

FOTOGRAFAR O CÉU

Pedro Ré

pedrore@mail.telepac.pt

<http://www.astrosurf.com/re>

Fotografar o céu é uma ambição natural de muitas pessoas, entre as quais se contam os entusiastas de fotografia e de astronomia, os amantes da natureza e os astrónomos amadores. Por vezes pensa-se que registar estas imagens exige equipamento altamente sofisticado e amplos conhecimentos, mas algumas destas fotografias, nem por isso menos belas, estão ao alcance de qualquer pessoa motivada e persistente. O equipamento necessário é, por vezes, surpreendentemente simples.

Tudo o que necessita para realizar as suas primeiras fotografias astronómicas é de uma câmara fotográfica, de preferência *reflex* (SLR)¹, de um tripé fotográfico² e de um disparador de cabo.

Estas primeiras astrofotografias poderão ser realizadas numa noite sem Lua e longe das luzes da cidade (poluição luminosa). A câmara fotográfica deve ser munida de uma objectiva normal, (50 mm, 1:2.8 ou mais luminosa; evitar o uso de objectivas *zoom*) montada num tripé estável. Devem utilizar-se, de preferência, câmaras fotográficas que sejam munidas de obturação mecânica (a maioria das câmaras existentes actualmente no mercado possuem obturação electrónica). Se utilizar uma câmara com obturação electrónica rapidamente se gastarão as suas pilhas por terem de efectuar poses relativamente longas (>30 s).

Carregue a sua câmara com um filme colorido de sensibilidade igual ou superior a ISO/ASA 200 ou 400. Aponte-a para um grupo de estrelas brilhantes (por exemplo a constelação da Ursa Maior, Oriente ou Sagitário³) e realize com o auxílio de um disparador de cabo uma série de exposições de longa duração (20 s, 1 min e 4 min) tendo o cuidado de focar a objectiva a infinito (∞) e utilizar a sua máxima abertura.

Quando revelar o filme verificará que a fotografia que efectuou com uma exposição de 20 segundos apresentará imagens estelares quase pontuais, enquanto que nas poses superiores (1 e 4 min) as imagens das estrelas surgem como traços (Figura 1). Estes traços estelares são devidos à rotação da esfera celeste ou seja à rotação da Terra⁴. As estrelas observáveis próximo do equador celeste (*e.g.* constelação do Oriente ou Sagitário) parecem "mover-se" segundo linhas quase rectas enquanto que as estrelas próximas dos pólos celestes norte (*e.g.* constelações da Ursa Menor, Ursa Maior e Cassiopeia) e sul (*e.g.* constelação do cruzeiro do Sul) parecem "movimentar-se" segundo círculos.

¹ SLR- do inglês *Single Lens Reflex*.

² Ou qualquer outro suporte estável.

³ Para aprender a localizar no céu as principais contelações o leitor poderá consultar o livro *Roteiro do Céu* de Guilherme de Almeida, Plátano Edições Técnicas, Lisboa, 1999.

⁴ A Terra roda em volta do seu eixo de oeste para este. Por consequência a esfera celeste e os objectos celeste parecem "movimentar-se" de este para oeste.



Figura 1- Fotografias da constelação do Sagitário. Exposições de 20 s, 1 min e 4 min Câmara *Pentax Spotmatic*, objectiva *Takumar* 50 mm, 1:1.4. Pedro Ré (1973).

Um outro projecto interessante consiste em fotografar, recorrendo às mesmas técnicas anteriormente descritas, a área próxima do pólo celeste norte ou sul, utilizando tempos de exposição mais longos, (*e.g.* 10 min, 30 min 1 h ou tempos de exposição superiores) (Figura 2).

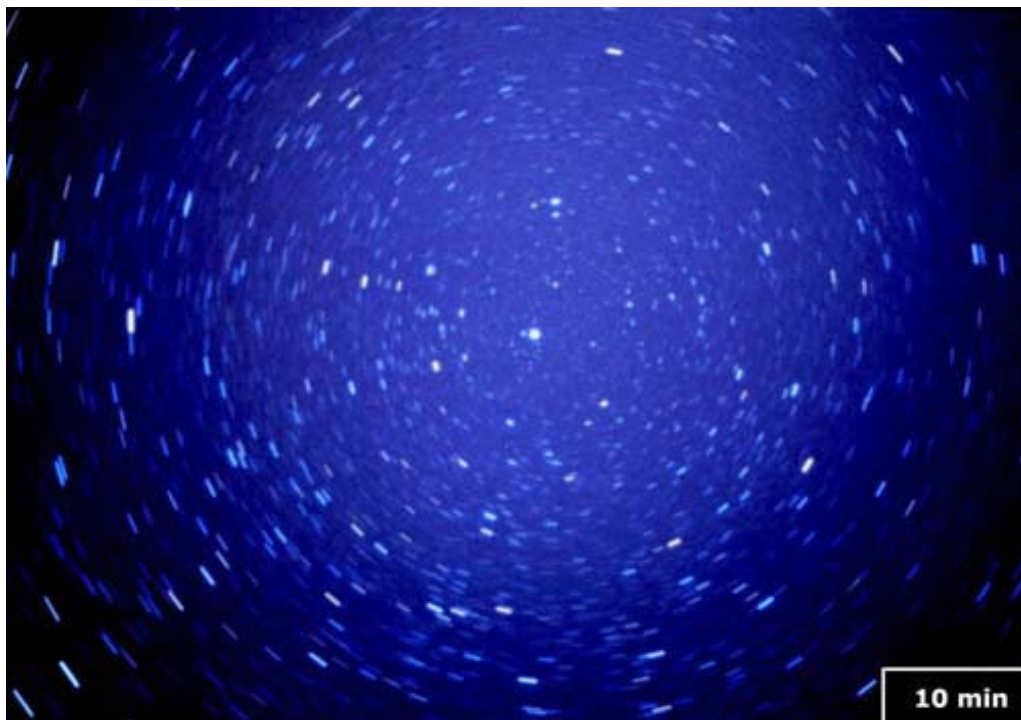


Figura 2- Fotografia da região circumpolar norte (Ursa Menor). Exposição 10 min Câmara *Pentax Spotmatic*, objectiva *Takumar* 50 mm, 1:1.4. Pedro Ré (1973).

Tabela 1- Tempos de exposição máximos (em segundos) para que as estrelas não surjam como traços.

Distância Focal da objectiva (mm)	Declinação				
	0°	30°	45°	60°	75°
18 mm	55	65	80	110	220
24 mm	40	50	60	85	160
28 mm	35	40	50	75	140
35 mm	30	33	40	60	110
50 mm	20	23	28	40	75
100 mm	10	12	14	20	40
135 mm	7,5	8,5	11	15	30
200 mm	5	5,5	7	10	20

Tomando como referência os tempos de exposição fornecidos na Tabela 1, é possível realizar com enorme facilidade fotografias das principais constelações. Os tempos de exposição, apesar de reduzidos, permitem registar um número de estrelas superior ao que é observado à vista desarmada num local escuro.

A maioria das câmaras fotográficas SLR actuais é totalmente automática e consequentemente pouco adequada para a realização de fotografias astronómicas de longa pose. Qualquer tipo de câmara fotográfica⁵ pode ser utilizado na realização de astrofotografias. Existem muitos modelos distintos de câmaras fotográficas, nomeadamente: câmaras 110, câmaras 126, câmaras *Polaroid*, câmaras básicas de 35 mm de visor directo, câmaras automáticas de 35 mm de visor directo, câmaras *reflex* (SLR) manuais, câmaras *reflex* (SLR) automáticas, câmaras de grande formato (120 e superior), câmaras digitais. De entre estes modelos as câmaras 35 mm, as câmaras de grande formato e algumas câmaras digitais são as mais adequadas para a realização de fotografias astronómicas.

As câmaras manuais permitem a realização de poses longas⁶ sem necessitarem de utilizar baterias internas⁷. Devem utilizar-se câmaras que possuam pose B (“*bulb*”) ou T (“*Time*”)⁸. Devem igualmente utilizar-se câmaras de objectivas intermutáveis do tipo SLR. Torna-se deste modo possível usar diversas objectivas com distâncias focais distintas. As câmaras que utilizem películas de 35 mm são as mais adequadas.

As conjunções de planetas ou da Lua com planetas constituem excelentes motivos fotográficos. A conjunção da Lua com estrelas brilhantes é igualmente interessante e fácil de fotografar. As técnicas a utilizar são ligeiramente distintas das referidas anteriormente. Os tempos de pose podem ser mais curtos, e nestes casos deve recorrer-se à utilização de objectivas com distâncias focais superiores. Pode inclusivamente utilizar-se objectivas *zoom*.

⁵ Apesar dos tipos fundamentais de câmaras terem mudado muito pouco ao longo dos anos, existem muitos estilos diferentes.

⁶ Segundos, minutos ou horas.

⁷ As câmaras automáticas que dependem da utilização de baterias, apesar de poderem realizar exposições longas, consomem energia de modo muito rápido, tornando-se inoperacionais em poucos minutos.

⁸ A utilização da pose B e T permite a realização de exposições longas. No primeiro caso é necessário utilizar um disparador de cabo.

Neste tipo de imagens, o enquadramento é essencial. Muitas vezes as conjunções são mais interessantes de fotografar antes do final do crepúsculo astronómico. Nestas ocasiões o céu ainda se encontra iluminado pelo Sol, pelo que as exposições serão da ordem da fracção de segundo ou da ordem dos segundos. Nestes casos recorrer-se-á ao fotómetro da câmara fotográfica para calcular a exposição correcta, ou mesmo ao uso de câmaras⁹ que não sejam adequadas para a obtenção de fotografias de longa pose. As câmaras digitais podem também ser usadas apesar das limitações que alguns modelos apresentam. Uma película com uma sensibilidade baixa ou média, 100 a 200 ISO/ASA, produzirá excelentes resultados.

No caso de se recorrer à utilização de câmaras digitais, a melhor opção é realizar as imagens logo a seguir ao pôr do sol. A maioria das câmaras digitais existentes actualmente no mercado apresenta características pouco adequadas para a realização de fotografias astronómicas. De entre estas pode mencionar-se o foco fixo ou automático e a exposição automática. Somente nalguns modelos é possível focar manualmente a infinito e controlar o tempo de exposição¹⁰. Apesar destas limitações é possível obter excelentes imagens de conjunções com o auxílio de câmaras digitais. A focagem pode ser efectuada tomando como referência um objecto que se encontre em primeiro plano, e a exposição será efectuada de um modo automático. Torna-se necessário bloquear o sistema de focagem apertando o disparador até meio do seu percurso e só depois enquadrar e efectuar a integração.

