

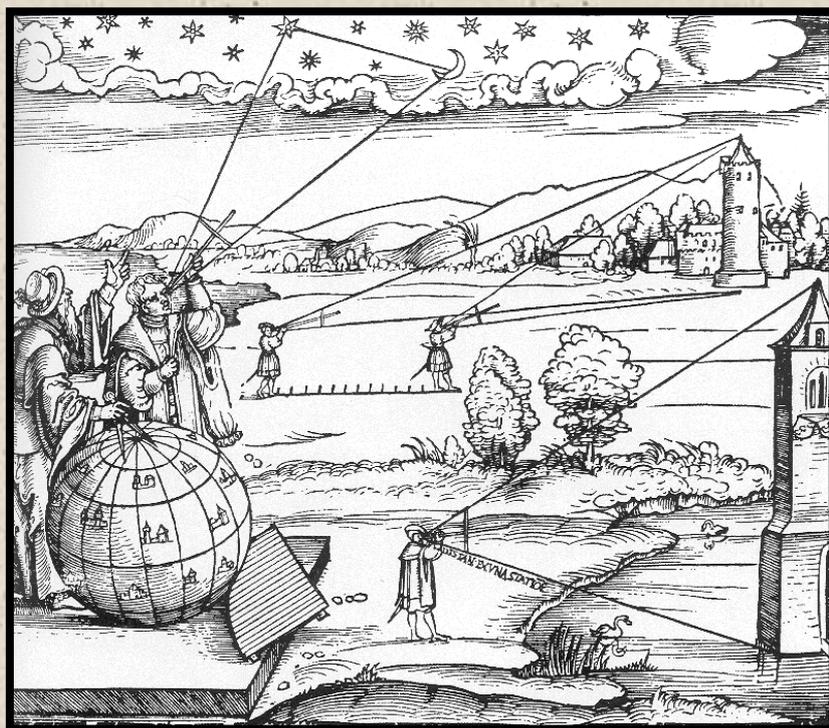
# MUSEU DE TOPOGRAFIA PROF. LAUREANO IBRAHIM CHAFFE

## DEPARTAMENTO DE GEODÉSIA - UFRGS

### A BALESTILHA E SEU USO

**Texto original Autor:** Luis de Albuquerque, Instrumentos de Navegação, Comissão Nacional para as Comemorações dos Descobrimientos Portugueses, Lisboa, 1988.

**Adaptação e figuras:** Iran Carlos Stalliviere Corrêa, Instituto de Geociências-UFRGS, Museu de Topografia prof. Laureano Ibrahim Chaffe, Brasil, 2012



*Fig. 1. A balestilha*

Pouco se conhece sobre a verdadeira origem da **balestilha** (fig.1), utilizada como instrumento astronômico e náutico, bem como, pouco se sabe sobre a relação dessa com o **báculo de Jacob**, utilizado pelos agrimensores medievais e da época do Renascimento. Muitas vezes a **balestilha** tem sido confundida com o **báculo de Jacob**.

Não se tem informações sobre a precisão dos resultados obtidos pelos marinheiros no uso da **balestilha**. Sabe-se pela história que a **balestilha** foi usada no século XVI pelos navegadores do Índico. Entretanto não se sabe até o momento dizer de maneira categórica se os portugueses obtiveram o conhecimento da **balestriha** a partir dos navegadores do Índico ou se, pelo contrário e como parece mais

provável, ter sido por influência dos navegadores europeus que os pilotos árabes e guzerates passaram a usar a **balestilha** com nítidas vantagens sobre o **kamal** (fig.2), o qual foi utilizado por várias gerações de navegadores, antes do século XVI.



*Fig. 2. O uso do Kamal ou Tavoletas da Índia*

Até a origem da palavra **balestilha** é uma incógnita a desvendar, pois não há consenso entre os especialistas; enquanto alguns a supõem de origem árabe (*balisti* = *altura*), outros lhe dão origem castelhana a partir do vocábulo *ballesta*.

Nos antigos textos portugueses do século XVI não se encontra qualquer alusão ao uso da **balestilha** por parte dos navegadores portugueses. Os guias náuticos do princípio do século XVI (1509 e 1516), não fazem referências a esse instrumento, embora falem do **astrolábio** e do **quadrante**; a carta escrita no descobrimento do Brasil em 1500, pelo mestre João Faras, dando conta ao rei D. Manuel das observações astronômicas que foram efetuadas desde a sua partida de Lisboa, não faz referência a **balestriha**. Também não é citada por Duarte Pacheco Pereira, no *Esmeraldo de situ orbis*, nem por Gaspar Correia, no Livro 1, das *Lendas da Índia*, o qual trata dos primeiros passos da navegação de alturas. É de supor que os navegadores não a tenham usado antes de 1518, pois, como salientou Luciano Pereira da Silva, ela não se encontra mencionada entre os instrumentos fornecidos a Fernão de Magalhães para a sua viagem de circum-navegação.

O *Livro de Marinharia* escrito por João de Lisboa contém, possivelmente, a mais antiga referência à utilização da **balestilha** em náutica, com indicações sobre a sua utilização nas observações solares: a obra não se encontra datado, mas é possível situá-la no primeiro quarto do século XVI, sendo provavelmente de data não muito posterior ao ano de 1514.

É provado que em 1529 havia **balestilhas** a bordo de alguns navios portugueses; efetivamente, em janeiro daquele ano, os corsários franceses Dumenille e Belleville, assaltaram, ao largo da costa da Guiné, o navio pesqueiro de João Gomes, de onde levaram o **astrolábio** e a **balestilha** utilizados na navegação da embarcação.

Na primeira metade do século XVI, André Pires designa as **Tavoletas da Índia** ou também conhecido como **kamal** por «**balhistinha do mouro**», o que demonstra que a palavra **balestilha** era de uso comum. No mesmo período, D. João de Castro também se refere ao uso do instrumento a bordo de navios, numa nota que em 1545 escreveu à margem do *Roteiro de Lisboa a Goa*; e Pedro Nunes já a menciona no Tratado da Esfera, publicado no ano de 1537.

Na segunda metade do século XVI o uso da **balestilha** se generalizou, e talvez até em prejuízo do **astrolábio**, isto é mostrado em um parágrafo da *Vida de Frei Pedro*, de André de Resende (1570): onde esse descreve «*honesta & meãa noticia da arte de marear, & da carta & agulha, & de tomar ha altura com ho instrumeto q hos mareãtes chamam Balhestilha, q lhes serue por astrolabio*». Esta alusão mostra claramente que a **balestilha** era de uso corrente na náutica portuguesa, na data da publicação do livro.

