

# IMAGENS DO CÉU PROFUNDO

Pedro Ré

<http://astrosurf.com/re>

Realizar fotografias de objectos do céu profundo é um procedimento que requer alguma persistência e equipamento adequado. A enorme evolução sofrida pelas películas fotográficas nos últimos anos, sobretudo no que diz respeito ao aparecimento de emulsões coloridas (negativas e positivas) de sensibilidade média e elevada (ISO/ASA 400 a 3200), coloca a fotografia astronómica ao alcance de todos.

As primeiras astrofotografias poderão ser realizadas numa noite sem Lua e longe das luzes da cidade (poluição luminosa), com o auxílio de uma câmara fotográfica (de preferência reflex), munida de uma objectiva normal (50mm f/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). Facilmente se deduzirá que se utilizar uma câmara com obturação electrónica rapidamente se gastarão as suas pilhas por terem de efectuar poses relativamente longas (>30Seg.).

Carregue a sua câmara com um filme colorido de sensibilidade igual ou superior a ISO/ASA 400. Dirija-a para um grupo de estrelas brilhantes (por exemplo a constelação da Ursa Maior) e realize com o auxílio de um disparador de cabo uma série de exposições de longa duração (30 segundos, 2 minutos e 10 minutos) 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 30 segundos apresentará imagens estelares quase pontuais, enquanto que nas poses superiores (2 e 10 minutos) as imagens das estrelas são traços. Estes traços estelares, como facilmente deduzirá, são devidos à rotação da esfera celeste ou seja à rotação da Terra. As estrelas observáveis próximo do equador celeste (*e.g.* constelação do Oriente) 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.

Poderá realizar facilmente astrofotografias das principais constelações utilizando para o efeito a técnica acima descrita e poses não superiores a 30 seg. se quiser que as imagens das estrelas sejam aproximadamente pontuais. Se utilizar um filme de sensibilidade média (ISO/ASA 400) registará deste modo um maior número de estrelas do que aquelas que são observadas à vista desarmada (numa noite limpa e sem Lua, longe da poluição luminosa das grandes cidades, um observador pode avistar cerca de 2000 estrelas). Do mesmo modo podem fotografar-se outros corpos celestes (*e.g.* cometas, meteoros, planetas etc.).

A desvantagem deste tipo de fotografia reside no facto de registar somente as estrelas mais brilhantes. Se pretender efectuar poses superiores sem que as imagens das estrelas surjam como traços, terá de recorrer à utilização de uma montagem equatorial que permita "seguir" o movimento aparente da esfera celeste.

Pode-se deste modo registar um maior número de estrelas com o mesmo equipamento fotográfico acima descrito uma vez que quanto maior for o tempo de exposição maior é a quantidade de informação registada. Esta última não é no entanto directamente proporcional ao tempo de exposição devido sobretudo à falha de reciprocidade exibida pela maior parte das emulsões fotográficas (as películas fotográficas não mantêm durante poses de longa duração as mesmas características, tendendo a sensibilidade a diminuir drasticamente com o decorrer da exposição).

Outro problema que pode surgir na realização de exposições longas é, tal como noutros tipos de fotografia, a sobreexposição. Na realidade, apesar de grande parte dos corpos celestes apresentarem uma luminosidade pouco elevada, o advento das películas de alta sensibilidade faz com que este seja um problema a considerar. Utilizando estas emulsões rapidamente se atinge o limite a partir do qual não é possível registar mais informação mesmo que se aumente o tempo de exposição.

Se recorreremos à utilização de objectivas fotográficas de distância focal média (135 mm a 300mm) podem-se realizar astrofotografias de numerosos objectos do céu profundo desde que se efectue o seu seguimento durante a pose. Exposições de poucos minutos revelarão já uma quantidade considerável de informação.

Dependendo do telescópio e da película fotográfica utilizada, é possível fotografar objectos celestes que não são nunca observados pelo olho humano. Neste caso torna-se necessário recorrer a tempos de exposição bastante longos (que podem atingir várias horas) se quisermos fotografar com sucesso certos objectos celestes de baixa luminosidade. Tempos de exposição tão elevados obrigam a que, durante a pose, se efectue uma guiagem precisa. Isto equivale a dizer que o telescópio a ser utilizado terá de se manter centrado numa moeda de 20 escudos (se por analogia a moeda fôr o objecto celeste a fotografar) que se encontre a 1 km de distância e que se movimente uniformemente com a velocidade de rotação da esfera celeste. Ter-se-à que recorrer ao auxílio de uma montagem equatorial para a realização de tal tipo de astrofotografias e será ainda necessário proceder a inúmeras correcções do movimento horário durante o tempo de exposição. Tais correcções terão de actuar nos dois eixos da montagem equatorial devido fundamentalmente a problemas mecânicos inerentes à própria montagem, ao sistema de guiagem e à refacção atmosférica.