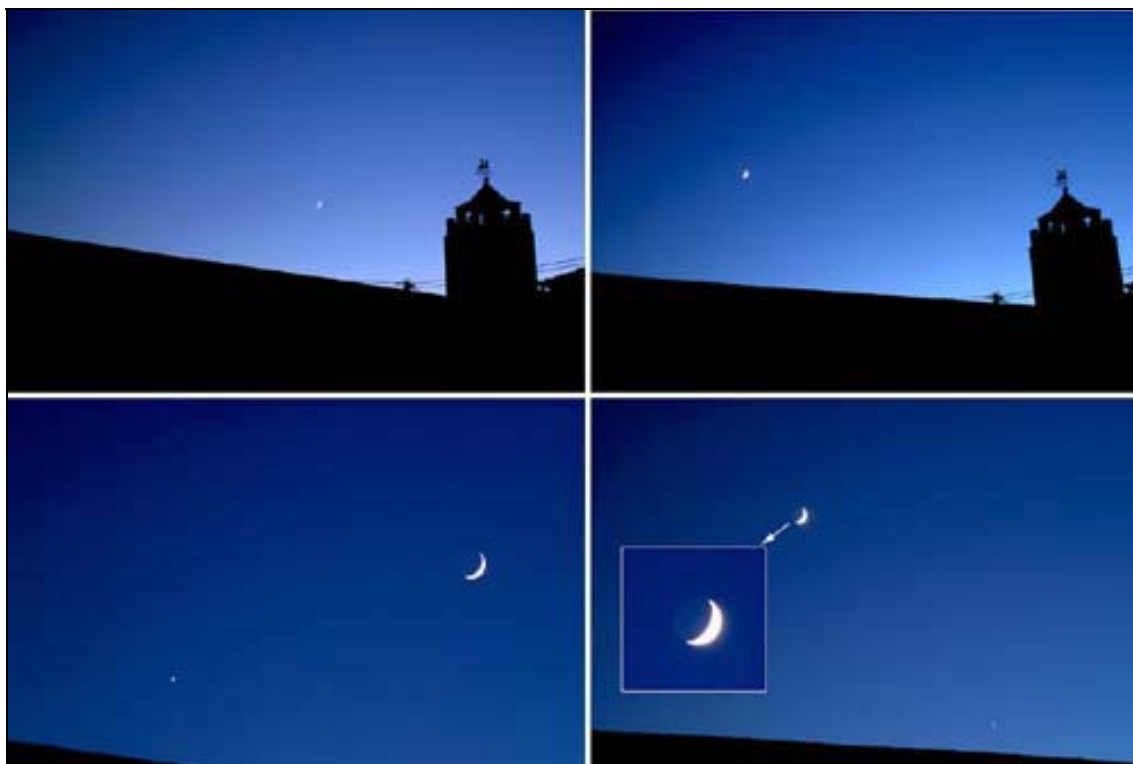


Figura 3- Fotografia de conjunções (Lua e Vénus) obtidas em dois dias sucessivos (20020811 e 20020812). FujiFilm S1 Pro, objectiva Nikon 28/200. Pedro Ré (2002).

⁹ Câmaras automáticas com obturação electrónica.

¹⁰ Alguns modelos mais avançados, por exemplo a *Nikon CoolPix*, permite a realização de poses até 30 segundos.

Os astros parecem mover-se na esfera celeste de este para oeste devido ao movimento de rotação da Terra. As montagens equatoriais permitem “compensar” este movimento tornando possível a realização de fotografias guiadas de longa pose. É o passo natural a dar após a realização de fotografias de traços estelares e de constelações.

As montagens equatoriais são constituídas por um sistema de dois eixos¹¹ perpendiculares, sendo um deles¹², colocado rigorosamente em paralelo com o eixo da Terra. Se rodarmos este eixo no sentido contrário ao do movimento de rotação da Terra, com uma velocidade de 1 rotação por dia (aproximadamente 15° por hora), é possível manter um determinado astro imóvel no campo de visão de um telescópio (Figura 4). As montagens equatoriais têm de ser orientadas, ou colocadas em estação, para que esta compensação seja efectiva. Existem diversos processos que podemos utilizar com este fim. O mais simples consiste em alinhar o eixo polar tomando como referência a estrela polar que se encontra muito próximo do pólo celeste norte. Este alinhamento é suficientemente preciso para a realização de fotografias guiadas de longa pose utilizando objectivas fotográficas normais (50 mm) ou mesmo pequenas teleobjectivas (135 a 300 mm).

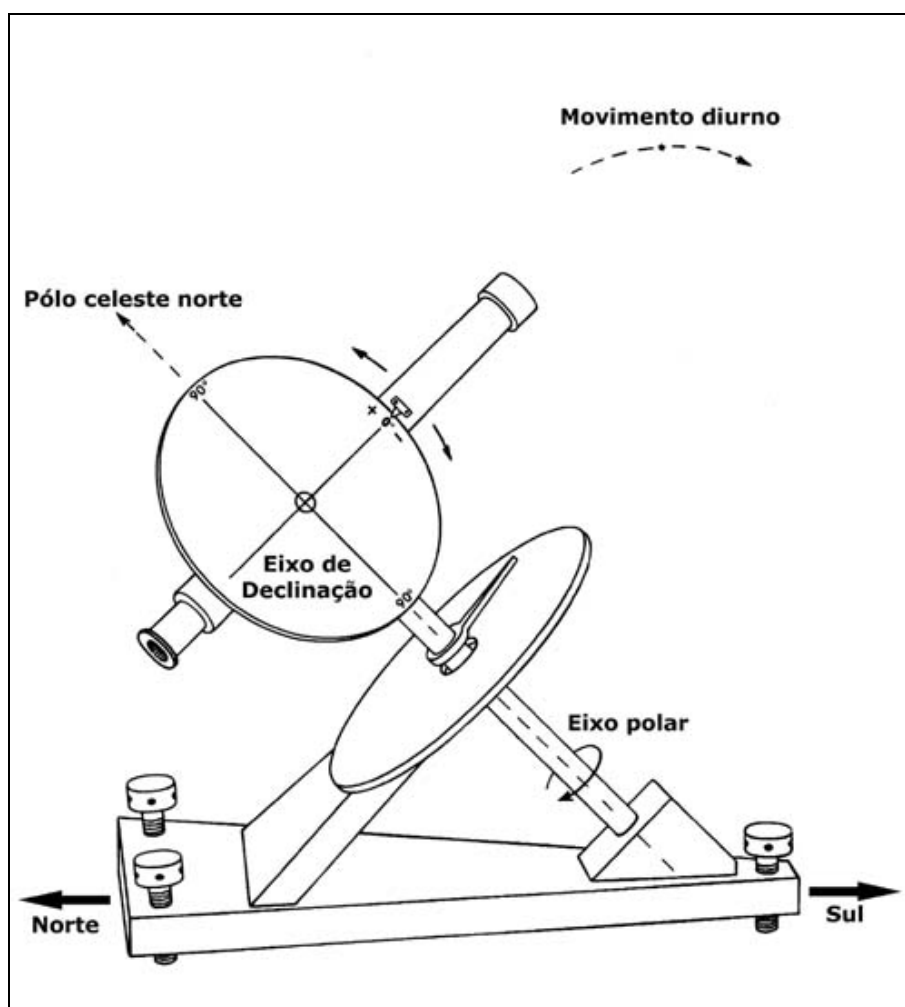


Figura 4- Esquema simplificado de uma montagem equatorial.

¹¹ Eixos de Ascensão Recta (AR) ou eixo Polar e eixo de Declinação (Dec).

¹² Eixo de Ascensão Recta.

Se pretendermos realizar fotografias guiadas de longa pose, as câmaras fotográficas podem ser montadas sobre um telescópio suportado por uma montagem equatorial motorizada¹³. A guiagem é efectuada utilizando o telescópio como auxiliar. Desde que a montagem equatorial seja colocada em estação, é muito fácil realizar fotografias de longa pose com o auxílio das mais variadas objectivas fotográficas. Neste caso podemos usar objectivas com distâncias focais elevadas desde que a precisão de guiagem seja mais elevada. A Figura 5 exemplifica o modo de montar em paralelo algumas câmaras fotográficas munidas de diferentes objectivas.

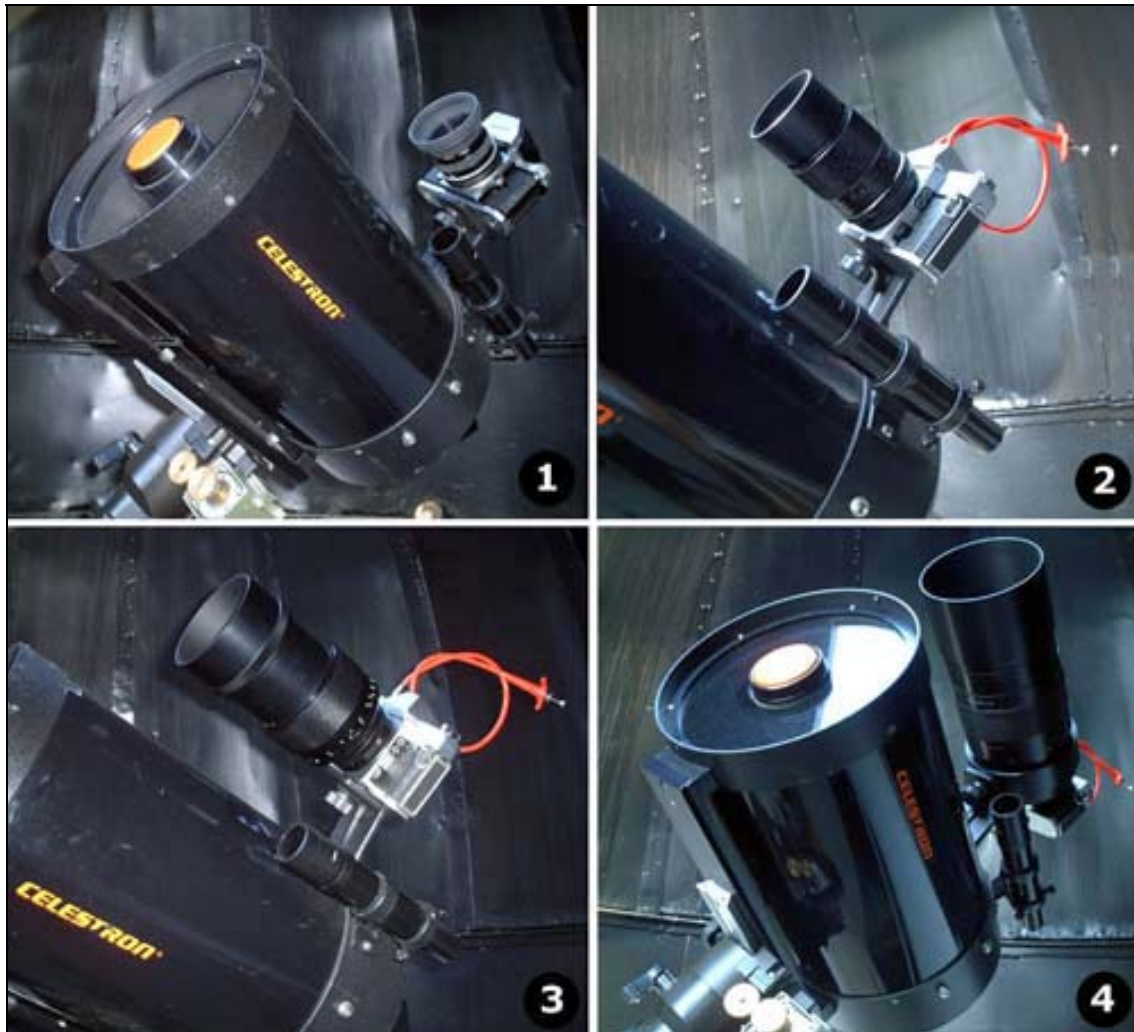


Figura 5- Câmaras fotográficas montadas em paralelo ou em *piggy-back*: (1) Nikon F+ objectiva 50 1:2; (2) Mamiya + objectiva 135 mm 1:2.8; (3) Mamiya + objectiva Zeiss Sonnar 200 1:2.8; (4) Mamiya + objectiva Rubinar 1000 mm 1:10. Pedro Ré (2001).

¹³ Neste caso a câmara fotográfica será montada em paralelo ou em *piggy-back*.



Figura 6- Fotografias da constelação do Cruzeiro do Sul. Exposições de 30 s e 15 min¹⁴. *Olympus OM-1*, 50 mm 1:1.8 (2.8). *Kodak Ektachrome E200*. Pedro Ré e José Carlos Diniz, Chile (2001).

¹⁴ Imagem obtida com o auxílio de uma montagem equatorial motorizada.

