

# Técnicas com CCD e Processamento de Imagens

Por Paulo M.F. de Cacella

**Resumo**—O objetivo desse artigo é apresentar conceitos de imageamento usando CCDs e noções de processamento digital de imagens. O enfoque é introdutório e tem a intenção de ser útil para pessoas que têm intenção de trabalhar com imageamento em Astronomia e entender as variáveis e fatores que entram em jogo.

**Palavras Chave**—CCD, Astronomia Amadora, Processamento Digital de Imagens.

## I. INTRODUÇÃO

Uma revolução tomou conta da astronomia com a introdução dos CCDs. Eles são dispositivos eletrônicos lineares capazes de registrar imagens com uma eficiência muitas vezes maior do que um filme fotográfico. Por essa razão a fotografia convencional em astronomia é o análogo hoje ao disco de vinil.

Com os CCDs se tornou possível o registro de observações, medidas precisas de posição (astrometria) e de brilho (fotometria) de uma forma mais rápida e com a enorme vantagem de se tratar de uma informação digital.

Vamos então abordar diversas questões que esclarecem o uso desses equipamentos e suas limitações.

## II. WEBCAM E CCD PARA ASTRONOMIA: QUAL A DIFERENÇA?

Por causa do uso de webcams baratas em imageamento de objetos brilhantes como a Lua e Planetas muitas pessoas imaginam que a diferença entre esses aparelhos e CCDs para astronomia tem relação apenas com o fato das últimas serem refrigeradas. Nada mais longe da verdade. Essa impressão vem do fato de que a maioria dos astrônomos amadores se encanta com as imagens e imagina que esses aparelhos servem apenas para isso.

Uma webcam é projetada para se obter sequências de imagens (filme) em uma forma digital, como uma pequena filmadora, para uso na web. Esse tipo de equipamento é majoritariamente colorido e apresenta resoluções em geral inferiores ou iguais a 640x480. As cores são captadas com conversores de 8 bits por canal (R,G,B), isto é 256 níveis de cinza. Esse número mágico aparece porque o olho humano só consegue detectar algo como 250 tons de cinza. Essas pequenas máquinas são projetadas também para pequenos tempos de exposição.

Os CCDs produzem ruídos em altas temperaturas, como as do nosso ambiente, saturando as imagens com ruído quando o tempo de exposição aumenta.

Os CCDs para astronomia são máquinas incrivelmente mais sofisticadas do que as webcams, apesar de, por vezes, usarem

os mesmos chips CCDs.

Os CCDs para astronomia trabalham com cerca de 65536 níveis por canal !!! Por isso dizemos que eles tem conversão de 16 bits, enquanto uma webcam tem conversão de 8 bits.

É absolutamente impossível se fazer algum trabalho mais sério em astronomia com webcams. O uso delas é de gerar imagens da Lua e dos Planetas para colocar em sites. Com algumas adaptações se conseguem exposições maiores, mas isso não contorna seus problemas de projeto para a astronomia. Isso se deve a três fatos principais.

- Conversão de 8 bits por canal
- Tempo de Exposição limitado por falta de refrigeração
- Matriz de cor RGB

Para entender que limitações são essas vamos analisar caso a caso

### A. Conversão de 8 bits por Canal

Quando expomos um CCD a luz algumas coisas acontecem simultaneamente para compor a imagem. Podemos imaginar que cada pixel é uma caixa com 256 valores possíveis no caso de 8 bits(webcams) ou 65536 valores possíveis, no caso de CCDs para astronomia (16 bits). Essa caixa vai assumir valores cada vez mais altos quanto maior for o brilho captado, até chegar a 256 no primeiro caso e 65536 no segundo. Obviamente que o olho humano não consegue ver todas as informações que um CCD de 16 bits capta. Vejamos as figuras a seguir :



Figura 1 – Imagem Crua – Filtro Vermelho – Sem Tratamento

Nessa imagem o fundo negro tinha um valor de 2.000 enquanto a parte mais brilhante da imagem tinha o valor 40.000. O primeiro valor corresponde ao ruído gerado pelo fundo do céu adicionado pelo ruído do próprio CCD, o qual poderia ter sido removido através de um processo de Dark-Frames, como explicarei posteriormente. Para ser visualizada o programa perde informações já que ele reduz os 38.000 tons de cinza da imagem que foram captadas pelo CCD aos 256 que conseguimos ver.

