

A INTERACÇÃO OLHO-OCULAR: O AFASTAMENTO DA PUPILA DE SAÍDA E A POSIÇÃO DE OBSERVAÇÃO

Guilherme de Almeida

g.almeida@vizzavi.pt

Neste artigo abordam-se alguns dados úteis sobre o conceito de *afastamento da pupila de saída* (ou relevo ocular) e apresentam-se algumas conclusões eventualmente inesperadas sobre a prática deste mesmo conceito. Na primeira parte definirei o conceito de pupila de saída; na segunda parte procurarei apresentar termos consagrados e utilizáveis em alternativa a nomes menos felizes que por vezes se utilizam; na terceira parte apresentarei conclusões sobre um facto pouco conhecido mas de consequências interessantes na observação visual da Lua e dos planetas.

1. A pupila de saída

Em qualquer telescópio, usado para observação visual, há sempre uma *objectiva* (espelho, lente ou sistema misto de lentes e espelhos). A objectiva produz, do objecto observado, uma imagem muito nítida (imagem primária) que o olho do observador vai examinar, auxiliado pela *ocular*. Esta ocular actua como uma lupa de elevada qualidade e é constituída por várias lentes. Mas a ocular também forma uma pequena imagem da objectiva (Fig. 1), situando-se tal imagem um pouco atrás da última das lentes que constituem a ocular. Essa imagem da objectiva, *produzida pela ocular* é a pupila de saída. Na realidade, é pela pupila de saída que passa toda a luz que o telescópio admitiu. E é na pupila de saída que o feixe luminoso que emerge da ocular apresenta a secção transversal mínima.

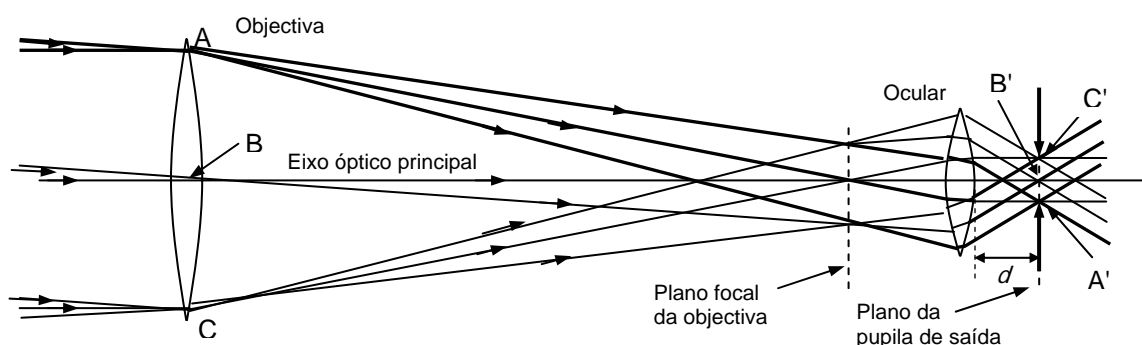


Fig. 1. Formação da pupila de saída. Os pontos A', B' e C' (na pupila de saída) são as imagens dos pontos A, B e C da objectiva. A objectiva e a ocular foram representadas como lentes simples e d é o afastamento da pupila de saída. Os raios luminosos vindos do ponto A foram evidenciados. Guilherme de Almeida (2006).

Convém recordar que o diâmetro da pupila de saída (d_{ps}) pode ser dado por uma das seguintes equações:

$$d_s = \frac{D}{A} \quad \text{ou} \quad d_s = \frac{f_{oc}}{(f_{ob}/D)},$$

onde D é a abertura do telescópio, A é a amplificação, f_{oc} representa a distância focal da ocular e f_{ob} é a distância focal da objectiva do telescópio. O factor (f_{ob}/D) é, portanto, a razão focal do telescópio.

2. O afastamento da pupila de saída

O "afastamento da pupila de saída" é um termo que designa a distância entre a pupila de saída de um telescópio e a última superfície óptica da ocular [a distância d na Fig. 2(a)], entendendo-se como "última superfície óptica" aquela que se encontra mais próxima do olho do observador. O afastamento da pupila de saída depende do tipo de ocular, da sua distância focal e, em menor grau, depende ainda da distância focal da objectiva do telescópio.

Na língua inglesa o termo é conhecido como *eye relief* e tem a vantagem de só utilizar 2 palavras, ao passo que "afastamento da pupila de saída", embora seja uma designação perfeitamente adequada, peca por ser demasiado longa. Na língua francesa os termos mais utilizados são: *relief d'oeil* (idêntico ao nosso "relevo ocular", *distance d'oeil* e ainda *tirage d'anneau oculaire*, designação igualmente clara pois "tirage", em francês, sugere uma distância.