Para efectuar astrofotografias através de telescópios torna-se necessário acoplar câmaras fotográficas a um telescópio. Os telescópios mais frequentes podem ser classificados em três tipos principais: (i) refractores; (ii) reflectores e (iii) compostos ou catadióptricos¹⁵ (Figura 7). Cada tipo de telescópio apresenta vantagens e inconvenientes.



Figura 7- Principais tipos de telescópios: 1- Telescópio refractor; 2- telescópio reflector; 3- telescópio catadióptico (Maksutov-Cassegrain); 4- Telescópio catadióptico (Schmidt-Cassegrain).

Os diversos tipos de telescópios devem ser suportados por uma montagem equatorial, de preferência motorizada nos dois eixos¹⁶. Nem todas as montagens são adequadas para a realização de astrofotografias. Quanto mais robusta for a montagem tanto melhor¹⁷. Algumas montagens frágeis vibram facilmente sendo menos aconselhadas para a realização de fotografias astronómicas¹⁸.

¹⁵ Existem ainda outros telescópios menos frequentes; Schmidt-Newton, Maksutov-Newton, Schiefspiegler, Cassegrain clássico, Dall-Kirkham, Ritchey-Crétien entre outros.

¹⁶ Ascensão Recta e Declinação.

¹⁷ A característica mais importante de uma montagem é a sua estabilidade.

¹⁸ Quanto mais curto for o tempo de vibração da montagem melhor. Habitualmente 1 a 3 segundos de vibração do sistema montagem/telescópio, são valores aceitáveis. Valores superiores tornam-se problemáticos.



Figura 8- Exemplos de algumas montagens equatoriais fotográficas: 1- Montagem alemã, refrator acromático *Konus* 100 f/10; 2- Montagem alemã EM10, refrator apocromático *Takahashi* FS102; 3- Montagem alemã, reflector *Konus* 114 mm f/8; 4- Montagens alemãs CM1400 e CM1100, telescópios Schmidt-Cassegrain C11 e C14; 5- Montagem de garfo, telescópio Schmidt-Cassegrain C8; 6- Montagem de garfo, *Meade* LX200 10"; 6- Montagem de garfo, C14 e refrator apocromático *Takahashi* FS102. Pedro Ré (2001).

Existem diversos processos de acoplar uma câmara fotográfica a um telescópio. O processo mais simples consiste em utilizar o telescópio como se este se tratasse de uma objectiva fotográfica. Neste caso remove-se a objectiva da câmara fotográfica (*reflex* de preferência) e monta-se o corpo da câmara no foco principal do telescópio. A distância focal e a relação f/D obtidas são iguais à do telescópio utilizado. Os outros dois processos são distintos fundamentalmente por recorrerem à interposição de um sistema óptico entre a objectiva do telescópio e a câmara fotográfica. O sistema óptico utilizado pode ser uma ocular (projecção positiva), uma lente Barlow ou um teleconversor fotográfico (projecção negativa) e um redutor/corrector (compressão). A Figura 9 ilustra os três principais métodos de acoplar uma câmara fotográfica ou uma câmara CCD¹⁹ a um telescópio. Existe ainda um outro processo, designado sistema afocal, no caso das câmaras fotográficas utilizadas não terem a possibilidade de retirar as suas objectivas. Este é o método mais utilizado para acoplar câmaras digitais a telescópios (Figura 10).

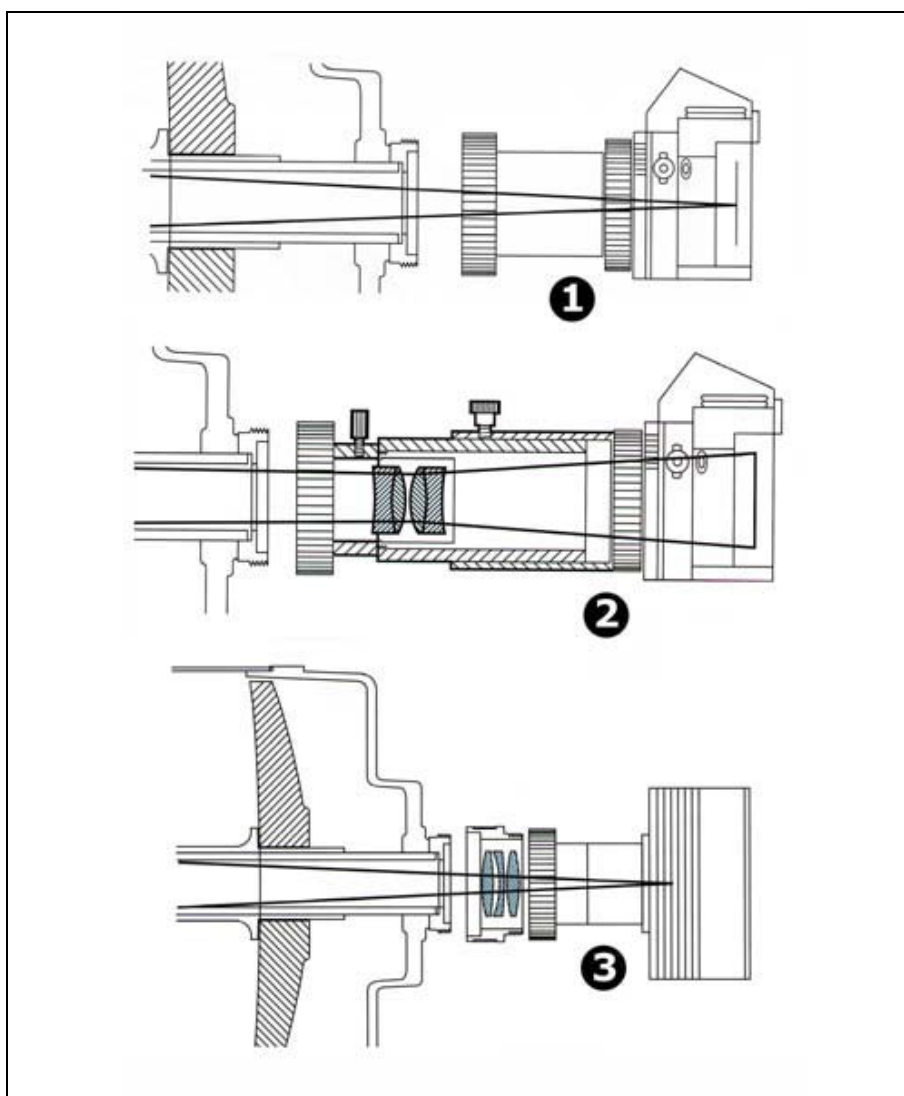


Figura 9- Principais métodos utilizados para acoplar uma câmara fotográfica ou uma câmara CCD a um telescópio: 1- Foco principal; 2- Projecção (positiva); 3- Compressão.

¹⁹ CCD- sigla formada pelas iniciais de *Charge Coupled Device*.



Figura 10- Sistema de projecção afocal. Telescópio Schmidt-Cassegrain 200 mm $f/10$, objectiva 80 mm 1:2.8 e *Olympus Camedia C-1400L*. Pedro Ré (2001).



Figura 11- Imagens do Sol (esquerda) e da Lua (direita) obtidas através de uma sistema de projecção afocal. Telescópio Schmidt-Cassegrain 200 mm $f/10$, objectiva 80 mm 1:2.8 e *Olympus Camedia C-1400L*. Pedro Ré (2001).

A observação e fotografia Solar revestem-se de numerosos perigos. *NUNCA SE DEVE OBSERVAR OU FOTOGRAFAR O SOL SEM SE RECORRER AO USO DE FILTROS APROPRIADOS*. Os filtros mais seguros são aqueles que podem ser montados *antes* da objectiva do telescópio (filtros frontais) (Tabela 2, Figura 12).

Tabela 2- Características dos principais filtros Solares frontais.

Tipo de filtro	Constituição	Contraste	Coloração do Sol
<i>Mylar (Solar Skreen)</i>	Polímero aluminizado	Médio	Azulada
<i>Baader Planetarium</i>	Polímero	Elevado	Branca
<i>Thousand Oaks</i>	Vidro aluminizado	Elevado	Alaranjada

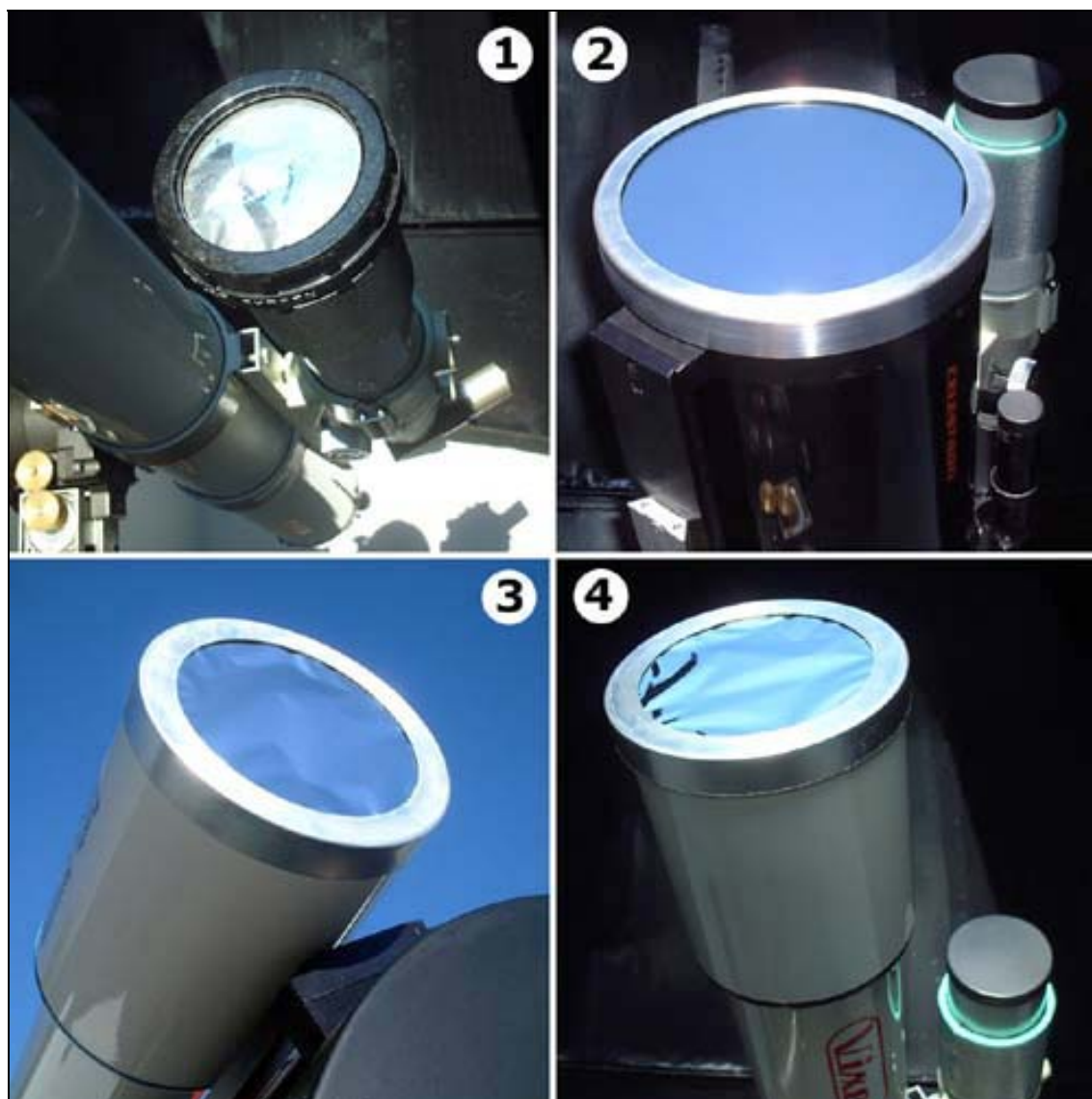


Figura 12- Filtros frontais para observação e fotografia do Sol: 1- *Mylar (Solar skreen)*, telescópio *Takahashi FS60*; 2- *Thousand Oaks*, telescópio *C8*, 3- *Baader Planetarium*, telescópio *Takahashi FS102*, 4- *Baader Planetarium*, telescópio *Vixen 102*. Pedro Ré (2001).