Podem utilizar-se películas de sensibilidade média e elevada tal como foi mencionado anteriormente no tocante à fotografia de contelações. No entanto a falha de reciprocidade é naturalmente mais acentuada quando se realizam exposições de vários dezenas de minutos e até de algumas horas. Um dos processos de obviar tal problema consiste na utilização de películas especialmente concebidas para a fotografia astronómica (Kodak 103aE, 103aF e 103aO). Mais recentemente foram desenvolvidas técnicas que permitem reduzir ou mesmo anular a falha de reciprocidade das películas fotográficas. Tais técnicas consistem na hipersensibilização da emulsão através da inclusão desta numa atmosfera de hidrogénio e azoto (numa proporção de 1 para 9 respectivamente) durante algumas horas (ca. 10h) a uma temperatura relativamente elevada (ca. 60 °C).

O filme Kodak Technical Pan 2415 (=Kodak SO-115) é particularmente adequado para a realização de astrofotografias de longa pose depois de hipersensibilizado. O mesmo é válido para alguns filmes coloridos embora os resultados não sejam tão satisfatórios. Pode-se ainda recorrer à utilização de certos filtros na realização deste tipo de fotografias. Apesar dos objectos a fotografar terem uma luminosidade muito baixa, a utilização de filtros permite seleccionar uma gama de comprimentos de onda e conseqüentemente eliminar a radiação luminosa "prejudicial". Tal é o caso dos "filtros para a diminuição da poluição luminosa" que eliminam a radiação emitida pelas luzes fluorescentes de mercúrio e sódio tão comuns nos centros urbanos, ou dos filtros vermelhos (Wratten 25, 29) particularmente adequados para a fotografia das nebulosas de emissão (que emitem radiação na região terminal do espectro electromagnético).

A realização de astrofotografias de longa pose de objectos celestes de baixa luminosidade obriga muitas vezes a que o equipamento a utilizar esteja montado de um modo permanente. Recorre-se neste caso normalmente à montagem dos telescópios fotográficos no interior de um observatório astronómico. Grande parte do equipamento óptico necessário para a realização de astrofotografias pode ser construído pelo próprio utilizador. É o caso dos telescópios reflectores que são de realização relativamente simples desde que se possua alguma destreza manual e as indicações necessárias. O mesmo é válido para as montagens de suporte dos elementos ópticos e montagens equatoriais. As imagens fotográficas que ilustram a presente obra foram obtidas por um dos autores (Pedro Ré) com o auxílio de dois telescópios distintos e de câmaras CCD. Esta sigla é formada pelas iniciais de *Charge Coupled Device*, nome atribuído a um dispositivo sensível à luz que se pode acoplar a um telescópio (ou outros instrumentos ópticos). Todas as imagens apresentadas são idênticas ao que é possível observar com o auxílio de um telescópio de abertura média (200 a 300mm) e a sua orientação é idêntica às imagens produzidas por um telescópio reflector de Newton (sul para cima e oeste para a esquerda).

A utilização de câmaras CCD por parte de astrónomos amadores tem vindo nos últimos anos a revolucionar as técnicas e os campos de observação. Apesar de durante muitos anos a astrofotografia convencional utilizando emulsões fotográficas (vulgarmente conhecidas como películas fotográficas) ter produzido excelentes resultados, a astronomia CCD encontra-se actualmente em fase de verdadeira expansão.

### ***Astronomia CCD e principais características das câmaras CCD***

Podemos resumir em somente dois pontos as enormes vantagens que as câmaras CCD têm relativamente às emulsões fotográficas: as câmaras CCD conseguem registar até 60% dos fotões incidentes (elevada eficiência quântica) contrariamente à película fotográfica que apenas regista 2 a 5%; não apresentam uma falha de reciprocidade, isto é, o seu sinal de saída, "*output*", é quase directamente proporcional aos fotões incidentes (linearidade quase perfeita). Isto significa que se podem obter imagens de objectos do céu profundo com poucos minutos de exposição ao contrário do que sucede se utilizarmos emulsões fotográficas, que requerem dezenas de minutos ou mesmo horas.