Ao falar da **balestilha** e da sua utilização náutica, Fontoura escreve que a mesma era conhecida na Europa desde o século XIV, embora sob nomes diversos e diferentes daquele que veio a se tornar corrente entre os marinheiros: **báculo de Jacob** (*Levi ben Oerson*), **virga visória** (*Jorge Purbáqueo*) e **rádio astronômico** (*Regiomontano*).

Fontoura confundiu nesta relação, o **báculo de Jacob** com a **balestilha**, mas tinha fundadas razões para afirmar que o primeiro destes instrumentos se divulgou na Europa graças ao tratado que o judeu

catalão David ben Gerson, sobre ele redigiu em 1342, e que logo foi publicado em versão latina. Dessa tradução há ainda hoje algumas cópias manuscritas em várias bibliotecas, o que logo testemunha algum interesse que a obra despertou. Todavia, apesar de não serem corriqueiros, existem outras referências ao **báculo de Jacob**, anteriormente ao final do século XV; S. Gunther, estudando a história desse instrumento, apenas encontrou um escrito, anterior à segunda metade do século XV e de autoria do franciscano Theodorico Rufficupa: é um códice da Biblioteca de Munique onde, sob o título de *Baculus Geometricus, alias baculus Jacob*, se descreve sumariamente o instrumento e se diz como utiliza-lo em operações de campo, e especialmente as com objetivos militares. Esse podia ser usado na avaliação de distâncias e alturas inacessíveis, indicações que também são frequentes em obras do século XVI.

Os textos em que ben Gerson e Ruffi descrevem o instrumento, referindo-se as suas aplicações, mostram que os dois autores ainda nem sequer previam as modificações que transformariam o **báculo de Jacob** na **balestilha**, tornando-o assim apto a ser utilizado astronomicamente, na determinação de um ângulo de altura ou na observação de uma distância angular entre duas estrelas. Efetivamente, enquanto a **balestilha** viria a fornecer ângulos em graus com precisão que, teoricamente, podiam ser levados até a unidade, os textos em que se explica o funcionamento do **báculo de Jacob** mostram que esse permitia obter comprimentos ou distâncias, muito embora o **báculo de Jacob**, também pudesse fornecer, conforme a maneira como esse fosse construído, cinco ou sete valores de ângulos, e com tal objetivo era o mesmo também manuseado por astrônomos.

A descrição do **báculo de Jacob** se encontra na obra de Sebastião Münster, publicada em 1551 (fig. 3). Segundo este autor, o **báculo de Jacob** era composto de duas peças: uma vara de três ou quatro côvados, a qual, na literatura portuguesa e espanhola, era denominada de **virote** (*designação mais usual*), **verga**, **flecha** ou **radio**, e sobre a qual deviam ser marcadas incisões que a dividissem em 6 ou 8 partes iguais; e outra peça chamada **soalha**, **sonaja** (*espanhol*), **transversário**, **franja** ou **martinete**, de comprimento igual a uma das partes em que se decompusera o **virote**, mas mais larga e dotada de um orifício em seu

centro, onde ajustadamente entrasse o **virote**, de tal modo que ao longo deste se pudesse deslocar a **soalha** (fig. 4).



*Fig. 3. Frontispício de Rudimenta Mathematica de Sebastião Münster (Basileia, 1559), onde se representam vários instrumentos usados em operações de altimetria, nomeadamente o quadrante, o quadrado geométrico e o báculo de Jacob, sendo este utilizado pelo homem figurado mais à direita.*



*Fig. 4. Báculo de Jacob*

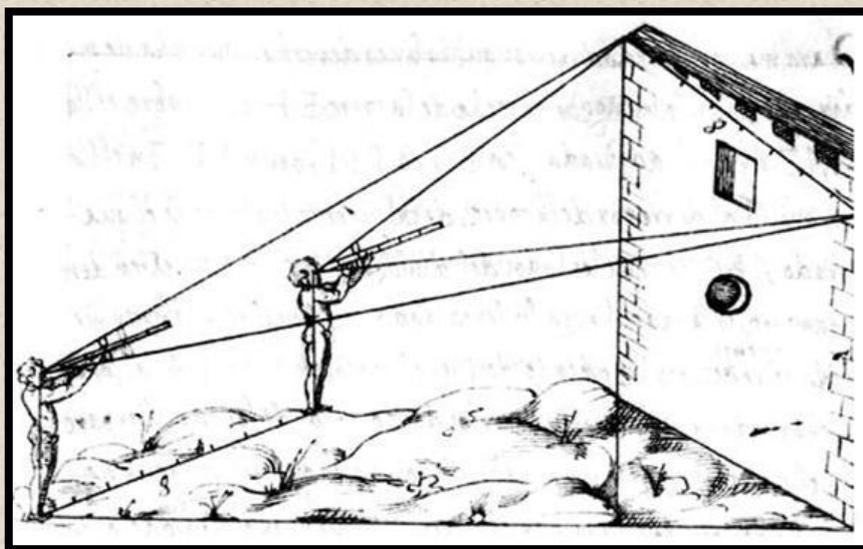
Na utilização do **báculo de Jacob** para se determinar indiretamente a distância entre dois pontos inacessíveis e afastados do observador,

Münster descreve que se devia assim proceder: fixada a **soalha** numa das divisões do virote, o observador aproximava-se ou afastava-se da distância a medir até que, visando por uma das extremidades dessa vara (*extremidade a que depois se chamou o **cós** do instrumento*), pudesse apontar os pontos extremos da distância que desejava conhecer pelas extremidades da **soalha** (figs. 5 e 6); marcada no terreno a posição então ocupada, o observador deveria passar a **soalha** à divisão imediata do **virote**, e deslocar-se até uma nova estação de onde pudesse repetir a pontaria; a medida do comprimento que separava os dois pontos ocupados nas observações, seria a da distância que se pretendia obter. É claro que um **báculo de Jacob** construído deste modo, podia fornecer alturas ou, alternativamente, cinco ou sete ângulos de duas direções, conforme o **virote** estivesse decomposto em seis ou oito partes iguais; esses ângulos seriam:

$$a_n = 2 \operatorname{arc} \tan \frac{1}{n}$$

Para  $n=1, \dots, 5$  ou  $n=1, \dots, 7$

sendo  $n$  o número de incisões marcadas na vara desde o **cós** até à divisão ocupada pela **soalha**. E é esta a diferença essencial existente entre os dispositivos do **báculo de Jacob** e da **bailestilha**, pois, este último instrumento era construído de modo a medir aqueles ângulos de grau em grau, dentro de certos limites.