Um artifício que mostra o que está acontecendo pode ser feito através de um processo chamado de pseudo-cor. Ao invés de

usarmos apenas uma gradação de 256 níveis de cinza, criamos 512, 768 etc... usando cores falsas, cada uma com 256 graus de cinza, como fossem curvas de nível.



Figura 2 – Imagem Crua – Filtro Vermelho – Sem Tratamento – 512 níveis de cinza

Na figura 2 vemos 512 níveis. Isso é simulado com ciclos de azul-branco. A faixa branca mostra uma nova sequência de 256 bits. Na figura 3 vemos 1024 níveis, quatro ciclos de 256 bits.



Figura 3 – Imagem Crua – Filtro Vermelho – Sem Tratamento – 1024 níveis de cinza

É fácil perceber que os 38000 níveis dessa imagem fornecem um volume de informação muito superior aos 256 níveis que uma webcam de 8 bits por canal faria.

Com 20 ciclos, isto é, 5120 níveis, podemos ver na figura 4 ampliada a perfeita circunferência do planeta.



Figura 4 – Imagem Crua – Filtro Vermelho – Sem Tratamento – 5120 níveis de cinza

Como podemos ver, a suposta imagem fuzzy era decorrente de uma limitação na visão ao representarmos linearmente 38000 níveis em apenas 256. Curioso observar o halo azul em volta do planeta. Esse halo é decorrente de reflexões na óptica. Podemos perceber que ele é basicamente indetectável. Nenhuma webcam mostraria esse efeito. O leigo poderia imaginar então que seu telescópio tinha uma precisão extraordinária. De fato o que ocorre é que os 256 níveis de cinza de uma webcam são insuficientes para detectar informações tão sutis como essas.

Essa fotografia foi obtida com uma excelente relação sinal ruído. Como regra de bolso devemos imagear um objeto brilhante usando ao menos metade do alcance dinâmico do CCD, no caso 32000 bits. A relação entre esses números e o número do fundo (preto), no caso algo como 2000 é que chamamos de relação Sinal/Ruído S/N. Com exposições

curtas o alcance é menor e por consequência a quantidade de informações também.

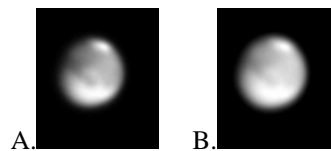


Figura 5 – Imagem Crua – Filtro Vermelho – Sem Tratamento – A. Stretch Gamma 2 – B. Crua

Na figura 5 vemos como a informação é trabalhada. Enquanto em uma webcam o que você vê é exatamente o que você tem. Em um CCD astronômico a coisa é diferente. A figura B foi obtida diretamente do CCD e interpolada para visualização de acordo com o software padrão. A figura A é exatamente a mesma, sem qualquer tratamento, exceto mostrando uma relação de cinza mais conveniente que estava escondida na primeira. Nenhuma imagem que podemos visualizar conseguirá apresentar a riqueza de informações que os 38000 níveis dessa imagem real tem.

Nada do que fizemos até aqui é tratamento de imagem para artificializar alguma informação que não esteja exatamente lá. Podemos entretanto trapacear. Fazer com que o leigo imagine que a imagem que temos é decorrente de nossa habilidade em fotografar o céu ou mesmo da incrível qualidade do nosso equipamento.