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.

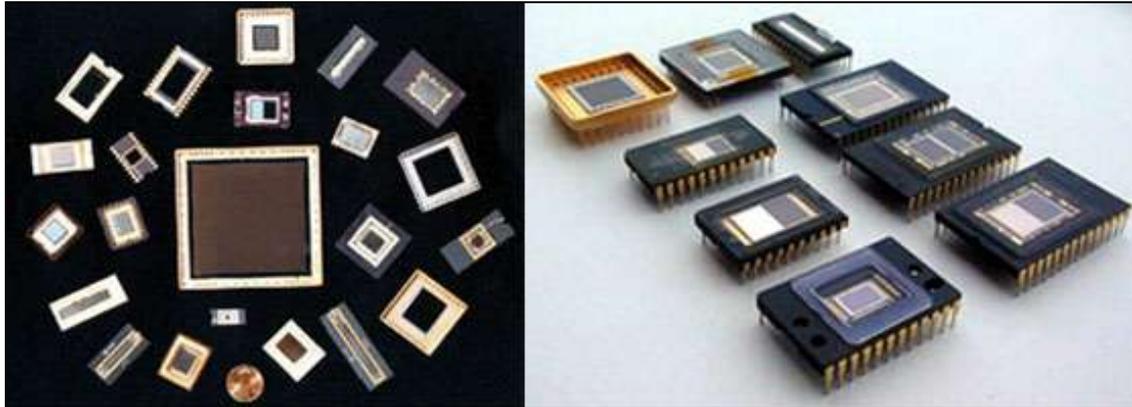


Figura 1- Principais tipos de sensores CCD

A eficiência quântica de um sensor CCD descreve a resposta deste a diferentes comprimentos de onda do espectro electromagnético. Os sensores standard (iluminação frontal) são mais sensíveis ao verde, vermelho e infravermelho (comprimentos de onda entre 500 e 800nm) relativamente aos comprimentos de onda na região do azul (400-500nm). Um outro tipo de sensores CCD (retroiluminados) possui uma eficiência quântica muito superior, que pode por vezes atingir os 90%.