*Fig. 5. Determinação indireta de uma distância com o báculo de Jacob, segundo gravura de Domingos Peres, inspirada numa gravura de Sebastião Münster. Neste caso as observações deviam ser feitas com a soalha paralela ao horizonte; a largura da muralha é igual à distância entre as duas estações de observação.*

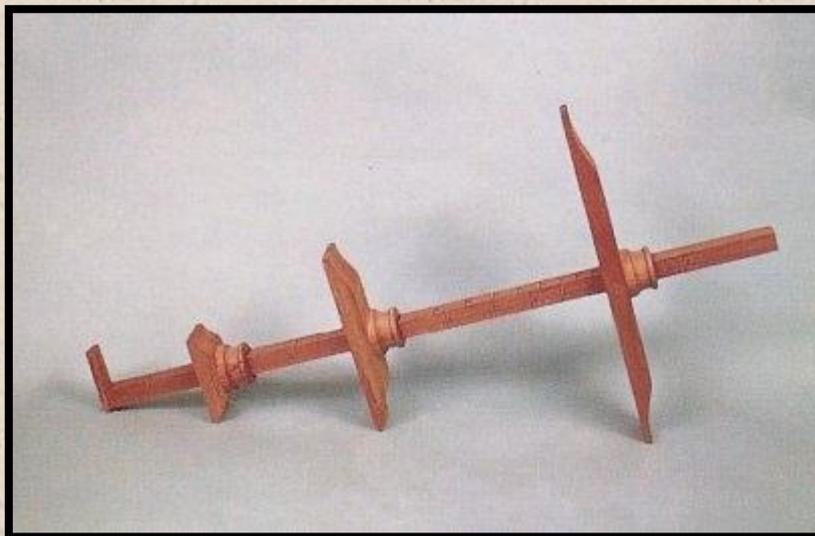


Nos capítulos seguintes o autor anota os vários usos astronômicos da **balestilha**, salientando a determinação de distâncias angulares de dois astros ou da grandeza de um eclipse, bem como à observação da altura do Sol ou de uma estrela acima do horizonte.

A solução gráfica apresentada por Frísio para o problema da construção da **balestilha** se encontra descrita em muitos livros do século XVI, que na sua maioria reproduzem exatamente, ou apenas com variantes de pouca monta, a explicação exposta por Werner em duas das suas obras (fig. 7 e 8); foram poucos os que recorreram às tábuas de funções circulares que aquele cosmógrafo flamengo também apresenta, mas Pedro Nunes tomou uma posição singular, propondo a utilização das mesmas tábuas em sentido inverso do exposto por Frísio, ao descrever um tipo de **balestilha** onde não se obtinha o ângulo de duas direções por leitura direta. Deixa-se a entrever que o caso de Gemma Frísio, ao distinguir os dois instrumentos, não era único; e, de fato, acontece o mesmo em outras obras – como, por exemplo, num manuscrito português anônimo do final do século XVI ou primeiros anos do século XVII, conservado na Biblioteca Geral da Universidade de Coimbra. Neste códice vem tratada graficamente a construção de uma «**balhestilha**» que serviria, como o texto esclarece, para observações de alturas da Estrela Polar e subsequente cálculo de latitudes (*problema de interesse náutico*); mas, separadamente, o manuscrito descreve também o «**báculo mensoris**» e explica como podia ser resolvido o problema de altimetria tratado por Münster. Parece não haver, portanto, margem para duvidar de que muitos autores do século XVI distinguiam o **báculo de Jacob** da **balestilha**. E como é a história deste último instrumento que, pelas suas aplicações em náutica, nos importa fazer, dele passaremos agora a tratar exclusivamente.

Apesar de não se saber o ano exato do aparecimento da **balestilha** nos levantamentos náuticos, sabe-se que este fora mencionado antes de 1529, em virtude da alusão que lhe faz um documento desse ano. Quer dizer: os capítulos que Gemma Frísio dedica à **balestilha** no seu *Radio Astronômico* não continham novidades para os cosmógrafos, pilotos e construtores de instrumentos portugueses, que estavam mais diretamente interessados no assunto. Também se sabe que a solução gráfica para a graduação do **virote** fora, antes de Frísio, exposta por João Werner em dois livros publicados em 1514 e 1524; não foi possível

consultar o primeiro, mas o segundo aproxima-se muito das instruções que a tal respeito dão algumas obras portuguesas e espanholas para o ensino de pilotos, nomeadamente a *Chronografia* de Manuel de Figueiredo. É possível que estas obras se tenham direta ou indiretamente inspirado em Werner.

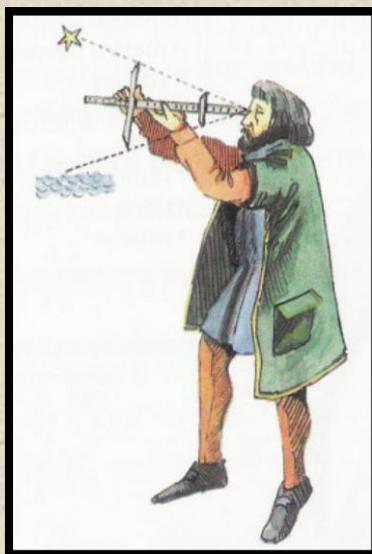


*Fig. 7 - A Balestilha com três soalhas*

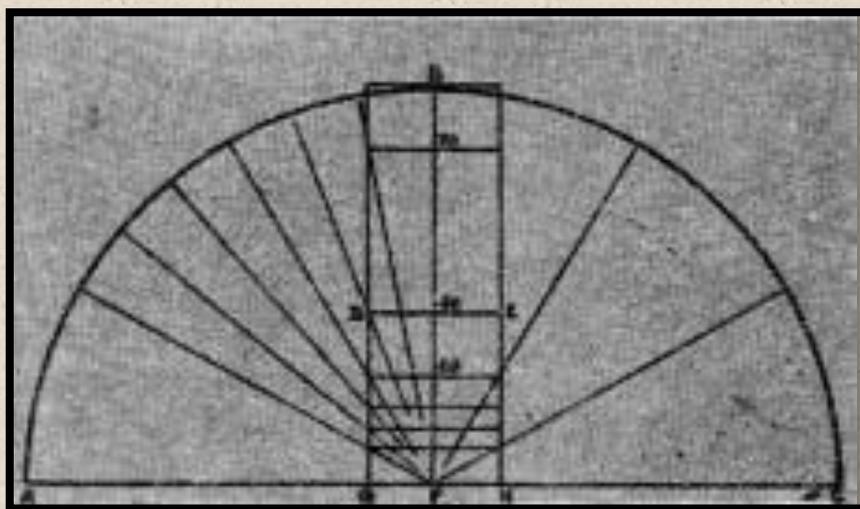
As referências em escritos castelhanos ao uso náutico da **balestilha** são posteriores às alusões que a ela se encontram na documentação portuguesa: sabe-se que é Pedro de Medina o autor que pela primeira vez fala do instrumento na *Arte de Navegar* (1545), indicando um modo de com ele se efetuar observações noturnas; no *Regimiento de Navegación* (edição de 1552) publica também a bem conhecida gravura de um marinheiro em atitude de visar a Ursa Menor com este instrumento (fig. 8).

