não havendo distinção entre carga humana ou material. Para polias normalmente o FS gira em torno de "5", segundo os fabricantes. 2. Relação entre a carga máxima esperada e a carga de ruptura de uma corda. Quanto maior a relação, maior será o fator de segurança.

¹³ Nesse caso o Fato de Segurança (FS) é 5 (cinco). Para cálculo da CT, dividimos a CR pelo FS.

POLIPASTO EM "Z"

Polipasto nada mais é do que um sistema de redução de forças normalmente constituído por corda e mosquetões, o qual proporciona uma vantagem mecânica de 3:1 e é muito utilizado no tracionamento de Cabos Aéreos¹⁴ e Tirolesas¹⁵.



Tracionamento indireto com polipasto em "Z"

NOMENCLATURA CONVENCIONAL vs VERSÃO UERE

Para facilitar o entendimento sobre o funcionamento de um sistema de redução de forças, criou-se a proporcionalidade entre a quantidade de corda puxada de um lado e a altura que a carga era elevada do lado oposto. Assim, quando puxamos 1,00m de corda e a carga se eleva em igual altura (1,00m), temos um sistema 1:1, ou seja, 1,00m para 1,00m. Já quando

¹⁴ **Cabo Aéreo:** corda tracionada entre dois pontos de ancoragem e que serve para transposição de tropa, equipamentos e/ou feridos. No Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais padronizou-se com os usos e costumes que cabo aéreo é na horizontal. Se for na vertical torna-se Tirolesa.

¹⁵ **Tirolesa:** travessia em corda fixa suspensa do solo e inclinada com ângulo máximo de 20° (vinte graus) em relação à horizontal.

puxamos 2,00m de corda para içarmos a carga em apenas 1,00m teremos um sistema 2:1 e assim sucessivamente. Este é o "sistema convencional".



Sistema 1:1



Sistema 2:1

Outra forma de entendermos o sistema convencional é contarmos o número de cordas que sustenta a carga encerrando a contagem na última corda que se movimenta para "cima", ou seja, a última polia fixa não interfere no sistema, pois como já vimos, ela só direciona a força não oferecendo vantagem mecânica. Dessa forma, se fixarmos uma ponta da corda numa ancoragem, passarmos o seio da corda numa polia móvel presa a uma carga e puxarmos a outra extremidade livre dessa corda, teremos uma vantagem mecânica de 2:1, tendo em vista que "duas cordas" estarão sustentando o peso (uma ponta na ancoragem e a outra em nossas mãos - o peso fica dividido em 50% entre os dois pontos).



Sistema convencional 6:1



Sistema convencional 6:1

Não obstante a facilidade de se entender o sistema convencional, na prática, ao montarmos sistemas de redução de forças fica difícil sabermos de pronto a proporção desejada. Dessa dificuldade então surgiu a nomenclatura criada pela UERE¹⁶ na qual a identificação de seus sistemas de redução de forças se faz pela contagem do número de polias utilizadas com o adendo para a quantidade de polias móveis no sistema. Eles ainda incluíram a diferença entre sistema longo (quando as polias móveis vão presas diretamente na carga) e curto (quando a polia móvel vai presa à corda através de um bloqueio) além de par (quando o operador se posiciona na mesma direção da carga) e ímpar (quando se posiciona na direção oposta). Uma "falha" de tal nomenclatura é justamente não refletir diretamente a vantagem mecânica que se obtém.



Sistema UERE
5:3 longo ímpar



Sistema UERE
6:3 longo par

Para facilitar o entendimento, seguem abaixo sugestões de montagens de sistemas de redução de forças. Observem que quando realizamos a força no sentido contrário ao da carga, o trabalho fica mais cômodo. Uma sugestão é, sempre que possível, iniciar a montagem de um sistema fixando a corda diretamente na carga. Com isso se gasta menos corda e a vantagem mecânica aumenta consideravelmente além de se gastar menos polias (um

¹⁶ Unidade Especial de Resgate e Emergências. Um grupo de voluntários que cuidava da segurança de escaladores em alguns pontos de escalada da RMBH e que escreveu uma apostila de técnicas verticais muito utilizada em cursos do CBMMG.

sistema 3:1 pode ser montado com apenas duas polias: lembrar do "polipasto em Z").