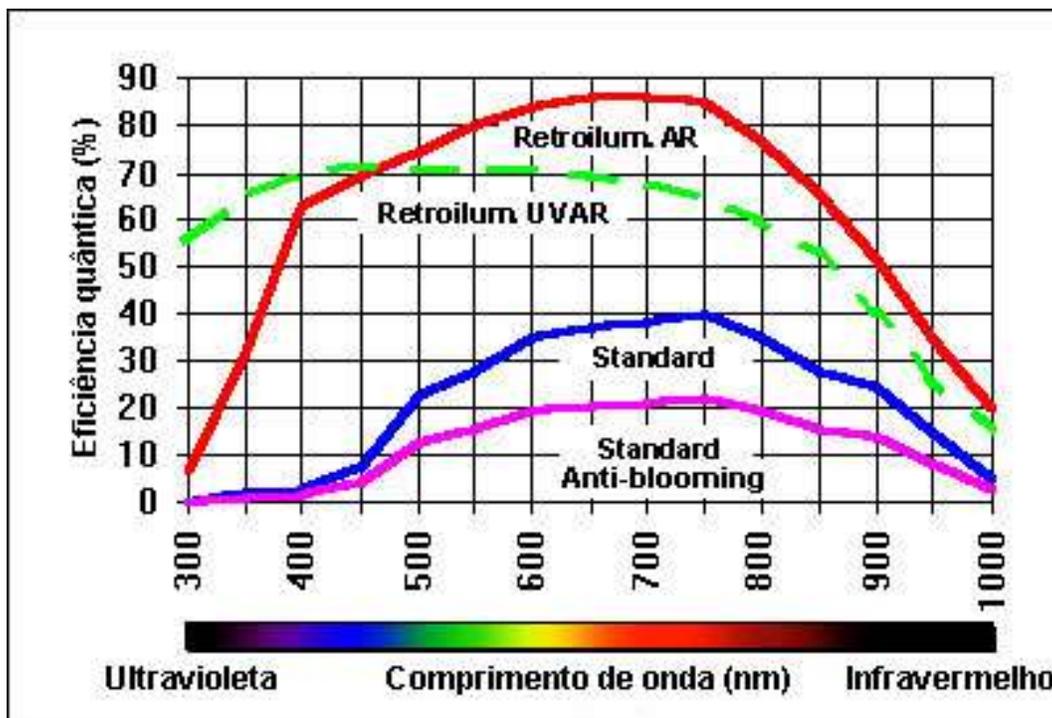


Figura 2- Eficiência quântica de alguns sensores CCD

Devido à sua grande sensibilidade à luz, os elementos (pixels) dos sensores CCD apresentam um sinal de saída elevado perante luminosidades relativamente baixas. Por exemplo, uma estrela de 6ª magnitude criará essas condições em menos de 1seg. A partir de aí, para registar as regiões menos brilhantes de uma nebulosa a exposição terá de continuar, mas os elementos de imagem que já leram a máxica saída não responderão porporcionalmente (saturação).

Alguns sensores CCD têm a como opção um sistema "antiblooming" concebido para eliminar o excesso de carga dos elementos de imagem saturados. Nos sensores em que este não esteja presente, as estrelas brilhantes produzem uma risca vertical (ou horizontal) que é característica da saturação. Os sensores que integrem um sistema "anti-blooming" são cerca de 30% menos sensíveis.

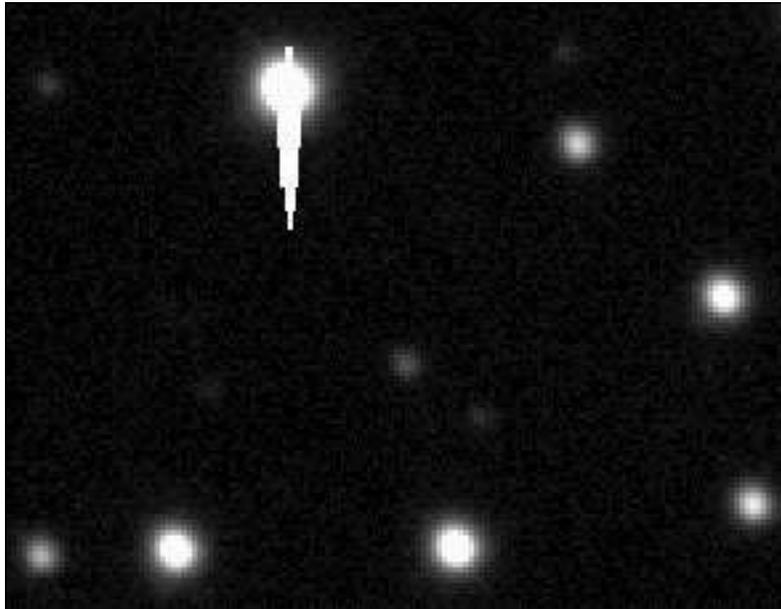


Figura 3- estrela saturada (sensor CCD s/ "antiblooming")

A maioria dos CCD têm a possibilidade de agrupar electronicamente os elementos de imagem ou *pixels* formando-se deste modo um "super pixel". Este "super pixel" integra a área de todos os elementos de imagem que contribuem para a carga eléctrica. A esta característica chama-se "binning". Um "binning" de 1x1 significa que não são agrupados individualmente quaisquer elementos de imagem. Um "binning" de 2x2 equivale à soma da informação proveniente de uma área com 4 elementos de imagem adjacentes. Neste último caso a sensibilidade é aumentada cerca de 4 vezes mas a resolução da imagem é diminuída para cerca de metade.

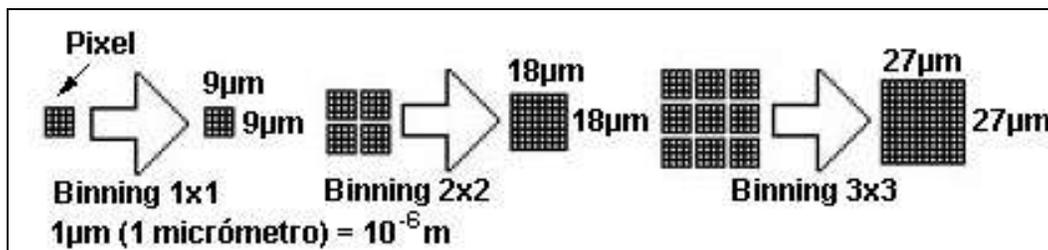


Figura 4- Exemplos de diversos tipos de "binning"

A digitalização, ou seja a conversão analógica/digital, contitui o processo de tradução da carga proveniente do sensor CCD num formato binário que é posteriormente reconhecido pelo computador. Uma câmara com 12 bits tem um "output" de  $2^{12}$  o que equivale a 4096 níveis de cinzento, enquanto que um câmara com 16 bits possui um output de 65536 níveis de cinzento ( $2^{16}$ ).