Contudo, são espanhóis os mais antigos livros náuticos conhecidos onde se explica a construção corrente do instrumento. Assim, em 1551, Martin Cortez descreve a fabricação da **balestilha** no *Breue Compendio de la Sphera y de la arte de nauegar*, sendo o primeiro livro peninsular do seu gênero onde se encontra a solução gráfica de Werner para a graduação do **virote** (fig. 9) depois repetida pela maioria dos cosmógrafos que também trataram do assunto. Na edição de 1591 do *Compendio del Arte de Navegar*, Rodrigo Çamorano glosa as considerações de Cortez, sem nada lhes acrescentar de interessante; mas já no *Regimiento de Navegación* de Andre Garcia de Cespedes, editado em 1606, a exposição daquele cosmógrafo vem atualizada com o

acrécimo de uma referência às diversas **soalhas** que podiam ser adaptadas ao mesmo **virote** e assim descrito «partes de la vara de bailestilia, segun que la mitad del transversario tiene 100 de las mismas».



*Fig. 8. Observação da Estrela Polar com a balestilha, segundo Pedro de Medina, Regimiento de Navegación*



*Fig. 9. Construção gráfica das divisões do virote de uma balestilha segundo Werner, na edição comentada da Cosmografla de Pedro Apiano.*

Esta última consideração, aliás pouco prática, também se encontra numa obra de Pedro Nunes. Todavia, antes da edição daquele tratado náutico de Cespedes, aparecera em Portugal o primeiro escrito impresso com descrição minuciosa da **balestilha** e do processo de Werner: a *Chronographia* do cosmógrafo Manuel de Figueiredo, que saiu do prelo em 1603.

Cumprido dizer, no entanto, que em 1596 o P.e Francisco da Costa, no capítulo XVIII da *Arte de Navegar* que lia aos alunos do Colégio de Santo Antão, de Lisboa, expusera a esses a metodologia das construções gráficas que conduziam à graduação de um **virote**, declarando no contexto do seu curso que tal prática não oferecia dificuldades, e considerando-se por tal razão dispensado de entrar em pormenores sobre o caso.

Segundo Manuel de Figueiredo, para se construir uma **balestilha** se devia tomar uma tábua plana ou lisa «*de cedro ou pereiro*», onde se desenharia um quarto de círculo  $BDC$  de centro  $A$  (fig. 10), cujo arco  $BD$ , de  $45^\circ$ , deveria ser decomposto em 90 partes iguais (*por dificuldade de construção, na figura desenharam-se apenas os raios de 20 em 20 divisões, ou seja, de 10 em 10 graus, como aliás o texto esclarece*). Se o comprimento da soalha (*ou pinacídio, como diz Figueiredo, de acordo com Werner*) fosse  $GAE$ , sendo  $A$  o ponto médio deste segmento, se traçaria por  $E$  uma paralela  $EF$  a  $AB$ ; os pontos onde os raios da divisão do semiquadrante interceptassem  $EF$ , corresponderiam às divisões do virote com este comprimento.

Preparada então uma régua de pau brasil ou cedro, com o comprimento  $EF$  e secção quadrada, para que ficasse graduada como o **virote** do instrumento bastava transportar para ela, a partir de um dos extremos (*que posteriormente seria o cós da balestilha*), os intervalos marcados sobre  $EF$  pelo processo acima descrito.

A **soalha**, que devia ter «de largura três vezes quase quanto for a regra», seria do tamanho da linha  $GE$ , «& no meo lhe faremos hum buraco quadrado quanto caiba a regra (i.e. o virote) o mais justo q puder ser». É claro que a graduação da **balestilha** devia basear-se na relação tirada do triângulo retângulo  $OAS$  da figura 12, onde  $2l$  é o comprimento da **soalha**  $SS'$ ,  $O$  é o **cós** do virote  $OO'$  e  $x$  a distância do ponto  $O$  ao ponto onde devia ser escrito o valor  $\alpha$  da altura observada para a posição da balestilha que a figura 11 representa.

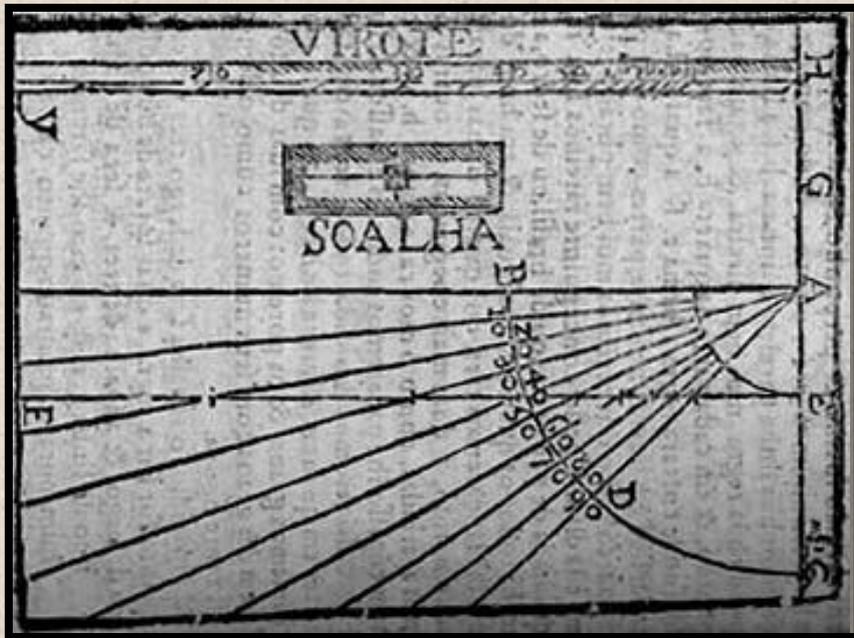


Fig. 10. Construção da escala do virote de uma balestilha, segundo Manuel de Figueiredo, *Chronographia*, Lisboa 1603.

$$x = l \cot \frac{\alpha}{2} \quad (1)$$

O método descrito por Figueiredo consiste em determinar graficamente os valores de  $x$  segundo (1), para  $\alpha$  escolhido de 10 em 10 graus, uma vez conhecido o comprimento  $l$  da **semi-soalha**. No entanto, aproveitando uma sugestão que encontrara no tratado *De Cometa* de João de Monteregio, Pedro Nunes havia proposto no *De arte atque navigandi libri duo* a construção de **balestilhas** dotadas de graduações lineares no **virote** e na **soalha**.