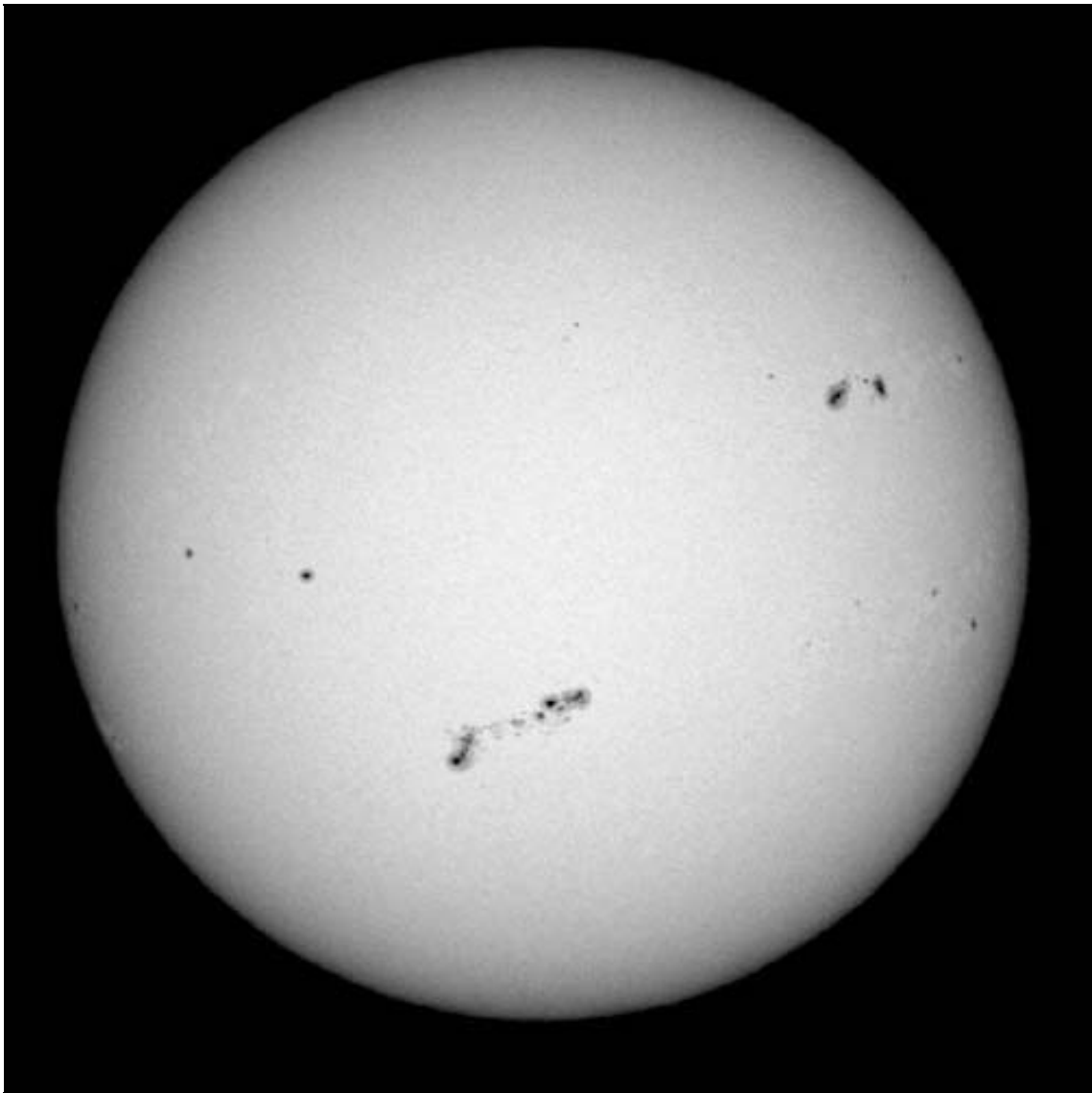


Figura 13- Imagem do Sol obtida em 20011110. Telescópio refractor *Vixen* (102 mm $f/9.8$), filtro *Baader Planetarium*, *FujiFilm FinePix S1 Pro* (fotografia no foco principal). Pedro Ré (2001).

A Lua é um dos objectos celestes mais fáceis de fotografar. É relativamente simples obter boas fotografias lunares recorrendo a equipamento pouco sofisticado. A Lua pode ser fotografada recorrendo a inúmeros instrumentos. Pode utilizar-se uma teleobjectiva ou um telescópio. O diâmetro da imagem da Lua, no plano focal do filme, ou do sensor CCD, depende da distância focal do instrumento. O seu valor aproximado pode ser calculado através da seguinte fórmula.

$$\text{Diâmetro da imagem da Lua} = \text{Distância focal} / 110$$

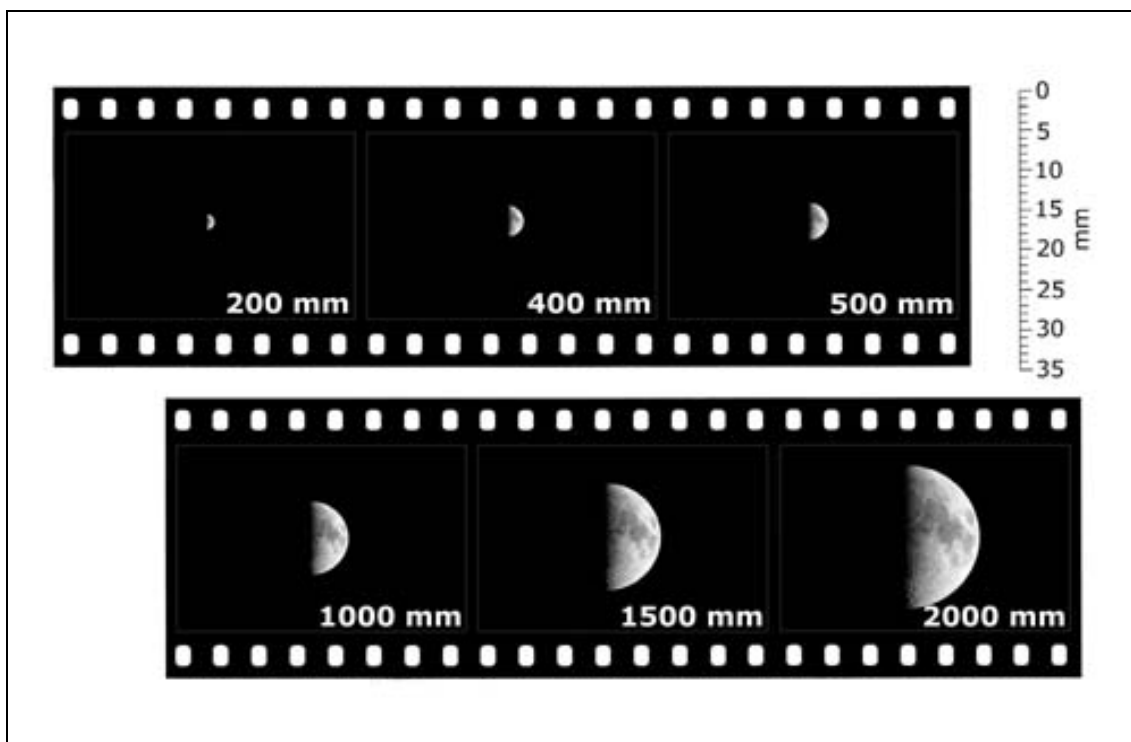


Figura 14- Diâmetro do disco lunar em função da distância focal. Pedro Ré (2001).

Tabela 3- Fotografia lunar. Tempos de exposição aproximados em segundos (filme 400 ISO/ASA).

f/D^{20}	Crescente inicial	Crescente avançado	Quarto crescente	Lua gibosa	Lua Cheia
2.8	1/250	1/500	1/1000	1/2000	1/8000
4	1/125	1/250	1/500	1/1000	1/4000
5.6	1/60	1/125	1/250	1/500	1/2000
8	1/30	1/60	1/125	1/250	1/500
11	1/15	1/30	1/60	1/125	1/250
16	1/8	1/15	1/30	1/60	1/125
22	1/4	1/8	1/15	1/30	1/60

²⁰ Num telescópio a relação focal ou relação f/D é o resultado da divisão da distância focal da objectiva pelo seu diâmetro. Por exemplo um telescópio de 200 mm de diâmetro com uma distância focal de 2000 mm apresenta uma relação focal de $f/10$.



Figura 15- Lua (20010201). Telescópio refractor apocromático *Takahashi* FS102 f/8. Câmara digital *Olympus* DP10. Pedro Ré (2001).

A fotografia de eclipses solares ou lunares pode ser levada a cabo recorrendo a algumas das técnicas já referidas anteriormente. Os eclipses totais do Sol são sem dúvida um dos

fenômenos naturais mais interessantes de observar e de fotografar. Registrar em filme ou em vídeo este tipo de acontecimentos é pois uma ambição natural de qualquer astrofotógrafo. Deve-se porém planejar com antecedência e se possível treinar alguns procedimentos básicos que nos permitirão obter resultados satisfatórios. Os eclipses são acontecimentos efêmeros (sobretudo no que diz respeito aos eclipses totais do sol) e não devemos “gastar” demasiado tempo no seu registo fotográfico. A totalidade pode durar apenas alguns minutos que devem ser devidamente apreciados. Algum planeamento prévio permitir-nos-á obter imagens do fenómeno e, ao mesmo tempo, observar o eclipse visualmente em boas condições e em segurança.

A fotografia de eclipses lunares é tecnicamente mais simples relativamente à fotografia de eclipses solares. Não necessitamos de utilizar qualquer tipo de filtro tal como sucede no caso da fotografia solar.

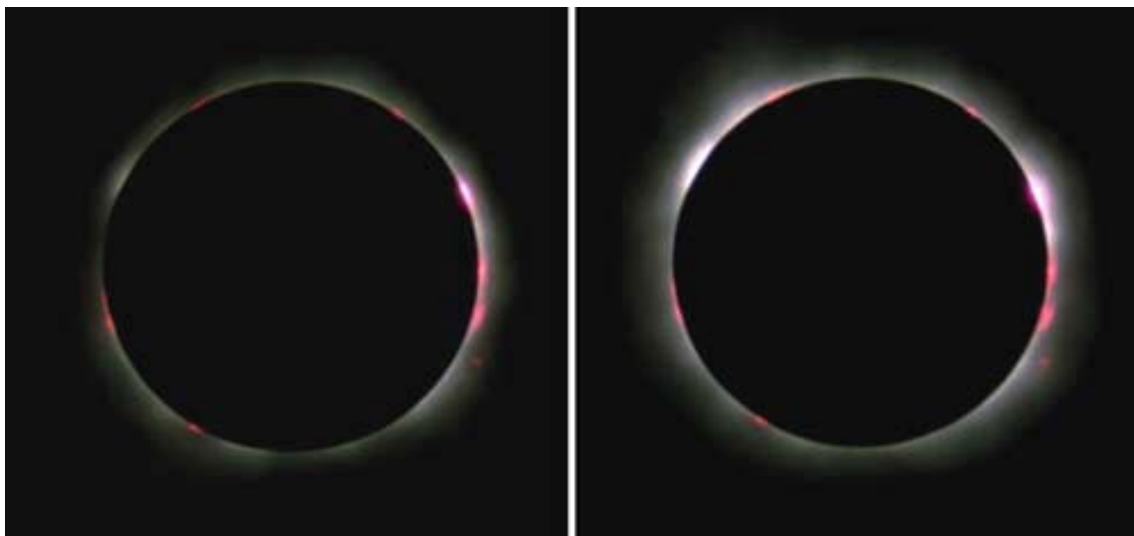


Figura 16- Eclipse total do Sol de (19990811). Telescópio refractor *Konus* 80 mm *f*/5. Filme *Fujichrome Sensia* 100. Exposições 1/500 s e 1/250 s. Imagens processadas por computador para realçar as protuberâncias solares. Bucareste, Roménia. Pedro Ré (1999).