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 sempre de três tipos de defeitos: que se resumem seguidamente.

### 1. Interferência térmica

Durante o tempo de integração, é acumulada uma interferência térmica em cada pixel. 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 negligenciável. A maioria das câmaras CCD são afectadas por esta interferência uma vez que habitualmente não são refrigeradas a temperaturas inferiores a  $-50^{\circ}\text{C}$ . A imagem é deste modo afectada por uma corrente escura ou "*dark current*" (cujo nome é derivado do facto desta interferência estar presente mesmo quando o sensor se encontra no escuro) e o ruído produzido tem duas origens principais: ruído de leitura e ruído espacial. O primeiro está relacionado com flutuações registadas durante o processo de leitura, e o único modo de o ultrapassar consiste em efectuar uma média de diversas imagens do mesmo objecto. O segundo deriva do facto de cada pixel reagir de modo distinto à corrente negra, produzindo-se um aspecto granulado na imagem não tratada. É possível produzir uma mapa de referência da corrente negra (usualmente uma média de 7 a 10 imagens obtidas em total obscuridade) uma vez que esta apresenta sempre um padrão recorrente e característico para cada detector.



Figura 5- Mapa de "*dark current*"

## 2. Offset

Adicionalmente existe ainda um "*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. Um mapa de "*offset*" pode ser facilmente fabricado recorrendo a um média de algumas imagens obtidas com um tempo de integração mínimo em total escuridão.

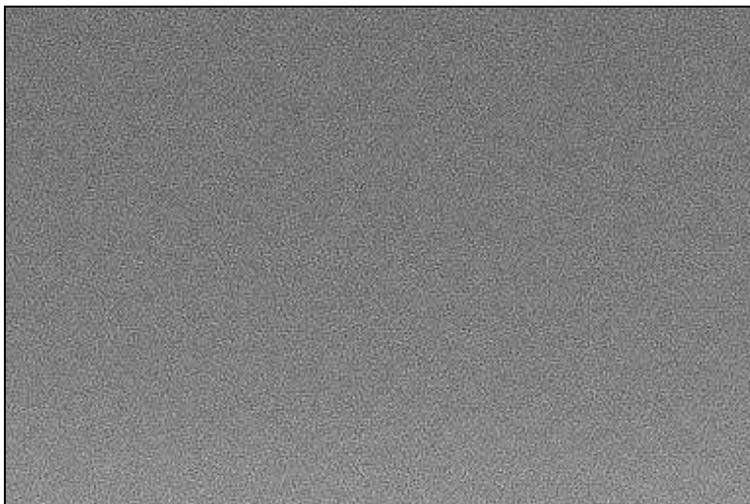


Figura 6- Mapa de "*offset*"

### 3. Não uniformidade da sensibilidade à luz

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) o resultado não é necessariamente uma imagem uniforme. Pode deste modo produzir-se um outro tipo de mapa que habitualmente é designado por "*flat field*" ou mapa de iluminação uniforme. Este tipo de mapa é também utilizado na correcção de diversos defeitos que se produzem no plano focal de um telescópio: menor iluminação nos cantos da imagem (problema geralmente conhecido como vignetting), sujidade, etc.

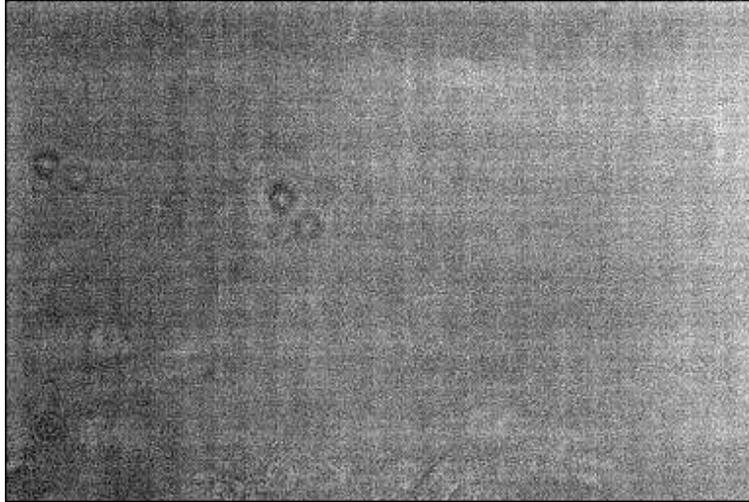


Figura 7- Mapa de "flat field"

### **Técnicas de obtenção de imagens CCD**

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 e mapa de "*offset*", assim como a divisão pelo mapa de iluminação uniforme ("*flat field*"). O resultado é uma imagem pré-processada ou calibrada. A soma ou soma média de diversas imagens pré-processadas produz sempre melhores resultados.