Designando por  $l$  o valor fixo do comprimento da **semi-soalha**, e por  $x$  a distância do ponto que definia a sua posição no **virote** ao **cós** do instrumento; suponha-se preparada uma tabela que forneça o valor do ângulo oposto ao cateto  $l$  num triângulo retângulo em que o outro cateto seja igual a  $x$  (*quer dizer, uma tábua de tangentes*); deste modo, a leitura de  $x$  no **virote**, o cálculo de  $l/x$  e a consulta à tabela conduziam imediatamente à semidistância angular dos dois astros a que fora apontada a **balestilha** (*na verdade, da igualdade (1)*), obtém-se:

$$\frac{\alpha}{2} = \arctan \frac{l}{x}$$

Quanto à tabela a que o cosmógrafo se refere, vê-se que ela foi calculada para um triângulo em que o cateto fixo (*correspondente à*

*semi-soalha* l) tinha um comprimento de 1200 unidades. Em virtude do cálculo subsidiário que cada operação exigia, não era aconselhável usar em náutica **balestilhas** com **viotes** dotados de graduações lineares, como as referidas por Pedro Nunes, muito embora isso facilitasse um pouco a construção de tais instrumentos; e é por isso, sem dúvida, que nos livros posteriormente escritos por cosmógrafos não volta a se encontrar qualquer alusão a **balestilhas** assim preparadas.

No entanto, as mesmas tabelas das semitangentes de alturas foram, anos mais tarde, usadas na graduação dos **viotes** em unidades sexagesimais, como informa Francisco Xavier do Rego.

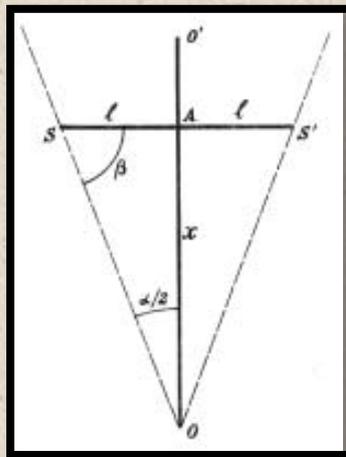
As obras citadas de Pedro Apiano e Pedro Nunes mostram que os astrônomos recorriam com frequência à **balestilha** com a finalidade de determinarem distâncias angulares de dois astros, sendo Pedro Nunes categórico ao declarar que só nestas observações era vantajoso o seu uso. Manuel de Figueiredo, segue-lhe o exemplo: no capítulo intitulado «*Do uso do radio astronomico*», é ao problema da distância angular de duas estrelas que dedica a sua atenção (fig. 12), referindo-se apenas ligeiramente, no final do texto, às observações de alturas que interessavam à náutica, mas sem dar qualquer indicação prática sobre o caso.

Estas indicações também foram omitidas por todos os autores portugueses que o precederam e se referem ao emprego do instrumento na pilotagem, mas se encontram no manuscrito anônimo da Biblioteca Geral da Universidade de Coimbra. O texto tem alguns passos obscuros e errados, mas é clara a maneira como indica que, para se obter com a **balestilha** a altura de uma estrela, o observador devia aproximar um dos olhos do **cós** do **virote**, e depois deslocar a **soalha** até que por uma das extremidades desta visasse o horizonte e pela outra o astro; a leitura no **virote** dava logo, no caso das **balestilhas** náuticas, a coordenada procurada.

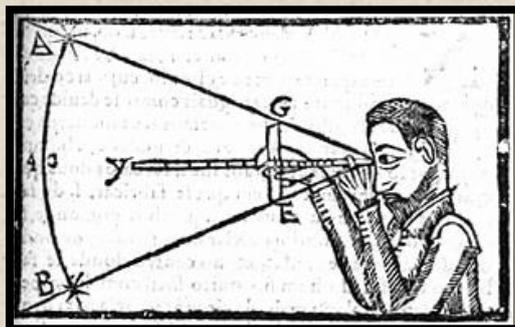
Sabe-se, no entanto, que o instrumento também foi desde muito cedo usado na observação das alturas meridianas do Sol, pois o Livro de Marinharia compilado por João de Lisboa já insere um «*regimento pera tomar ho Sol pella balhestilha*». Como a luz solar cegaria o observador se ele procurasse visar o ponto médio do astro diretamente, os livros de

instruções para os pilotos aconselhavam duas maneiras de proceder que evitariam tal inconveniente:

- a) ou fazer a pontaria de modo que a **soalha** encobrisse o Sol, como se diz no regimento de João de Lisboa, onde se aconselha o leitor a apontar ao astro «*por cima*», «*por que he melhor pera te não seguar*»; neste caso era necessário diminuir à altura observada o semidiâmetro aparente do Sol, avaliado em  $15'$ , como igualmente se lê no mesmo Livro de Marinharia: «*E quando ho tomares por çima tiraras - 15 - minutos e tomãdo ho no meio nã lhe acreçentaras nem tiraras nnhua cousa*».
- b) ou observar de costas voltadas para o astro – procedimento a que os navegadores chamaram «*observação de revés*», introduzindo junto ao cós da **balestilha** um dispositivo de reflexão dotado de uma fenda, através da qual se visaria o horizonte, e fazendo as pontarias aproximando a vista do extremo do **virote** oposto ao seu **cós**; é o que mostra a figura 13, reproduzida de uma obra de Manuel Pimentel.



*Fig. 11. Justificação geométrica da construção da escala do virote de uma balestilha*



*Fig. 12. Observação da distância angular entre duas estrelas, segundo a Chronographia de Manuel de Figueiredo*

No *De arte atque ratione navigandi*, Pedro Nunes condena claramente o uso da **balestilha** em observações de alturas; e o prestígio do cosmógrafo que escreveu essas palavras de desabono talvez tenha contribuído para uma corrente de opinião desfavorável ao instrumento que se alonga pelo século XVII: de fato, são muitos os autores que reprovam o uso náutico da **balestilha**, chegando alguns, como Antônio Carvalho da Costa, a nem sequer se referir nos seus escritos.