Há outra designação usada em português, "relevo ocular", que é particularmente feliz e só usa 2 palavras. Os dois termos que acabo de referir serão, em português, os mais convenientes: descrevem a grandeza referida, com clareza, independentemente de serem mais ou menos longos. Na língua portuguesa há quem utilize a designação "alívio de olho" ou alívio do olho", que parecem ser pouco apropriados pois sugerem algo que alivia, ou atenua dores ou sintomas, um pouco como um medicamento que tira, alivia ou acalma alguma dor ou incómodo...

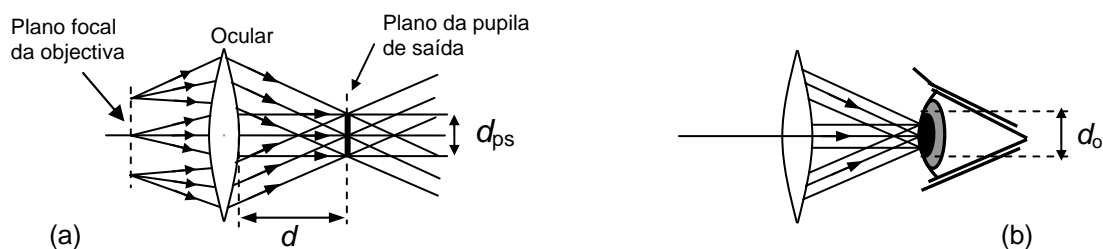


Fig. 2. Pormenor do lado direito da figura 1 e caracterização de alguns elementos referidos no texto. Note-se que os raios luminosos vindos de cada ponto observado (no plano focal da objectiva) emergem da ocular e chegam ao olho como feixes de raios paralelos entre si, de largura aproximadamente igual à pupila de saída. Guilherme de Almeida (2006).

3. A pupila do olho e as observações exigentes

É sabido que a pupila do olho humano (pupila ocular) regula automaticamente o seu diâmetro de acordo com a luz que recebe e que esse diâmetro varia aproximadamente entre 2 mm e 7 mm. No entanto, as regiões marginais do sistema óptico do olho (principalmente as da córnea) são opticamente menos perfeitas do que as regiões centrais. É também nas regiões periféricas da córnea que o astigmatismo (se existir) é mais notório.

Pelas razões apontadas, o olho só se pode considerar praticamente perfeito (do ponto de vista óptico), quando a sua pupila mede menos do que 1 mm de diâmetro. Se for maior, as aberrações do sistema óptico do nosso órgão visual serão mais evidentes e o desempenho óptico do olho será inferior. Por isso, nas observações exigentes da Lua e dos planetas devem utilizar-se pupilas de saída de 0,6 mm... 1 mm. Nestas condições, ainda que a pupila do olho tenha mais de 1 mm de diâmetro, a *parte utilizada* da pupila do olho terá menos de 1 mm de diâmetro, devido à pequena pupila de saída. As observações do céu profundo constituem um caso diferente, que permite o uso de maiores pupilas de saída, pois o poder separador do olho é inferior devido ao uso da visão nocturna (visão escotópica): as suas imperfeições ópticas passam despercebidas nesse "modo de utilização".

4. Até que distância da ocular se pode colocar o olho do observador?

Há uma particularidade curiosa sobre o relevo ocular. Se o campo aparente da ocular não for muito grande e se, nas condições de uso, o diâmetro da pupila do olho for maior do que o diâmetro da pupila de saída, na verdade o observador pode ver todo o campo aparente que a ocular disponibiliza, sem necessidade de aproximar o olho à distância correspondente ao afastamento da pupila de saída".

Sejam (Fig. 3):

B — campo aparente da ocular;

d — afastamento da pupila de saída;

r_o — medida do raio da pupila do olho, nas condições em que observa;

d_o — diâmetro da pupila do olho, nas condições em que observa;

r_{ps} — medida do raio da pupila de saída do telescópio, com essa ocular;

d_{ps} — diâmetro da pupila de saída do telescópio, com essa ocular;

S — distância máxima da última superfície óptica da ocular até à córnea do olho do observador, de modo que a totalidade do campo dessa ocular ainda seja visível.

Como se pode ver na Fig. 3, o olho do observador ainda capta a totalidade dos raios luminosos úteis (vindos do campo da ocular) quando está à distância máxima S , medida entre a última superfície óptica da ocular e a córnea do olho, dada por

$$S = d + \frac{(r_o - r_{ps})}{\tan(B/2)} \quad \text{ou seja, como } r_o = d_o/2 \text{ e } r_{ps} = d_{ps}/2, \quad S = d + \frac{(d_o - d_{ps})}{2 \tan(B/2)} \quad [\text{Equação (1)}]$$

Nestas condições, o observador poderá ainda ver todo o campo que a ocular oferece.