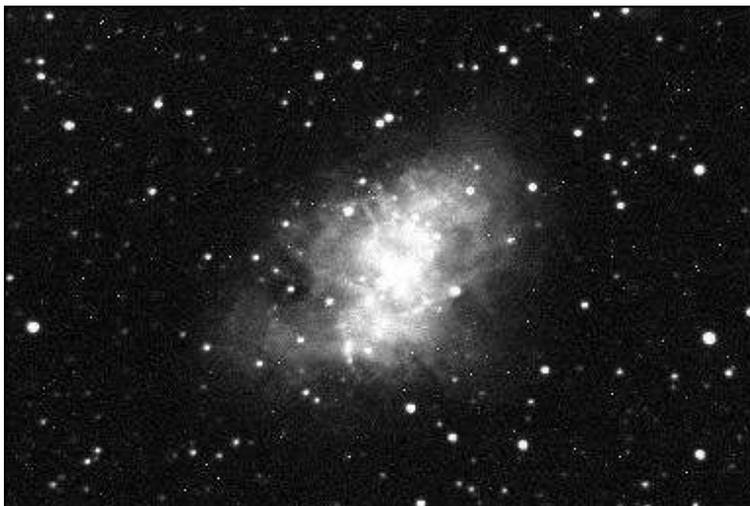


Figura 8- Imagem CCD não processada "raw" (Messier 1)



Figura 9- Imagem CCD pré-processada (Messier 1)



Figura 10- Pós-processamento, soma mediana (Messier 1)

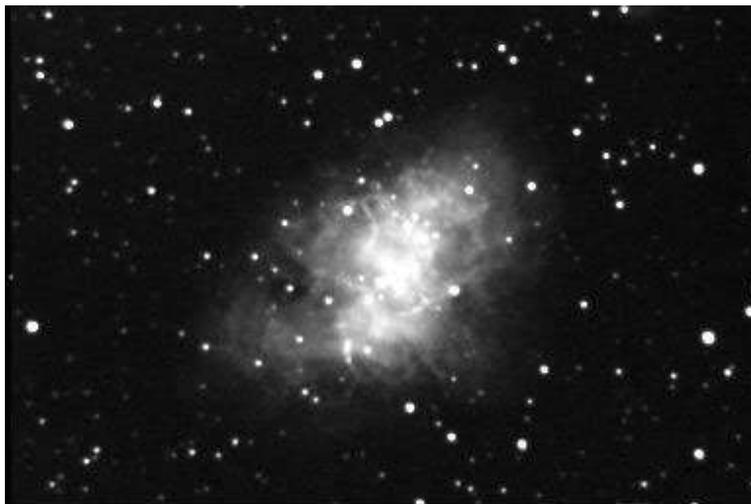


Figura 11- Pós-processamento, soma (Messier 1)

Descrevem-se em seguida as técnicas e instrumentos utilizadas na obtenção de imagens astronômicas do céu profundo. Foram usados dois telescópios catadióptricos: *Celestron 14* (356mm f/11) e *Meade 2045* (102mm f/10). Os telescópios foram utilizados com duas câmaras CCD distintas (Hi-sis22 e ST-7). Estes dois telescópios estão montados sobre a mesma montagem equatorial de garfo, motorizada nos dois eixos (ascensão recta e declinação) e provida de círculos graduados digitais. A referida montagem está equipada com uma roda dentada Byers (230mm de diâmetro e 359 dentes) de elevada precisão (erro periódico inferior a 3"). As duas câmaras CCD estão equipadas com o mesmo tipo de sensor CCD (KAF-0400) que é constituído por 768x512 elementos de imagem. Cada um destes elementos de imagem é minúsculo, medindo apenas 0,009 mm x 0,009 mm (9x9 micrómetros), distribuídos numa área sensível de 6,9 mm x 4,6 mm. A câmara Hi-sis22 possui um sensor provido de "anti-blooming" enquanto que o chip da ST-7 não tem esta característica sendo por consequência cerca de 30% mais eficiente.