Figura 17- Eclipse total da Lua (19890817). Telescópio reflector 300 mm *f*/7.1. Filme *Ektachrome* 100. Exposições de 30 s (fases parciais) e 60 s (totalidade). Pedro Ré (1989).

A fotografia de planetas, tal como alguns aspectos da fotografia solar e lunar, pode ser considerada como fotografia de *alta resolução*²¹ e constitui um domínio relativamente especializado e exigente da fotografia astronómica. A maioria das fotografias de planetas é actualmente realizada recorrendo ao uso de câmaras CCD refrigeradas e de *Webcams* modificadas (Figura 18). A fotografia planetária pode ser facilmente realizada a partir de um ambiente urbano em que poluição luminosa é moderada ou intensa.

Apesar da turbulência atmosférica desempenhar um papel central na obtenção de imagens planetárias, o instrumento utilizado é sem dúvida mais importante. De um modo geral podemos dizer que as imagens são mais degradadas pelo instrumento do que pelas condições de observação.

Qualquer telescópio de boa qualidade pode ser utilizado na obtenção de imagens planetárias de *alta resolução*. Apesar disso os telescópios do tipo Schmidt-Cassegrain são os mais usados com esta finalidade. Estes telescópios produzem excelentes resultados apesar de possuírem uma obstrução central importante provocada pelo espelho secundário²² com consequências marcadas no contraste (redução). Os telescópios refractores apocromáticos, além de não sofrerem qualquer tipo de obstrução, apresentam geralmente uma qualidade óptica superior. Este tipo de instrumentos atinge no entanto preços proibitivos em aberturas superiores a 100 mm. É por esta razão que os telescópios compostos ou catadióptricos (Schmidt-Cassegrain e Maksutov-Cassegrain) são os mais utilizados para obter imagens de *alta resolução*.

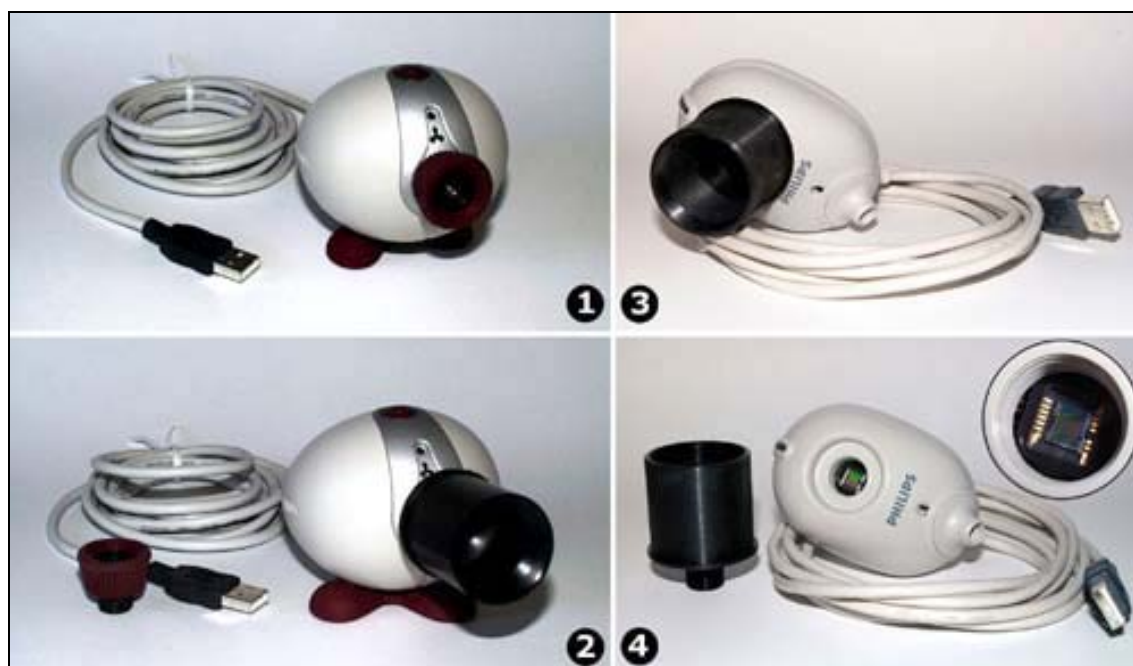


Figura 18- Adaptação de duas *Webcams* para astrofotografia. 1- Philips Vesta Pro não modificada; 2- Vesta Pro munida de um adaptador standard 1 ¼"; 3 e 4- Toucam Pro modificada. Pedro Ré (2002).

²¹ A fotografia de *alta resolução* está relacionada com a obtenção de imagens planetárias, lunares e solares com um pormenor considerável, isto é, próximo do limite de resolução do instrumento utilizado.

²² A obstrução provocada pelo espelho secundário num telescópio Schmidt-Cassegrain é quase sempre superior a 30%.

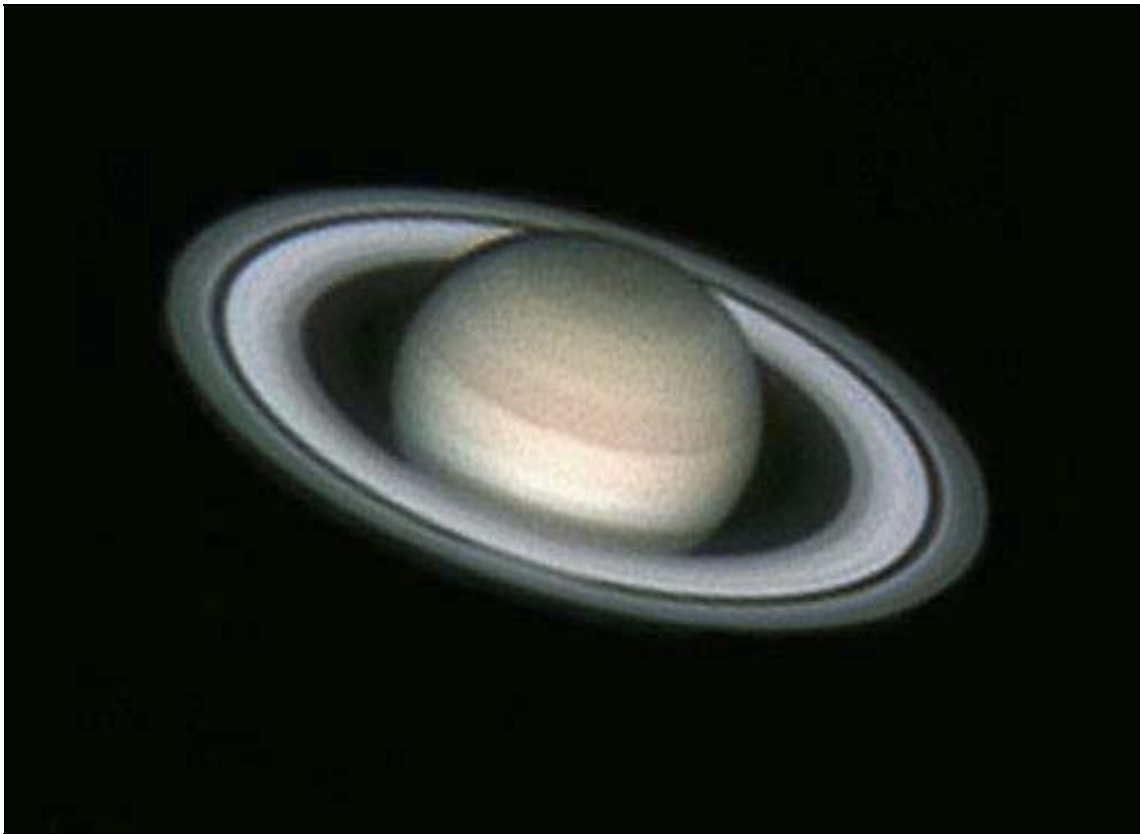


Figura 19- Saturno. Telescópio Schmidt-Cassegrain 250 mm f/10, câmara Toucam Pro. Paulo de Almeida (2001).



Figura 20- Imagens dos planetas Marte, Saturno e Júpiter. Telescópio Schmidt-Cassegrain 250 mm f/10, câmaras CCD SBIG ST-5C. António Cidadão (1999/2001).

As galáxias, as nebulosas e os enxames ou aglomerados de estrelas consideram-se geralmente como *objectos do céu profundo*, por se encontrarem para lá do sistema solar e da evidência imediata das constelações. As principais técnicas de localização e de observação destes objectos foram abordadas na obra: Almeida, G. , P. Ré, (2000). *Observar o céu profundo*, Platano Edições Técnicas. A referida obra constitui um manancial de

conselhos e técnicas de observação, um guia prático e um atlas do céu profundo. A fotografia do céu profundo bem como a fotografia de superfícies planetárias, constituem, sem dúvida, dois dos campos mais exigentes da fotografia astronómica.

O método mais simples de fotografar o céu profundo consiste em montar uma câmara fotográfica sobre um telescópio que possua uma montagem equatorial motorizada. Neste caso a câmara é montada em paralelo ou em *piggy-back*. Se a montagem equatorial for colocada em estação, podem realizar-se astrofotografias de longa pose recorrendo ao uso de diversas objectivas fotográficas (28 mm a 300 mm de distância focal). Este tipo de imagens deve ser efectuado longe da poluição luminosa das grandes cidades e numa noite sem Lua (Figura 21). No caso das imagens serem realizadas em ambientes urbanos ou suburbanos, podemos recorrer ao uso de diversos filtros especiais. No caso de se utilizarem objectivas com distâncias focais curtas (objectivas grande-angulares e normais) a precisão da guiagem não é muito exigente.

Para fotografar o céu profundo através de um telescópio é necessário acoplar uma câmara fotográfica a um destes instrumentos segundo um dos processos anteriormente descritos. No entanto, para se realizarem fotografias do céu profundo, as exposições são necessariamente mais prolongadas. Isto significa que durante a exposição terá que se efectuar uma guiagem precisa do telescópio. Para tanto, é necessário que este seja suportado por uma montagem equatorial robusta e de boa qualidade. Para que uma montagem equatorial seja efectiva, torna-se necessário colocá-la rigorosamente em estação. A precisão do seguimento das montagens equatoriais pode ser muito variada. Em geral as montagens modernas são motorizadas nos dois eixos por meio de motores de passos. A realização de astrofotografias do céu profundo através de um telescópio implica a utilização de montagem equatoriais de boa qualidade, isto é, com uma excelente precisão de guiagem.