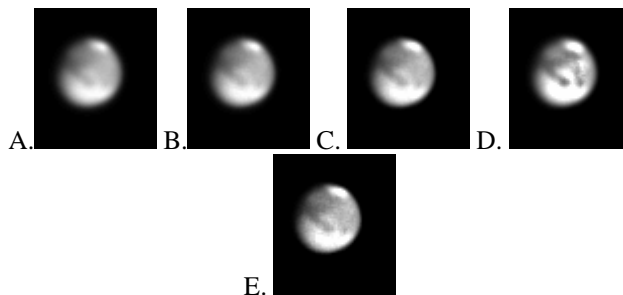


Figura 6 – A. Imagem Original B. Filtro de Sharpening leve C. Filtro de Sharpening Pesado D. Filtro local adaptativo E. Filtro de sharpening superpesado

Todas as imagens da figura 6, exceto a A são falsas. Elas apresentam informações que não estavam na imagem original, sugerindo mais nitidez e criando artefatos. Observem que a denúncia do uso abusivo de filtros é a granulação da imagem como a da letra E. Outra consequência dos filtros é uma suposta nitidez de borda que, de fato, é só um artifício que não existe dessa maneira na imagem original, dando a impressão de um grande contraste da borda com o fundo.

Tenho certeza que depois desses exemplos os leitores não olharão mais para aquelas imagens “bonitas” da mesma forma que antes. Elas vão continuar sendo bonitas, mas em muitos casos como uma espécie de arte rococó, um exagero barroco.

Voltaremos a esse tópico posteriormente, mostrando como é dramático o uso do processamento de imagens e o porque de qualquer pessoa poder conseguir imagens “tao boas” usando filtros como o Unsharp Mask e o Max Entropy.

### B. Tempo de Exposição limitado por falta de refrigeração

Em temperaturas ambientes os CCDs geram uma quantidade de ruído tão rápido que ele satura a imagem. Isso não é limitação para as webcams porque elas foram criadas para serem mini-filmadoras gerando algo como 60 imagens por segundo. Existe alguma liberdade para setar o tempo de exposição, mas sem modificações elas só conseguem exposições rápidas. Não é por outra razão que só servem para se fazer imagens da Lua e de Planetas ou até estrelas mais brilhantes.

Os CCDs para astronomia são refrigerados para garantir um baixo nível de ruído e, por consequência, um tempo maior de exposição, o que permite exposições longas sem que haja saturação da imagem.

Atualmente o pessoal anda fazendo modificações em webcams para aumentar o tempo de exposição. Conseguem-se até 10 segundos de exposição. O suficiente para se chegar a magnitude 16/17 em um telescópio de 10" de abertura. Mas não é possível se fazer nada com essas imagens exceto olhar. As informações nelas contidas são imprecisas em termos de espectro e limitadas em número de bits para se fazer qualquer tipo de fotometria de precisão. São apenas curiosidades.

Mas entre os CCDs para astronomia existem dois tipos. Um deles tem refrigeração relativa como os da starlight xpress (<http://www.starlight-xpress.co.uk/>) enquanto em outros você crava exatamente a temperatura de operação, como os da SBIG (<http://www.sbig.com/>). A diferença entre eles é que no primeiro caso você tem que tirar dark-frames (ruído intrínseco da câmera. Chama-se dark porque você cobre a objetiva) imediatamente após a imagem obtida, enquanto no segundo caso você sempre usa o mesmo para cada tempo de exposição e temperatura escolhidos. Obviamente os segundos são mais caros e precisos.

### C. Matriz de Cor RGB

A terceira e última razão é a composição de cores RGB do chip de captação de luz. Os CCDs para astronomia são sempre em preto e branco, exceto alguns modelos da starlight xpress e de alguns outros fabricantes que foram projetados com chips coloridos de filmadoras. Existe uma razão para isso. A informação que captamos dos objetos celestes vêm, em sua maioria, em ondas eletromagnéticas. Chamamos de espectro à distribuição de intensidade de acordo com a frequência. As cores são distribuídas nessas frequências, assim como outras radiações que não vemos como os raios X, raios gama, ultravioleta e infravermelho. Atualmente a maioria esmagadora de telescópios espaciais opera em frequências que não são visíveis.

A figura 7 apresenta as faixas de frequência captadas pelos filtros padrão UBVRi da schuler.