Figura 12- Observatório e telescópios *Celestron 14* e *Meade 2045*



Figura 13- Câmaras CCD *Hi-sis22* e *ST-7*

As sessões destinadas à obtenção de astrofotografias CCD são geralmente iniciadas com a elaboração prévia de diversas imagens (integrações) que serão utilizadas na construção do mapa de "flat field". Tal como já foi referido anteriormente, a correcção das irregularidades verificadas no campo de visão do telescópio, recorrendo ao referido mapa de iluminação uniforme (divisão), juntamente com a remoção (subtracção) do "offset" e "dark current", são elos essenciais no pré-processamento das imagens CCD do céu profundo.

Os mapas de "flat field" são geralmente obtidos durante os períodos crepusculares logo a seguir ao pôr do sol. Durante um intervalo de tempo não muito extenso (aprox. 30 min.) o telescópio é apontado para o zénite e fazem-se

várias integrações com 5 a 20 s em diferentes regiões desprovidas de estrelas brilhantes. É necessário obter uma relação sinal/ruído elevada, em cada uma das integrações, (equivalente a cerca de metade da dinâmica do CCD). A média das imagens assim obtidas (em que todas as estrelas desaparecem) constitui o mapa de "*flat field*". Este mapa contém o "*vignetting*" do sistema óptico, a sujidade dos filtros, dos redutores de focal e da janela óptica do CCD, bem como a variação da eficiência quântica dos diferentes elementos de imagem. Torna-se necessário que o sensor CCD esteja próximo do plano focal do telescópio e que a sua orientação não varie durante a sessão de obtenção de imagens.

Tal como numa sessão de obtenção de imagens recorrendo a emulsões fotográficas, o sensor CCD tem de ser colocado rigorosamente no plano focal do telescópio. Uma boa focagem é avaliada tomando como referência a imagem de uma estrela não muito brilhante (para não saturar o sensor). Por vezes é utilizado um ecrã com dois orifícios, que é colocado à frente do telescópio. Por tentativa e erro obtém-se uma focagem precisa quando em vez de duas imagens de uma mesma estrela se regista um único disco estelar. A focagem pode igualmente ser efectuada recorrendo a algumas funções específicas do software que controla a câmara CCD. Em qualquer dos casos é essencial uma focagem precisa. Só se podem obter boas imagens CCD quando o objecto a registar se encontra rigorosamente focado. Em instrumentos com relações  $f$  superiores ou igual a 6) é necessário por vezes efectuar diversas sessões de focagem durante uma sessão de observação.

As integrações dos diversos objectos do céu profundo nas astrofotografias CCD deste livro variaram entre 1 e 3 min. Isto significa que a guiagem do telescópio nunca é corrigida manualmente durante uma integração. A precisão com que a montagem segue o movimento aparente da esfera celeste é suficientemente elevada para não necessitar de qualquer tipo de correcção manual em integrações de poucos minutos. Usualmente realizam-se cerca de 3 a 5 integrações de cada objecto do céu profundo. O tempo de integração pode ser distinto se se tratar de um objecto difuso (galáxia, nebulosa) ou de um enxame estelar. No primeiro caso realizam-se usualmente integrações de 2 ou 3 min e no segundo caso integrações de 1min. As diversas imagens assim obtidas após terem sido pré-processadas (subtracção da "*dark current*" e "*offset*" e divisão pelo "*flat field*") terão de ser pós-processadas. Este pós-processamento consiste habitualmente em dois procedimentos (soma e soma mediana). São deste modo construídas duas imagens com informações distintas.

A câmara *Hi-sis22* que foi utilizada não possui um diafragma, pelo que no final das diversas integrações o sensor tem de ser obturado manualmente. Esta obturação pode ser conseguida por dois processos: colocando um obturador manual (cartão negro) em frente da abertura do telescópio; interrompendo o trajecto óptico com o auxílio de um "*flip-mirror-finder*" (pequeno espelho móvel situado entre o porta-oculares e o sensor CCD). Este último dispositivo pode igualmente ser muito útil na centragem dos objectos a registar.