João Baptista Lavanha, no introito do Regimento Náutico (1595), chama a atenção do «*pratico navegante*» para os inconvenientes da **balestilha**, não só por considerar ser muito difícil fazer a dupla mirada que o seu uso exigia, mas ainda por lhe parecer que era impossível durante a noite distinguir o horizonte.

Dando menor número de razões do que Lavanha, Simão de Oliveira também em 1606 condena o instrumento de maneira categórica, pois expressamente afirma que a observação das estrelas não se devia fazer «*com a Ballestilha de que os navegantes usam, por nela haver erros de importância, q he a razão porque de sua fabrica & vso não tocamos cousa alguma, desejando se não vse della*», mas sim do **quadrante**.

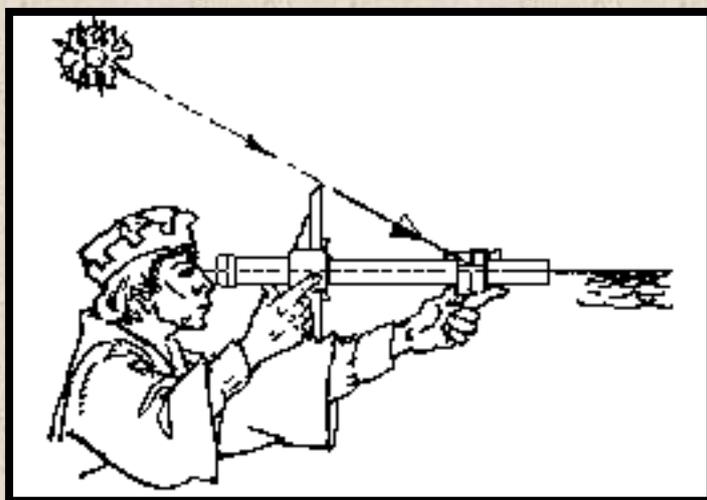
Em 1628, Antônio de Naiera reforça as razões de Lavanha com argumentos. De fato, reconhecendo que a **balestilha** era teoricamente perfeita, duvida que na prática conduzisse a observações corretas, por várias razões: o balanço do mar; a impossibilidade da vista poder, sem movimento, fazer as duas miradas dirigidas pelos extremos da **soalha**; e, finalmente, por raras vezes ser fácil apontar à linha do horizonte, em virtude da neblina que frequentemente cobria o mar.

Todavia, já desde 1614, pelo menos, Manuel de Figueiredo salienta que, além desses motivos que levariam a pôr de lado as **balestilhas**, outro motivo havia que também desaconselhava o seu uso: o fato de serem feitas de madeira, o que não permitia inscrever nos **virotos** graduações rigorosas. Assim, é de admitir que a opinião negativa de Pedro Nunes tenha exercido grande influência nos cosmógrafos portugueses; mas na vizinha Espanha, sucedeu o contrário, pois, como se viu, quase todos os técnicos aconselhavam o uso do instrumento e ensinavam como podia ser construído.

No final do século XVI o cosmógrafo Simon de Tobar chegou até a publicar um extenso tratado onde estudou o regimento do norte e a sua aplicação prática com a **balestilha**; o autor detém-se, em particular, na análise da crítica que Pedro Nunes fizera ao regimento e ao instrumento, rebatendo as razões apresentadas pelo cosmógrafo português, e adotando uma posição mais maleável através destas palavras: *«Ya que aprovamos ei uso de la Ballestilia con las dichas limitaciones, sera necessario defender-la en lo que injustamente le condena los que aconsejam que totalmente se dexe su uso, como fue el doctor Pedro Nunes»*.

Por outro lado, tudo indica que os homens do mar ficaram indiferentes às críticas dos cosmógrafos portugueses, assim se explicando que estes, durante tantos anos, sentissem a necessidade de insistir nos seus reparos.

De resto, a maneira favorável como alguns dos responsáveis pelas navegações encarava a **balestilha**, foi certamente um encorajamento para que os pilotos continuassem a usá-la, a despeito das advertências dos técnicos; há, na verdade, documentos oficiais que, ignorando o parecer dos cosmógrafos, chegam a aconselhar abertamente, ou a impor, o uso do instrumento na navegação – como acontece, por exemplo, num regimento de 1608 em que se prescrevem as observações que Gaspar Jorge do Couto devia realizar durante a sua viagem para a Índia: um dos seus itens ordena-lhe que observe *«as estrelas do polo austral, o sítio e a grandeza, com hum radio astronomico, pelo modo que se vos comunicou»*.



*Fig. 13. Observação da altura do Sol com a balestilha, «de revés»*

Não se deve estranhar, portanto, que numa das lições de um curso ditado por Luís Serrão Pimentel em 1673, de que se conhecem os apontamentos compilados por um dos seus ouvintes, o cosmógrafo aludisse à utilização da **balestilha** sem qualquer das restrições de Nunes, Lavanha e aqueles que mais de perto os seguiram. Lendo as obras de Luis Serrão Pimentel, de Manuel Pimentel e de Francisco Xavier do Rego, apuramos até que, com o decorrer dos anos, foram sendo sucessivamente introduzidos alguns aperfeiçoamentos nas **balestilhas**; ao mesmo tempo reconhecia-se que, operando cuidadosamente, podiam com elas ser feitas observações de suficiente correção para os fins em vista.

Uma das inovações – que é talvez a mais antiga, embora não seja possível datá-la – consistiu em inscrever em duas das faces do **virote** graduações diferentes, uma em altura e outra em distâncias zenitais; esta seria utilizada nas observações solares, quando se tinha em vista a aplicação do regimento da altura do polo ao meio-dia referido às últimas coordenadas. Em 1673 Serrão Pimentel fala de **balestilhas** assim duplamente graduadas, mas com palavras de desaprovação: *«por abuso de alguns matemáticos, se introduziram na balestilha duas contas, uma em que se põe o caráter do Sol, para se conhecer, e outro com o caráter de estrela; a primeira mostra as distâncias do zênite para baixo, até o horizonte [quer dizer: distâncias zenitais]; a segunda as alturas do horizonte para cima, até o zênite»*.

Outra novidade data pelo menos de 1606, pois vem exposta no *Regimiento de Navegación* de Garcia de Céspedes, editado nesse ano: diz respeito à maneira de graduar o **virote**, abandonando-se o processo gráfico, até então seguido, para se passar à utilização de tábuas de tangentes e de cotangentes.