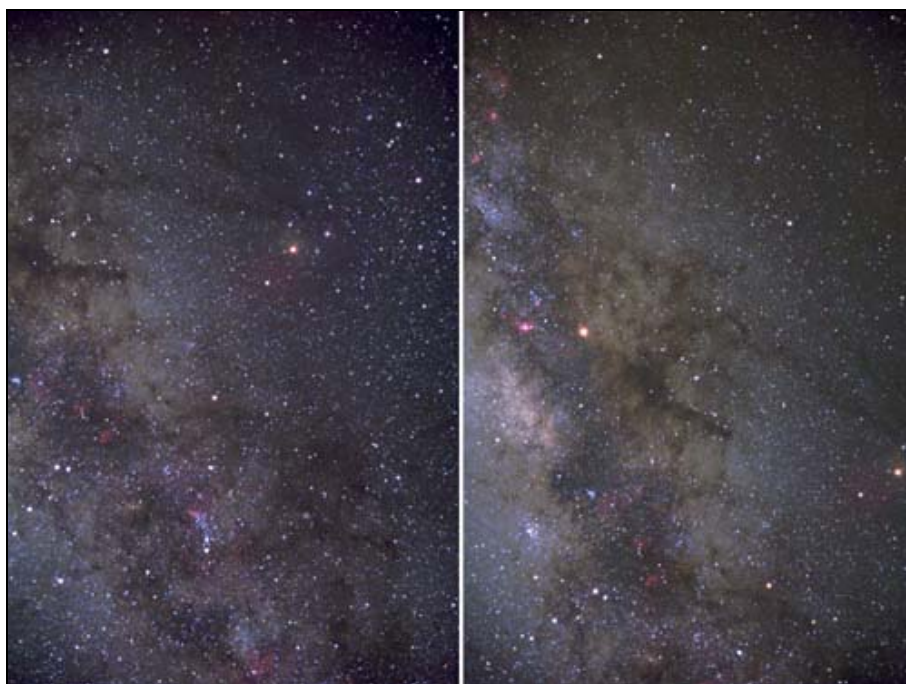


Figura 21- Constelação do Escorpião. *Olympus OM-1*, 50 mm 1:1.8 (2.8). Filme *Kodak Ektachrome E200*. Exposições de 15 min Pedro Ré e José Carlos Diniz, Chile (2001).

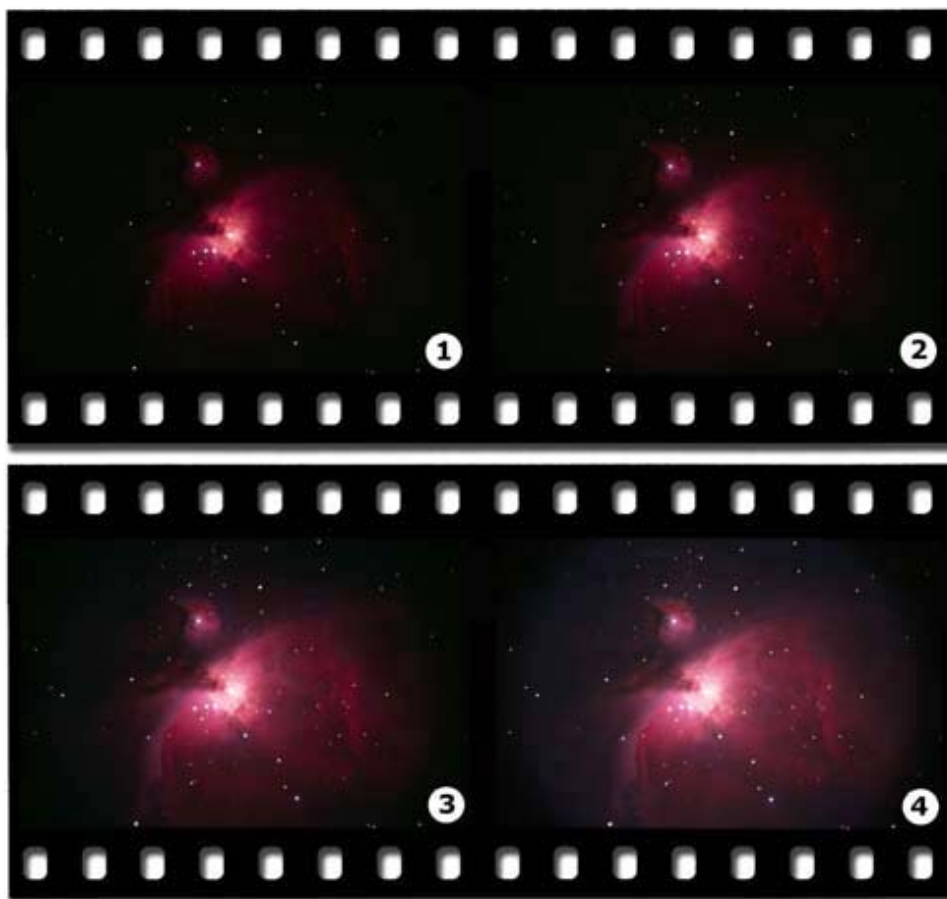


Figura 22- Nebulosa do Oriente (M 42). Telescópio Schmidt-Cassegrain Celestron 350 mm $f/11$ (reductor /corrector $f/7$). Filme *Kodak Ektachrome* E200. Exposições 5 min (1), 10 min (2), 15 min (3), 20 min (4), (20020116). Pedro Ré (2002).



Figura 23- Nebulosa do Oriente (M 42). Tempo total de exposição 39 min. Imagem processada por computador (20020116). Pedro Ré (2002).

A utilização de câmaras CCD refrigeradas por parte de astrónomos amadores tem vindo a revolucionar, nos últimos anos, as técnicas e os campos de observação. A astronomia CCD encontra-se actualmente em fase de verdadeira expansão.

As enormes vantagens que as câmaras CCD têm relativamente às emulsões fotográficas podem ser resumidas em dois pontos:

1. as câmaras CCD conseguem registar até 90% dos fotões incidentes (elevada eficiência quântica) enquanto que uma película fotográfica apenas regista 2 a 5%;
2. as câmaras CCD não apresentam falha de reciprocidade, isto é, o seu sinal de saída, *output*, é quase directamente proporcional aos fotões incidentes, ou seja, aos tempos de exposição (linearidade quase perfeita).

Estas duas vantagens permitem obter imagens astronómicas com poucos minutos de exposição ao contrário do que sucede se utilizarmos emulsões fotográficas, que requerem dezenas de minutos ou mesmo horas (objectos do céu profundo). Além disso, as imagens obtidas com câmaras CCD podem ser posteriormente optimizadas por meio de *software* apropriado de modo a realçar aspectos relevantes ou eliminar defeitos inerentes à própria imagem (câmara escura digital).

No entanto as câmaras CCD também apresentam alguns inconvenientes:

1. necessidade de utilizar um computador para obter as imagens (câmaras CCD refrigeradas);
2. dimensão reduzida da superfície sensível à luz;
3. número de elementos de imagem (*pixels*) relativamente pequeno.

Os sensores ou detectores CCD são constituídos por uma superfície sólida sensível à luz, dotada de circuitos que permitem ler e armazenar electronicamente imagens digitais. O conjunto formado pelo detector CCD, circuitos electrónicos, sistema de refrigeração e suporte mecânico constituem uma câmara CCD (Figura 24).

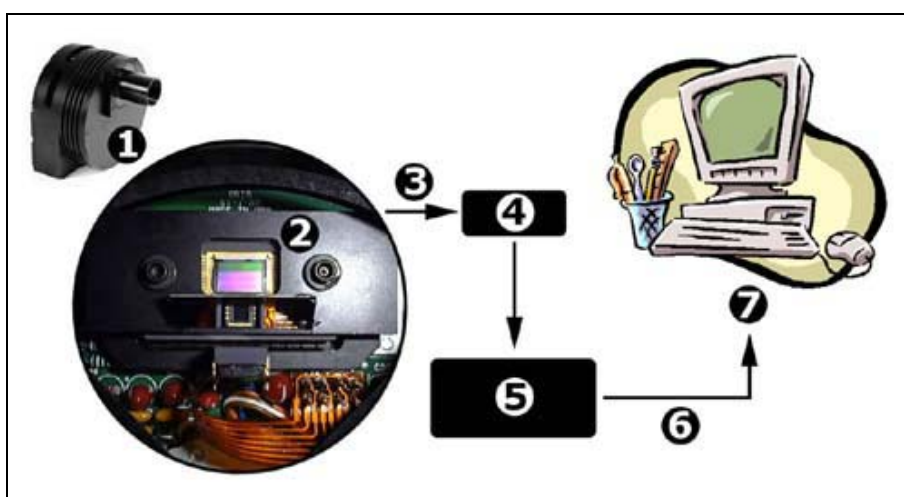


Figura 24- Esquema simplificado de uma câmara CCD. 1- Câmara CCD, 2- Sensor CCD, 3- Leitura e amplificação (sinal analógico), 4- Amplificador, 5- Conversor analógico/digital, 6- Digitalização (sinal digital), 7- *Download* para computador. Pedro Ré (2002).

O modo como um sensor CCD transforma uma imagem num ficheiro de computador é relativamente simples. A luz que incide num conjunto de centenas de milhares de detectores (“*pixels*”), produz cargas eléctricas, que são por sua vez lidas, medidas, convertidas em números e gravadas num ficheiro de computador. As câmaras deste tipo, necessitam portanto, de um computador (PC ou Mac) para poderem ser operadas.

Na fotografia convencional, chama-se tempo de exposição ao tempo durante o qual a película recebe luz do objecto que se quer registar. Na captação de imagens CCD, a este tempo chama-se tempo de integração. As integrações de longa duração obtidas com o auxílio de um sensor CCD enfermam fundamentalmente de três tipos de defeitos que se descrevem seguidamente.

Durante o tempo de integração, é acumulada uma interferência térmica em cada *pixel* ou elemento de imagem. O sensor CCD necessita de ser refrigerado a uma temperatura muito baixa (da ordem dos $-173^{\circ}\text{C} = 100\text{ K}$) para que este sinal seja reduzido a um nível negligenciável²³. A maioria das câmaras CCD é afectada por esta interferência, uma vez que habitualmente os sensores CCD não são refrigerados a temperaturas inferiores a -50°C . A imagem é deste modo afectada por uma corrente negra ou *dark current* (cujo nome é derivado do facto desta interferência estar presente mesmo quando o sensor se encontra no escuro).

Adicionalmente existe ainda um enviesamento também designado *offset* ou *bias* que é independente do tempo de integração e da temperatura do sensor. Este *offset* é induzido pelas características do *output* do sensor CCD e dos circuitos electrónicos do processador do sinal de vídeo.

A sensibilidade à luz não é idêntica para todos os elementos que constituem um sensor CCD. Se este for iluminado por uma fonte luminosa uniforme (por exemplo o céu crepuscular ou um ecrã branco) o resultado não é necessariamente uma imagem uniforme.

Todos estes defeitos podem ser corrigidos com relativa facilidade. O pré-processamento de uma imagem obtida com um sensor CCD envolve uma série de procedimentos no computador utilizando *software* apropriado, nos quais se inclui a *subtracção* do mapa de corrente escura ou *dark frame* e mapa de *offset*, e a *divisão* pelo mapa de iluminação uniforme ou *flat field*.

²³ De um modo geral o ruído de uma imagem decresce 50% por cada abaixamento da temperatura de 6°C . As vantagens da refrigeração tornam-se, por isso, óbvias.