Sistema 5:1 na versão convencional e 4:2 longo ímpar na versão UERE.

Atenção ao detalhe da ancoragem presa à carga.

Um incômodo é a tração para cima sem polia direcional.

Sistema combinado onde foi utilizado um sistema 2:1 (convencional) com a corda vermelha, conectado com um sistema 3:1 (convencional) montado com a corda branca.

O somatório de tal sistema equivale a uma vantagem mecânica de 6:1, que é a multiplicação dos dois sistemas, ou seja, um peso de 90 kgf seria içado com uma força de apenas 15 kgf.

Atentar para o detalhe do DCP montado com um nó blocante (primeiro anel de fita da direita para a esquerda).



CONCLUSÃO

A escolha de um sistema de redução de forças, adequado à atividade que se vá executar, não é tarefa fácil, se considerarmos a agitação normal num local de ocorrência e ao fato de, às vezes, haver um número considerável de bombeiros e curiosos "loucos" para fazerem força ao comando do tradicional e sensacionalista "Ropeee!!!!"

O que se espera então de um profissional dedicado, zeloso, ciente de suas obrigações e responsabilidades, é que treine com sua guarnição e, principalmente, que ao receber o serviço já deixe montado um kit de salvamento em altura com uma corda e um sistema de redução de forças pré-montado, de forma que no teatro de operações baste fixar uma das polias na carga ou na ancoragem e realizar o salvamento.

Não obstante tudo que foi ensinado, não esqueçamos jamais que o melhor é sempre fazer o mais fácil. Portanto, não perca tempo montando sistemas complicados e complexos "se for mais viável" o emprego de outra técnica, ainda que esta se constitua do tradicional e sensacionalista (mas agora eficiente) "Ropeee!!!"

Bom trabalho e **SEGURANÇA ACIMA DE TUDO!**

BIBLIOGRAFIA

- BECK, Sérgio. Com Unhas e Dentes. 1ª ed., São Paulo: 1995.
- BROWN, Michael G. Engineering Practical Rope Rescue Systems. 1ª ed., E.U.A., 2000.
- CORPO DE BOMBEIROS/RJ. Manual de Instrução de Salvamento em Altura. 1ª ed., Rio de Janeiro, 1991.
- _____. Manual de Montanhismo. 1ª ed., Rio de Janeiro, 1991.
- CORPO DE SOCORRO EM MONTANHA (COSMO). Curso de Resgate em Montanha. 1ª ed., Paraná: 2004.
- DELGADO, Delfin. Rescate Urbano en Altura. 3ª ed., Madrid: Ediciones Desnivel, 2004.
- FASULO, David J. Autorrescate. 1ª ed., Madrid: Ediciones Desnivel, 2002
- FERREIRA, Edil Daubian. Segurança: equipamentos de bombeiros. Volume 4, São Paulo: Centrais Imppressoras Brasileiras Ltda., 1985.
- MARUMBY MONTANHISMO. Prevenção de Acidentes e Auto-Resgate em Escalada. 1ª ed., Belo Horizonte: 2005.
- PETZL. Catálogo Work Solutions. França, 2005.
- REDONDO, Jon. Manual de Seguridad en Trabajos Verticales. 1ª ed., Madrid: Ediciones Desnivel, 2001.
- ROSA, William da Silva. Apostila de Salvamento em Altura. Volume 2. 1ª ed., Belo Horizonte: 2005.
- ROSA, William da Silva. Nota de Aula do CHO BM: Sistema de Redução de Forças. Centro de Ensino de Bombeiros: Belo Horizonte, 2003.
- UNIDADE ESPECIAL DE RESGATE E EMERGÊNCIAS (UERE). Apostila de Técnicas Verticais. 2ª ed., Belo Horizonte, 2001.