Além do cosmógrafo espanhol, trataram do assunto Manuel Pimentel (1712) e Francisco Xavier do Rego (1764); mas, como vimos, a ideia já anteriormente fora apresentada por Pedro Nunes, embora este a tivesse procurado aproveitar noutra sentida Para esse efeito o último daqueles cosmógrafos arbitrou à **semi-soalha** o comprimento de 1000 unidades, e tabelou (fig. 14) as distâncias do **cós** da **balestilha** aos pontos em que a **soalha** devia ser colocada no **virote** para se observarem os ângulos de altura; assim, por exemplo, à altura de  $60^\circ$  a igualdade anterior faz

corresponder  $x=1000.\text{tg}60^\circ=1732$ , que é, na verdade, o número escrito na tábua ao lado do ângulo de  $60^\circ$ . As indicações fornecidas por Manuel Pimentel sobre o assunto só diferem no pormenor de ter tabelado as distâncias que, em cada caso, deviam separar a **soalha** do extremo do **virote** oposto ao **cós** do instrumento.

$$x = l \cotg \frac{\alpha}{2}$$

Por outro lado, os primeiros observadores a usar a **balestilha** devem ter logo reconhecido que as graduações marcadas nas proximidades do extremo ocular do **virote** eram, na prática, inúteis, por se tornar impossível fazer as duas pontarias simultâneas pelos extremos da **soalha**, quando esta se encontrasse muito próxima aos olhos do observador; e por isso os construtores passaram a graduar os **virotos** só até uma distância do **cós** que tornasse viável a dupla mirada; mas como deste modo limitavam o campo das observações possíveis, adotaram igualmente a solução de construir para a mesma **balestilha**, **soalhas** de dimensões diferentes, inserindo a escala a ser usada com cada uma delas nas várias faces do **virote**. Garcia de Cespedes já no seu tratado de 1606 se refere a **balestilhas** com dois transversários (*um seria duplo do outro*); mas esse número aumentou depois para quatro (*tantos quantas as faces disponíveis da flecha*), que segundo Manuel Pimentel teria comprimentos proporcionais a 1, 2, 4 e 8.

**TABOADA**  
Das partes iguais, de que se trata da Soalha, comem 1000, principiando da extremo ocular do Virote até cada hum dos graus.

Gr.	Partes	Gr.	Partes	Gr.	Partes
1	1000	31	1690	61	1052
2	1732	32	1681	62	1044
3	2598	33	1672	63	1036
4	3526	34	1663	64	1028
5	4512	35	1654	65	1020
6	5554	36	1645	66	1012
7	6650	37	1636	67	1004
8	7800	38	1627	68	996
9	8992	39	1618	69	988
10	10314	40	1609	70	980
11	11764	41	1600	71	972
12	13340	42	1591	72	964
13	15040	43	1582	73	956
14	16864	44	1573	74	948
15	18812	45	1564	75	940
16	20884	46	1555	76	932
17	23080	47	1546	77	924
18	25400	48	1537	78	916
19	27844	49	1528	79	908
20	30412	50	1519	80	900
21	33104	51	1510	81	892
22	35920	52	1501	82	884
23	38860	53	1492	83	876
24	41924	54	1483	84	868
25	45112	55	1474	85	860
26	48424	56	1465	86	852
27	51860	57	1456	87	844
28	55420	58	1447	88	836
29	59104	59	1438	89	828
30	62912	60	1429	90	820

Fig. 14. Tábua para a graduação do virote de uma balestilha, suposta a soalha de 1000 unidades, segundo Francisco Xavier do Rego, Tratado Completo de Navegação.

Ao lado de cada grau de altura, a tabela dá o produto de 1000 unidades pela cotangente da semialtura, de acordo com a relação ou seja, a distância que devia separar a soalha da ocular do virote, para se ter a altura  $a$

$$x = l \cotg \frac{\alpha}{2}$$

Este último cosmógrafo descreve também, justificando as suas indicações pelo cálculo, a «*experiência que os pilotos fazem para saber que soalha serve em alguma das quatro faces*» da vara: a **soalha inteira** que se ajuntasse «*entre os números 30 e 60 do virote*» era a que correspondia «*aquela face*». Efetivamente, sejam  $BC$  a **semi-soalha** (fig. 15) e  $CF$  a linha do **virote** onde marcamos graficamente os pontos de divisão  $D, E$  e  $F$  correspondentes às alturas de  $30^\circ$ ,  $60^\circ$  e  $75^\circ$ ; a afirmação de Pimentel exige a verificação da igualdade  $EF = 2 BC$ ; ora na figura é equilátero o triângulo  $DEC$  e isósceles (os ângulos em  $D$  e em  $E$  são ambos de  $30^\circ$ ) o triângulo  $CIE$ ; assim, tem-se  $IC = IE = IB = BC$ , e portanto  $EB = 2 BC$ ; mas também é isósceles (os ângulos em  $B$  e  $F$  são de  $15^\circ$ ) o triângulo  $BEF$ , donde  $EB = EF$ , e por consequência  $EF = 2 BC$ , como se queria provar.

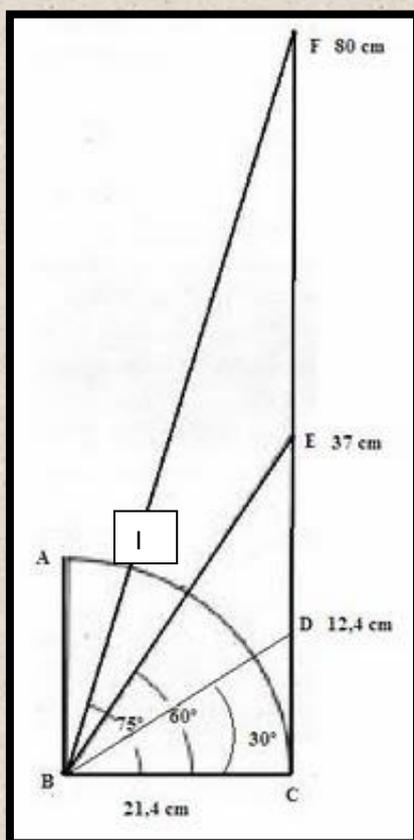


Fig. 15. Explicação da maneira de escolher a soalha correspondente a uma das quatro graduações do virote, segundo Manuel Pimentel, na Arte de Navegar