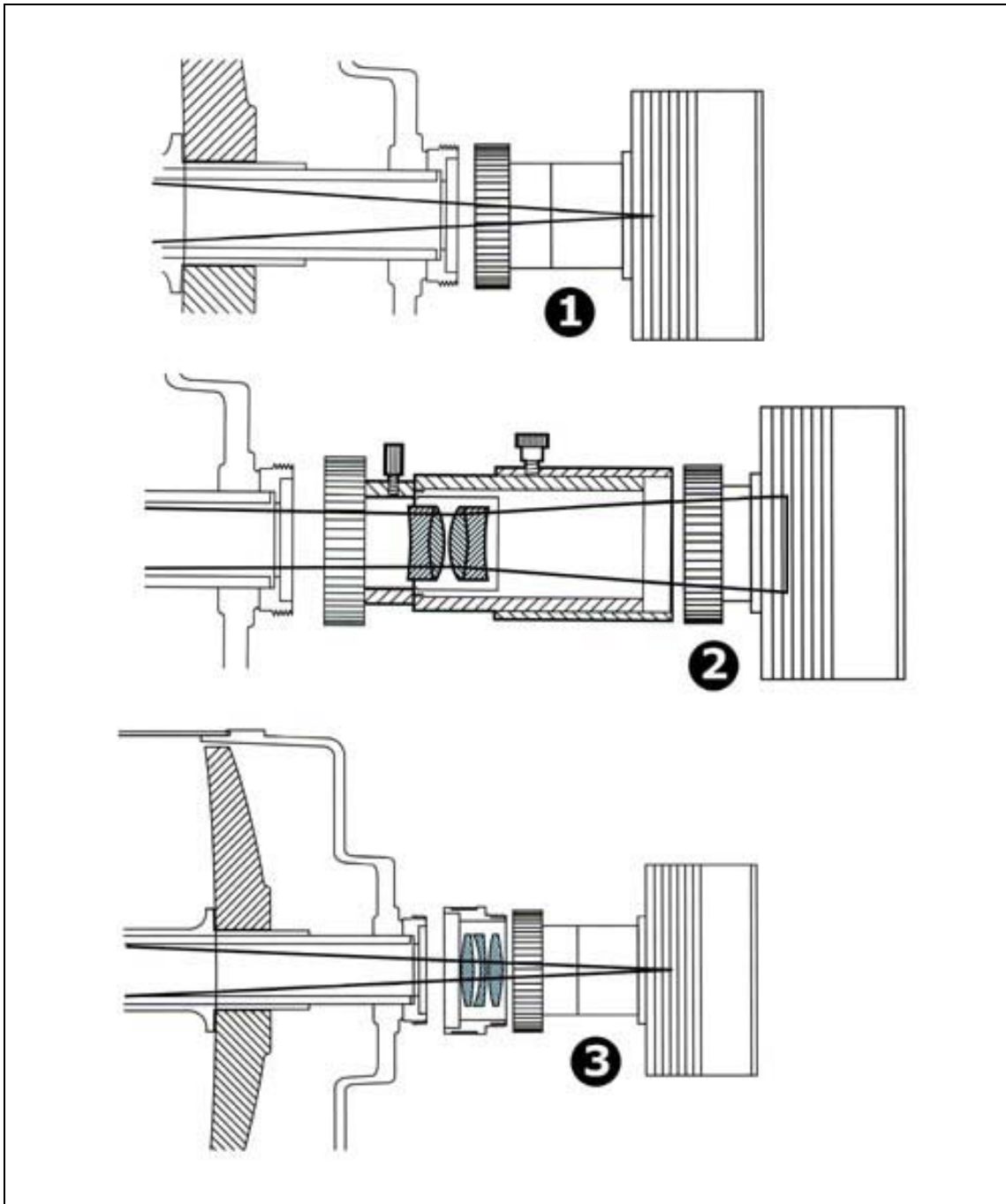


Figura 25- Como acoplar uma câmara CCD a um telescópio: 1- Foco principal; 2- Projecção (positiva); 3- Compressão.

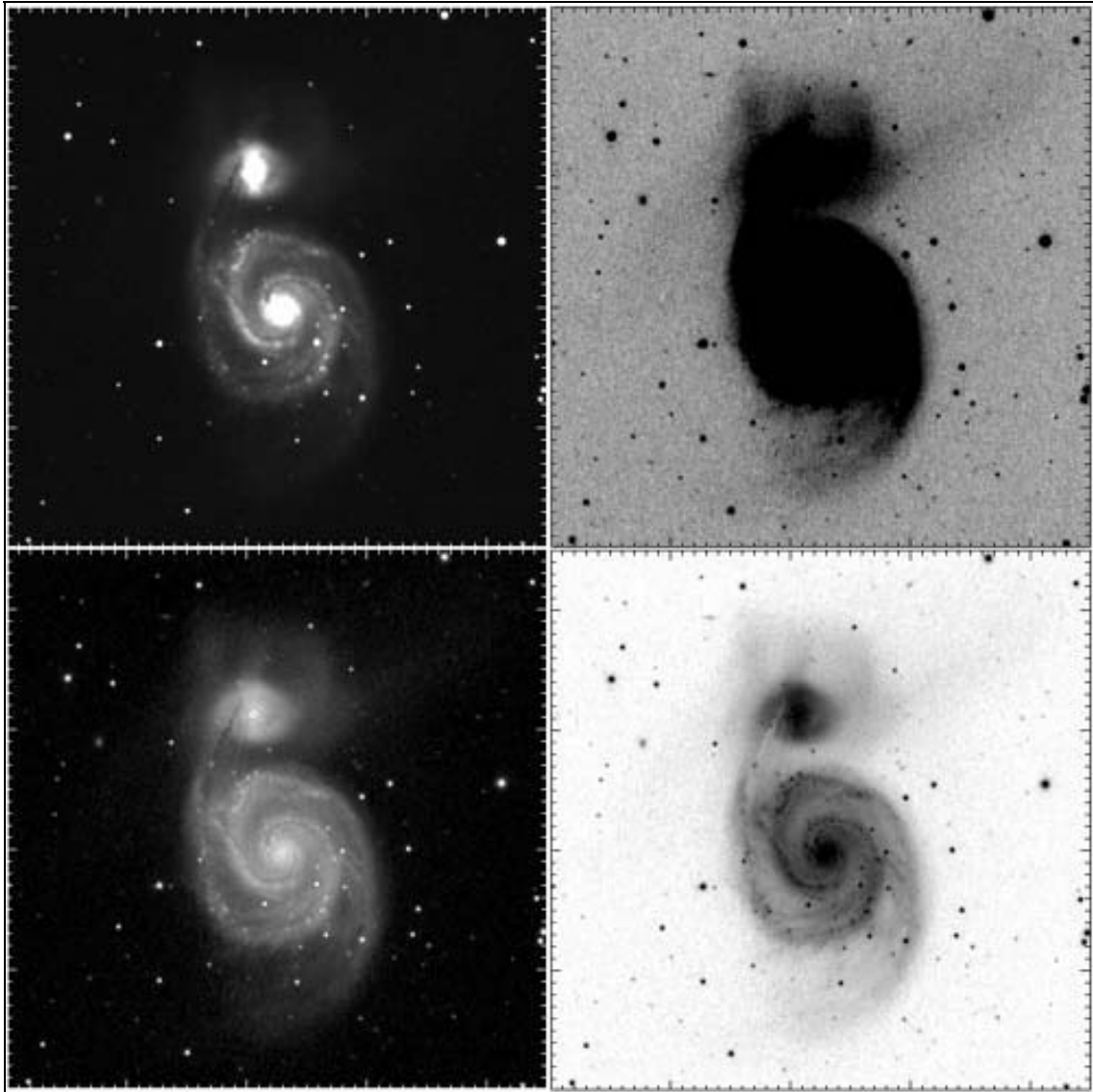


Figura 26- Exemplo de diversos métodos de visualização da informação contida numa imagem CCD (M 51). Telescópio refractor Apocromático *Takahashi* FS102 *f*/8. Câmara CCD *SBIG* ST-7. Tempo total de integração 40 min (soma de 20 imagens com 2 min). Pedro Ré (2001).

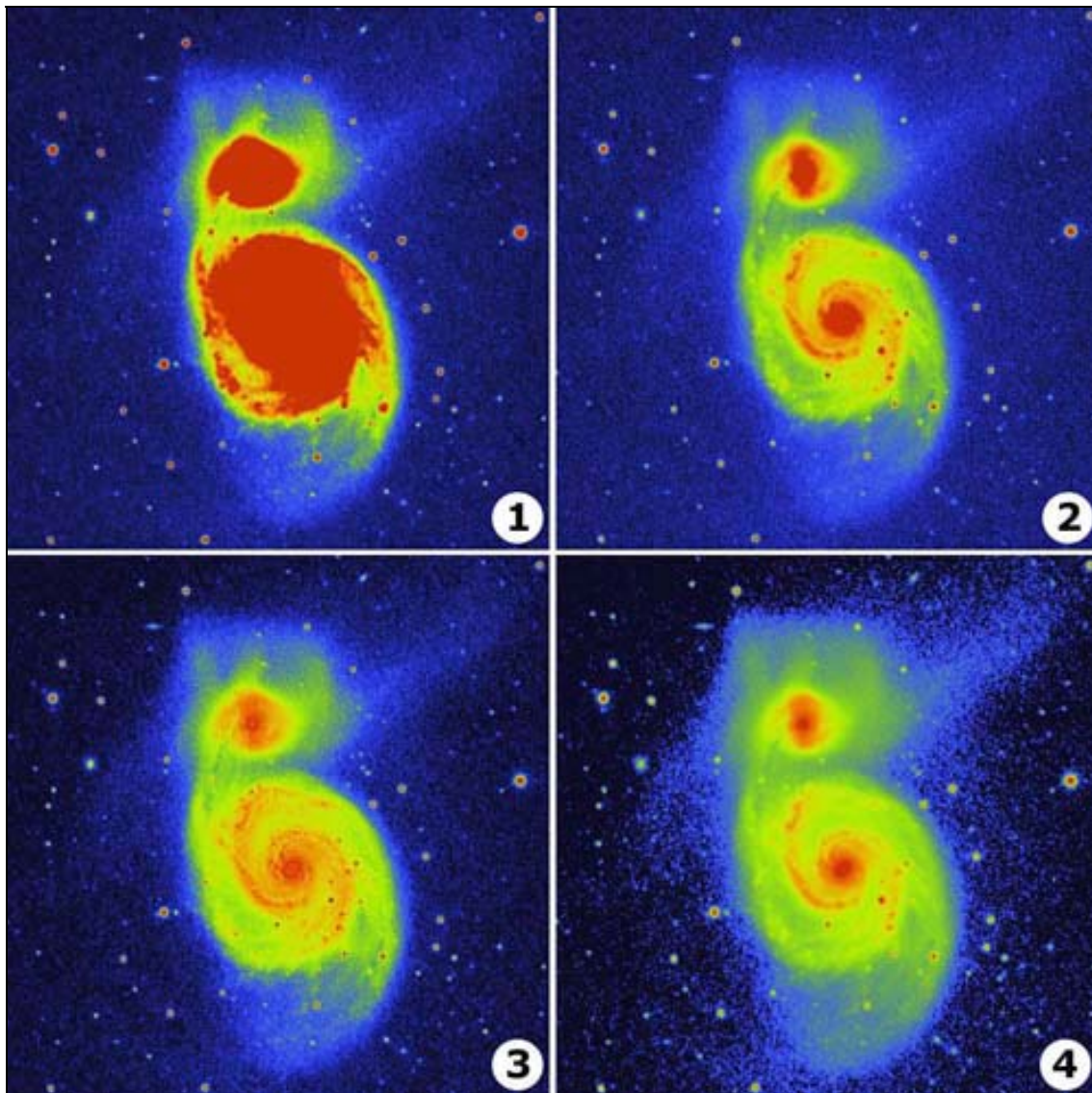


Figura 27- Imagens pós-processadas da galáxia M 51 (imagens em cor falsa). 1- Soma, 2- *logarithmic scaling*, 3- *digital development processing*, 4- *modified equalization*. Telescópio refractor Apocromático *Takahashi* FS102 f/8. Câmara CCD *SBIG* ST-7. Tempo total de integração 90 min (soma de 45 imagens com 2 min). Imagens processadas com o programa *Iris*. Pedro Ré (2001).