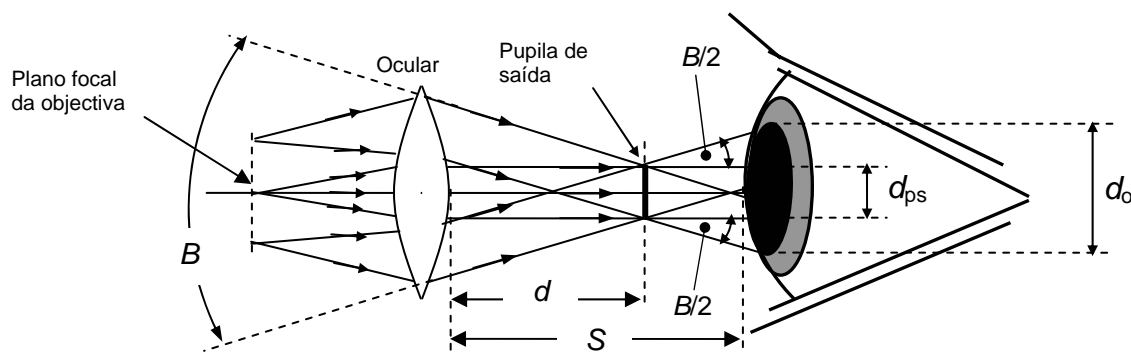


Fig. 3. Ilustração explicativa da equação 1, nas condições da Fig. 2 (b). Para maior clareza, o diâmetro da pupila de saída foi exagerado. Veja-se que a distância $S - d = (r_o - r_{ps}) / \tan(B/2)$. Guilherme de Almeida (2006).

Por exemplo, se a pupila de saída tiver 1 mm de diâmetro (situação normal numa observação planetária), com $B/2 = 22^\circ$ (caso de uma ocular ortoscópica típica, que tem $B = 44^\circ$) sendo o afastamento da pupila de saída de 4 mm (admitindo um caso severo) e considerando que o diâmetro da pupila do olho mede 4,4 mm, teremos

$$S = 4 + \frac{(4,4 - 1,0)}{2 \tan(22^\circ)} = 8,2 \text{ mm.} \quad \text{Se diâmetro da pupila de saída fosse } d_{ps} = 0,8 \text{ mm, com } d_o = 4,9 \text{ mm, a}$$

equação (1) determinaria uma distância S ainda maior, de 9,1 mm. Como se pode ver, a distância S é nestes casos bastante superior a d . De facto, depois da pupila de saída, o feixe emergente da ocular volta a "abrir" (Fig. 3), mas o olho ainda captará todos os raios luminosos a uma distância superior, dentro de certos limites, se a pupila do olho for maior do que a pupila de saída, como sucede nestes casos. Na observação nocturna, é fácil a pupila do olho ser maior do que a pupila de saída do telescópio e medir 4,4 mm de diâmetro quando se observa um planeta. Na observação da Lua o olho recebe mais luz e a pupila fecha mais. Refazendo o exemplo anterior para a pupila do olho com 2,2 mm de diâmetro, já teremos:

$$S = 4 + \frac{2,2 - 1,0}{2 \tan(22^\circ)} = 5,5 \text{ mm.}$$

Mesmo assim, é bastante mais do que os 4 mm do afastamento da pupila de saída suposto para essa ocular. Como a equação (1) mostra, o acréscimo $S - d$ é mais vantajoso (maior) quando a ocular tem pouco campo aparente e quando o olho (nas condições em que observa) apresenta uma pupila bastante maior do que a pupila de saída do telescópio. Vejamos, por exemplo, o caso (desvantajoso) de uma ocular com 60° de campo aparente e os mesmos 4 mm de relevo ocular, com $d_{ps} = 1,6$ mm, $d_o = 2,0$ mm:

$$S = 4 + \frac{2,0 - 1,6}{2 \tan(30^\circ)} = 4,3 \text{ mm.} \quad \text{Como era de esperar, desta vez pouco se ganhou.}$$

Pelas razões apontadas, nas observações nocturnas (e nas condições favoráveis), a distância do olho à ocular pode ser bastante maior do que o valor estipulado para o afastamento da pupila de saída da ocular utilizada, continuando o observador a poder ver todo o campo da ocular. Essa distância poderá ser ainda maior se o observador não precisar de ver todo o campo aparente da ocular, como sucede na observação de planetas.

Poder-se-á argumentar que, nas condições referidas na Fig. 3, a pupila do olho está a ser utilizada em toda a sua abertura, diminuindo as capacidades visuais (pelas razões invocadas na secção 3 deste artigo). Na verdade esse argumento não é válido pois, embora toda a pupila receba luz, a imagem de *cada ponto observado* é obtida utilizando uma pequena parte da pupila cujo diâmetro é igual ao da pupila de saída. Por razões de clareza, o diâmetro da pupila de saída foi muito exagerado na referida Fig. 3.

Referências:

Guilherme de Almeida — *Telescópios*, Plátano Editora, Lisboa, 2004.