As diversas imagens de objectos do céu profundo foram maioritariamente obtidas com um "*binning*" de 2x2 (384x256 elementos de imagem cada um com as dimensões de 18x18 micrómetros. A amostragem foi de 1,8"/pixel abrangendo um campo aparente de 12'x8'. Recorrendo à utilização do telescópio *Celestron 14* munido de um redutor de focal F/D 6 ("*Giant Easy-Guide*" da Lumicon) podem facilmente registar-se estrelas de magnitude 20 em cerca de 5 min de integração. Do mesmo modo, e utilizando tempos de integração idênticos é possível registar estrelas de mag 17/18 com o *Meade 2045* (f/6,3). Os diversos objectos a integrar são localizados utilizando além do "*flip-mirror-finder*", um sistema de círculos graduados digitais ("*Lumicon Ngc Sky Vector*"). Recorrendo a este último dispositivo é possível localizar mais de 12000 objectos distintos de um modo rápido, simples e interactivo.

As duas câmaras utilizadas são controladas com o auxílio de diversos computadores (IBM PS1, Cyrix 150MHz e Toshiba 300CDT). O software utilizado para controlar as duas câmaras CCD é distinto. No caso da *Hi-sis22* foi utilizado sobretudo o *Qmips32* (V1.3) e no caso da *ST-7* o *CcdopsW95* e *Ccdops/Dos*. A câmara *ST-7* possui características mais avançadas relativamente à *Hi-sis22*. Além de um obturador mecânico que permite a realização de integrações superiores a 0,11 s, possui dois sensores distintos (KAF-0400 e TC-211). Enquanto que o primeiro *chip* é usado na obtenção de imagens, o segundo pode ser utilizado na guiagem automática do telescópio durante o tempo de integração. Existem ainda funções avançadas que permitem, recorrendo ao *software* de controlo da câmara, realizar diversas integrações de um modo sequencial que são registadas e adicionadas (função "track & accumulate").

O pós-processamento das imagens é realizado recorrendo sobretudo a dois programas: *Qmips32* (V1.8) e *Ccdops*. O primeiro possui um conjunto impressionante de rotinas de processamento, desde as mais simples (rotinas de pré-processamento) até às mais sofisticadas (restauração de imagem). Além da soma e soma média de imagens pré-processadas, pode-se igualmente recorrer à utilização de outro tipo de rotinas. Na maioria dos casos utilizam-se funções do tipo "*unsharp mask*" para melhorar o contraste e "*logarithmic scaling*" para tornar visíveis certas estruturas (braços de galáxias espirais, estruturas em nebulosas planetárias e nebulosas de emissão, etc).



Figura 14- Celestron 14, Meade 2045, ST-7 e "flip-mirror-finder"

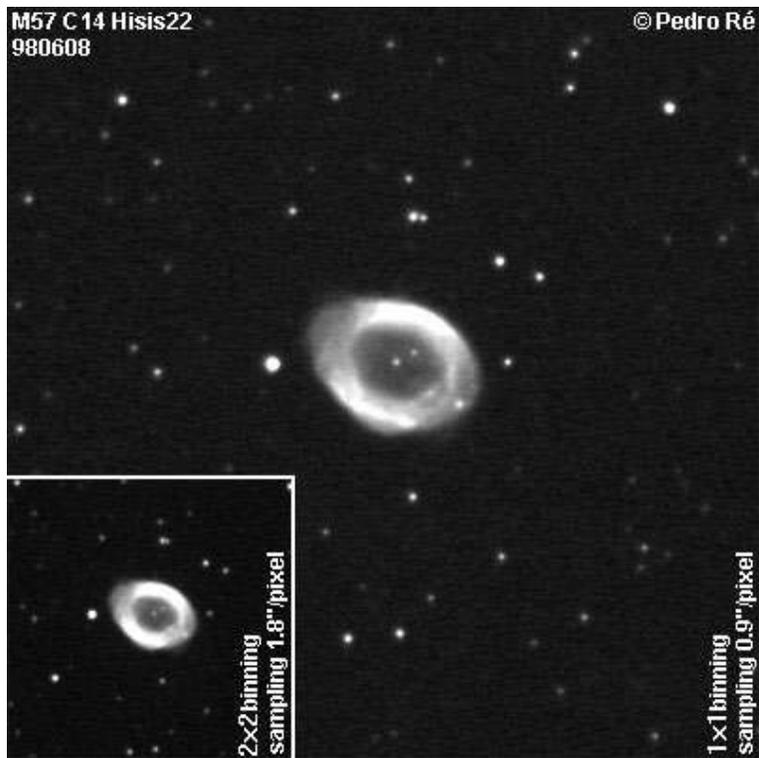


Figura 15- Imagens CCD obtidas com dois tipos de "binning" (Messier 57)