A maioria das câmaras CCD refrigeradas produz imagens a preto e branco. Se se pretender obter imagens coloridas (Figura 28) é necessário recorrer à utilização de filtros coloridos e de *software* e *hardware* adequados. As imagens CCD coloridas são produzidas obtendo integrações através de diversos filtros (RGB e CMY²⁴) que são posteriormente (soma, média ou mediana). A maioria dos sensores CCD não responde de um modo equivalente a todos os comprimentos de onda do espectro visível. Por este motivo as integrações efectuadas através de cada filtro não são necessariamente idênticas. Habitualmente recorre-se a uma roda ou a um selector de filtros.

²⁴ RGB- Red, Green, Blue, (Vermelho, Verde e Azul). CMY- Cyan, Magenta, Yellow, (Cian, Magenta e Amarelo).

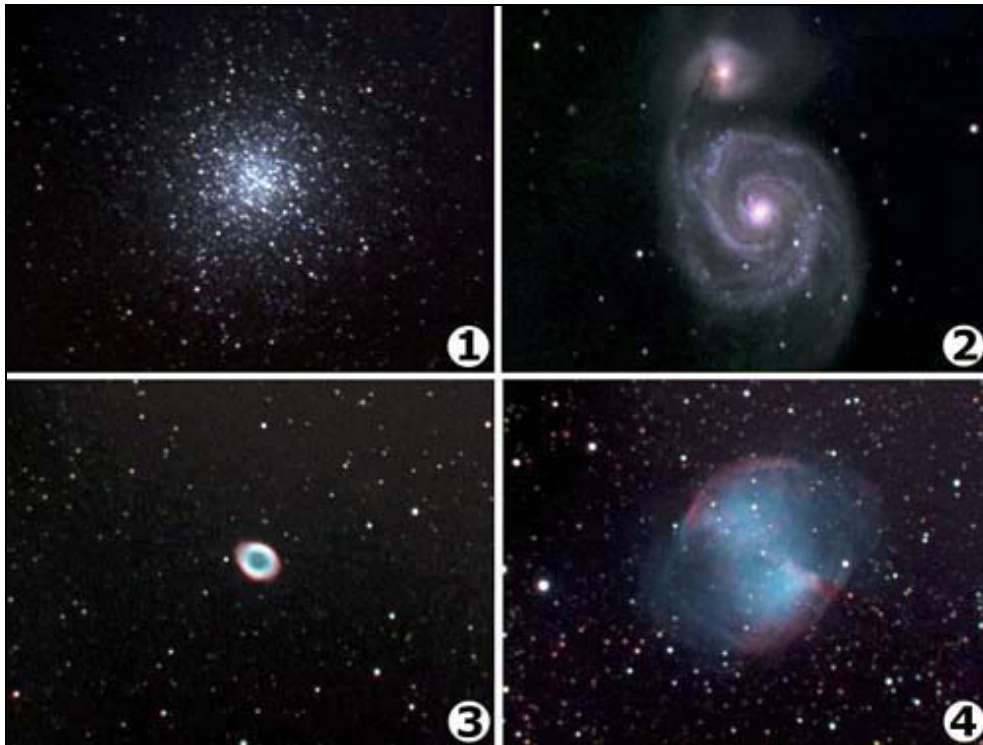


Figura 28- Imagens CCD coloridas obtidas com o auxílio de filtros (RGB). 1- M 13, 2- M 51, 3- M 57, 4- M 27. Telescópio Schmidt-Cassegrain 350 mm $f/6$. Câmera CCD MX916. Pedro Ré (1999).

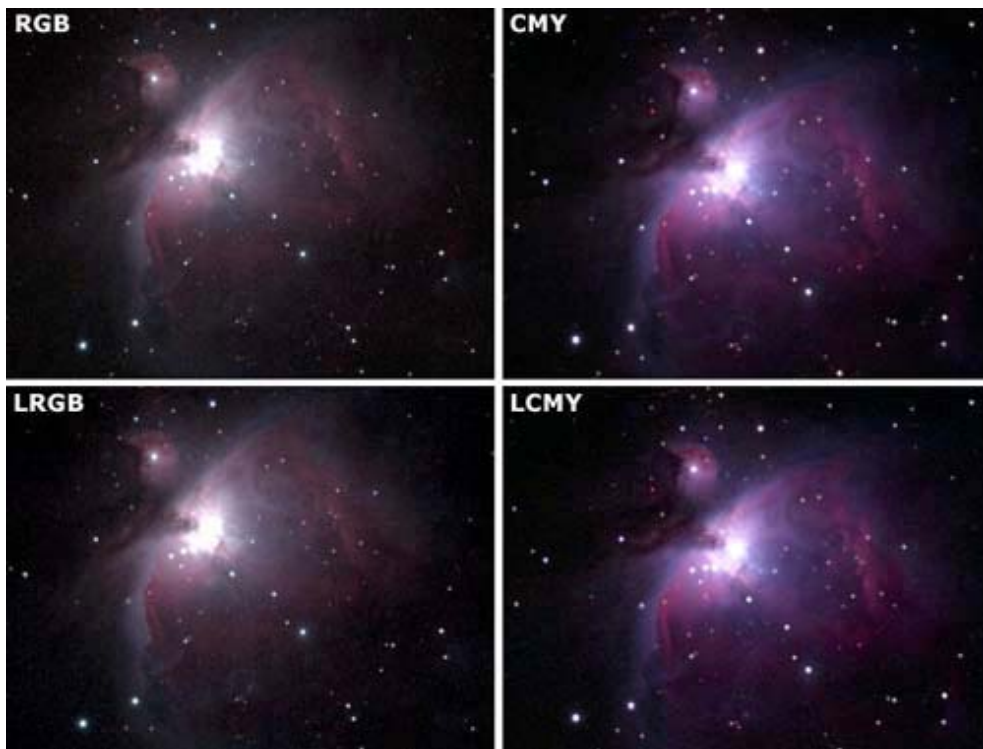


Figura 29- Imagens CCD coloridas da nebulosa M 42. Telescópio Schmidt-Cassegrain 100 mm $f/6,3$. Câmera CCD MX916. Tempo total de integração 9 min (Média de 3 imagens de 1 min obtidas através de cada filtro). A camada de luminância (L) é o resultado da soma de todas as integrações. Imagem processada com os programas *Astroart* e *Photoshop* 6.0. Pedro Ré (1999/2000).

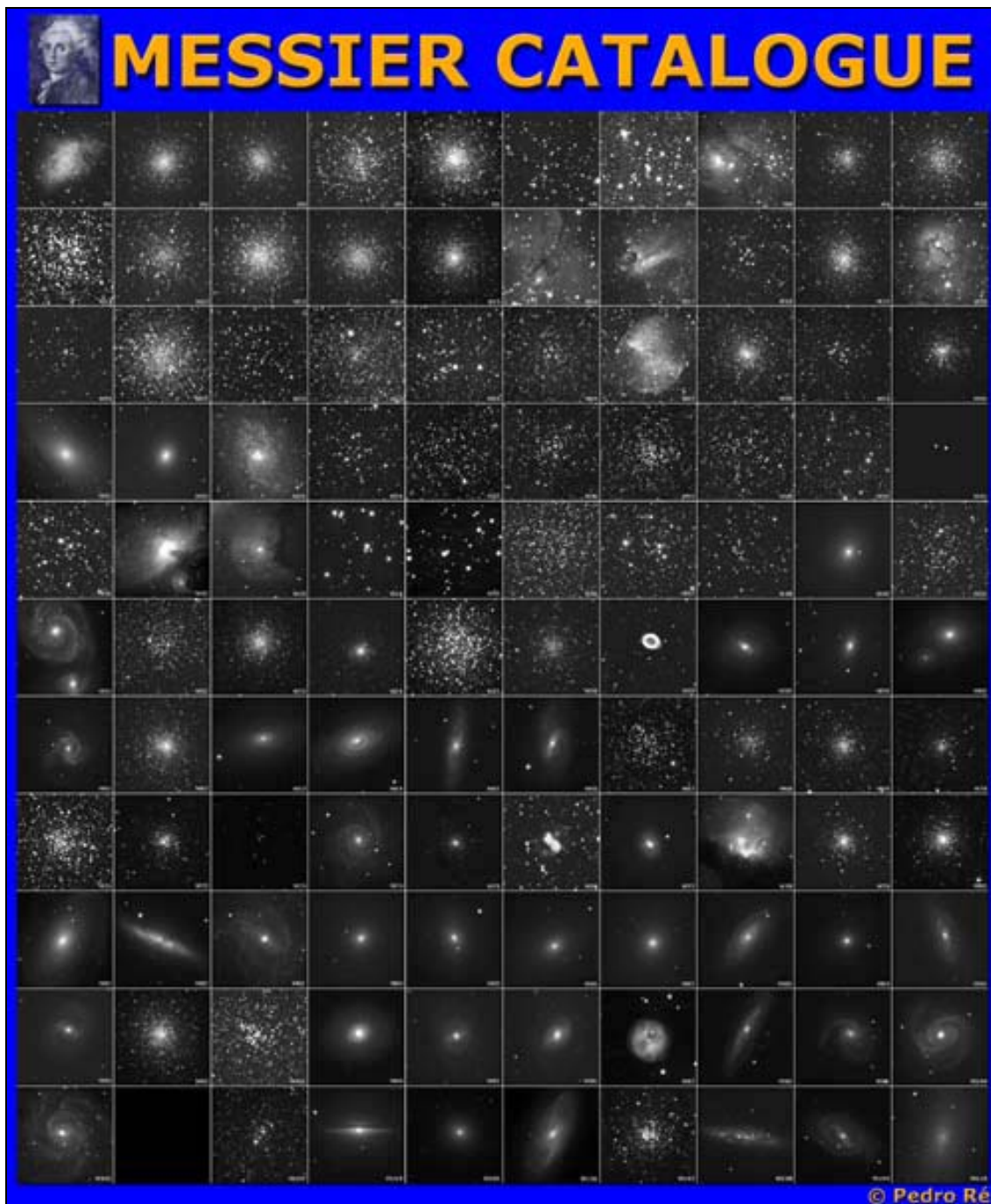


Figura 30- Catálogo Messier completo. Telescópios Schmidt-Cassegrain 350 mm $f/6$ e 100 mm $f/6,3$. Câmara CCD *Hi-sis 22*. Tempos de integração 5 a 20 min. Pedro Ré (1994/1998).

As diversas técnicas e instrumentos utilizadas em astrofotografia são abordadas de um modo pormenorizado na obra *Fotografar o Céu* de Pedro Ré, Plátano Edições Técnicas, Lisboa, 2002 (ver caixa).



Ré, Pedro (2002). *Fotografar o Céu: manual de astrofotografia*. Plátano Edições Técnicas: 303pp. ISBN-972-707-345-X

Fotografar o céu é uma ambição natural de muitas pessoas, entre as quais se contam os entusiastas de fotografia e de astronomia, os amantes da natureza e os astrónomos amadores. Por vezes pensa-se que registar estas imagens exige equipamento altamente sofisticado e amplos conhecimentos, mas algumas destas fotografias, nem por isso menos belas, estão ao alcance de qualquer pessoa motivada e persistente. O equipamento necessário é, por vezes, surpreendentemente simples. É possível obter excelentes resultados recorrendo a equipamento básico: uma câmara fotográfica, um tripé e um disparador de cabo são suficientes para obter as primeiras fotografias astronómicas.

Este livro destina-se a todas as pessoas interessadas em registar fotograficamente os diversos objectos celestes que se encontram próximos de nós (Sol, Lua e planetas) ou para além do sistema solar (constelações e objectos do céu profundo). A obra é profusamente ilustrada e descreve, em linguagem acessível, a maioria das técnicas e instrumentos utilizados em astrofotografia.

Pedro Ré

pedrore@mail.telepac.pt

<http://www.astrosurf.com/re>