Além disso os cosmógrafos deram-se conta de que, observando os pilotos nos convés dos navios, e portanto acima do plano do horizonte, os ângulos medidos com a **balestilha** vinham errados por excesso ou por defeito, não importando se a observação feita fosse de face voltada ao astro ou de revés, como mostra a fig. 16, que ilustra o caso da observação direta. O desenho mostra que o erro cometido, dado por  $h' - h = ACO$ , apenas dependia da distância  $OT$  do observador à superfície do mar, podendo ser calculado em função desta distância a partir do triângulo retângulo  $OAC$ , uma vez fixado o valor do raio da terra  $R$ ; de fato, tem-se:

$$h' - h = \text{arc sec} \left( 1 + \frac{OT}{R} \right)$$

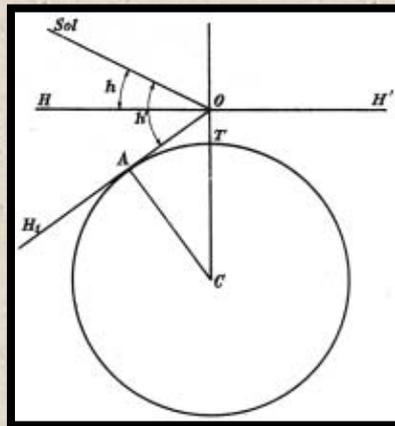
Esta igualdade podia ser utilizada para tabelar as diferenças  $h' - h$  em função das alturas  $OT$ , e assim fez Xavier do Rego no seu tratado, onde publica um quadro com os índices seguintes (*as alturas sobre o mar são dadas em pés, e as diferenças  $h' - h$  em minutos arco*):

Alturas s/ o mar	$h' - h$	Alturas s/ o mar	$h' - h$	Alturas s/ o mar	$h' - h$
1	1	40	6	100	11
5	2	50	7	200	14
10	3	60	8	300	17
17	4	70	9	400	20
25	5	80	10	500	22

Verifica-se que, para a altura normal do convés de um navio, era insignificante o erro cometido pelos pilotos que não corrigissem, de acordo com os índices da tabela, as alturas medidas com a **balestilha**.

À maneira como foi contornada a maior dificuldade com que os marinheiros depararam ao utilizar a **balestilha** – ou seja, a impossibilidade de visarem o horizonte, quer nas observações de estrelas durante a noite, quer nas observações do Sol, quando se verificasse a interposição da terra (*ilha ou uma elevação da costa*) ou a existência de nevoeiros à superfície do mar. A solução adotada já se encontra exposta na *Arte de Navegar* de Pedro de Medina; consistia em tomar uma vara da

altura de um homem e terminada por uma cruz, que um auxiliar devia manter em posição perpendicular ao plano do horizonte, na frente do piloto e no plano da vertical do astro; a observação devia então ser feita de modo que pelo extremo inferior da **soalha** o observador visasse a aresta superior da cruz, visto esta linha de pontaria ser paralela ao horizonte; no caso de se operar em noite muito escura, colocar-se-ia no cimo da vara «*um señal de fuego*», o que permitia fazer mais facilmente esta última pontaria.



*Fig. 16. Erro cometido na altura observada com a balestilha, proveniente do observador se encontrar acima do horizonte, segundo Francisco Xavier do Rego, Tratado Completo da Navegação*

## Construção de uma balestilha

Como estão indicado no texto de Manuel de Figueiredo, as **balestilhas** eram construídas em madeira. Para sua construção era necessário seguir os seguintes passos ou decisões:

- **Medidas apropriadas para o virote e para as soalhas.**

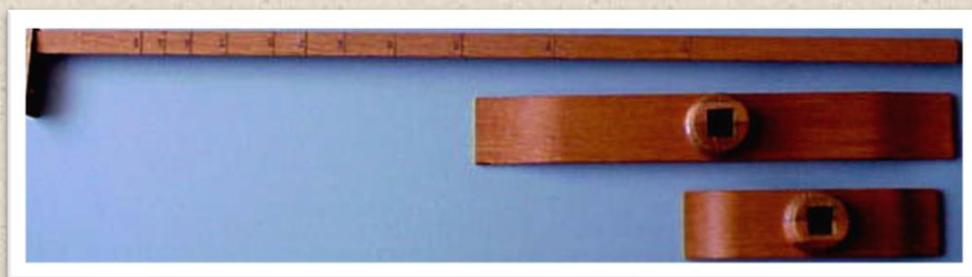
### **Virote.**

Nos modelos que existem em alguns museus (*cópia de modelos existentes na Comissão dos Descobrimentos*), e cuja fotografia se pode ver aqui, o comprimento do **virote** é 86 cm. Pode adotar-se uma medida menor. Por exemplo, o **virote** poderá ter um comprimento de 76 cm. A seção do **virote** é um quadrado com 2 cm de lado.



## Soalhas.

Para permitir a medição de alturas diferentes, utilizavam-se várias **soalhas**, de comprimentos diferentes, para o mesmo **virote**. No modelo já indicado, existem 3 **soalhas**. A cada **soalha** corresponde a graduação numa das faces do **virote**. Vê-se assim que o máximo número de **soalhas** é quatro. No caso das três **soalhas**, elas têm comprimentos iguais a  $1/2$ ,  $1/4$ , e  $1/8$  do comprimento do **virote**. Assim, os seus comprimentos (para um virote de 76 cm) serão 38, 19 e 9,5 cm, respectivamente. Como indicado por Manuel de Figueiredo, as **soalhas** têm um furo quadrado, no centro, de modo a poderem deslizar no **virote** (ver fotografia abaixo, onde estão apenas duas das três soalhas).



Para ajudar a que a **soalha** se mantenha perpendicular ao **virote**, pode ser conveniente colar-lhe uma peça com um furo igual e alinhado com o já referido (ver fotografia).



## Representação das peças para serem fabricadas numa marcenaria

Não é necessário, evidentemente, que os alunos "fabriquem" a **balestilha** em madeira. Mais útil é que os alunos discutam e executem os tipos de representação necessários (com indicação de escala) para que a obra possa ser entregue a uma marcenaria. Há que decidir os tipos de vistas necessários: alçado e planta? desenho em perspectiva?

## Gradação do virote

Construída uma (ou mais) **balestilhas**, há que graduar os **virote**. Para isso, o ideal é propor e realizar uma atividade que incluirá:

- uma interpretação cuidadosa do processo de Werner, descrito por Manuel de Figueiredo; o contato dos alunos com este texto do início do século XVII (e o esforço necessário para interpretá-lo corretamente) não é um passatempo... é muito educativo sobre a história da utilização da geometria em atividades concretas e eminentemente úteis como esta.
- o desenho (com régua e compasso ou recorrendo a um programa de geometria (como o *Geometer's Sketchpad*)) de uma figura análoga à de Manuel de Figueiredo e o traçado das marcas (no virote) correspondendo à gradação (um desenho para cada soalha).
- a transferência para o **virote** (em madeira) das três gradações assim obtidas (uma para cada uma de três faces do virote).