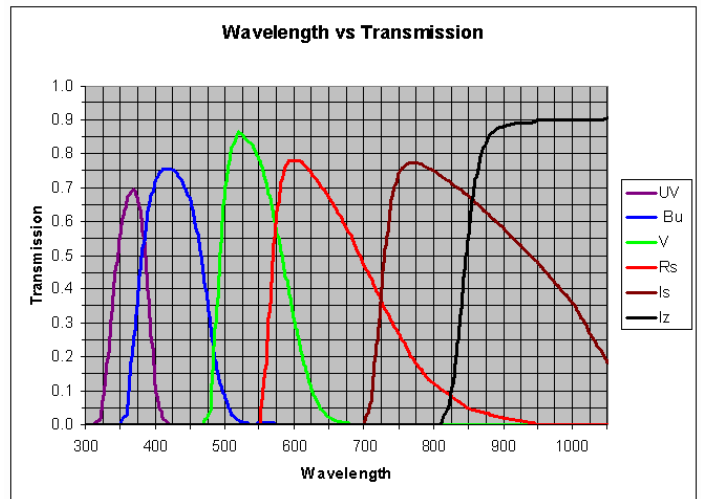


Figura 7 – Faixas de funcionamento dos filtros UBVRi da Schuler

Quando um CCD capta uma imagem ele pega toda a sua resposta de frequência como vemos na figura 8 e coloca em uma única imagem de tons de cinza. Observem que o CCD pega imagens bem lá no infravermelho e é muito ruim na recepção do azul.

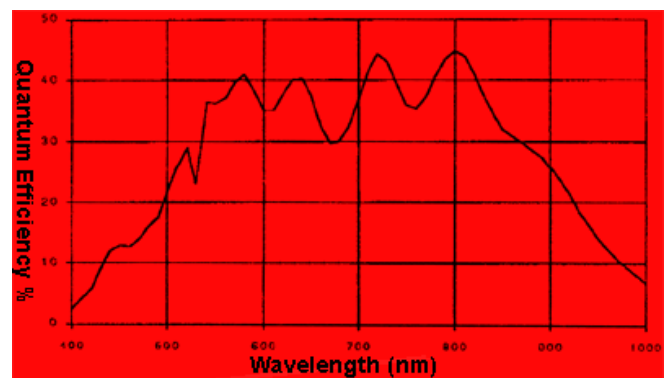


Figura 8 – Resposta em frequência do CCD KAF400 usado na ST7

Para medir o brilho das estrelas devemos utilizar algum padrão. Sempre que dizemos que uma tal estrela é de tal magnitude deveríamos especificar de que faixa espectral estamos falando. Através de um filtro vermelho uma estrela vermelha será muito mais brilhante do que uma azul e vice-versa. Por isso dizemos que a magnitude é V (visual – pico no verde) R (vermelha) I (Infravermelho) e B (azul).

Uma webcam junta tudo isso em uma coisa só e, basicamente, impede o uso para qualquer trabalho de fotometria. Então, com apenas 256 níveis de cinza e com essa limitação uma webcam só pode ser utilizada para se fazer imagens visuais e seu uso em astronomia é, e provavelmente continuará, extremamente limitada.

### III. COMO ESCOLHER UM CCD ?

Sem dúvida essa é a primeira questão que vem a mente quando se pretende entrar no mundo do imageamento digital em astronomia. Antes de esclarecê-la alguns conceitos são importantes de serem explicados.

Os telescópios possuem algumas variáveis que são importantes para a escolha do CCD. Não é exagero dizer que

para cada Telescópio existe um CCD apropriado. Assim, a questão não é quantos megapixel tem o CCD, mas qual é o que é adequado para o seu equipamento.

Um telescópio tem uma abertura e uma distância focal característica. Pode-se usar redutores focais e estão disponíveis os F6.3 e os F3.3 para telescópios F10, além de uns F2 para telescópios Celestron. Esses redutores necessitam de adaptadores para telescópios que não os SCT.

Um CCD possui um tamanho específico para o pixel. Esse tamanho multiplicado pela resolução do chip dá a extensão total do CCD.

O CCD da minha camera HX516 tem 7.4um de tamanho por pixel. Se multiplicarmos pela resolução 659x494 chegaremos ao tamanho do chip. Nesse caso 4.9mm por 3.6mm.

Essa combinação mágica de números é essencial para saber se o CCD é apropriado para o seu equipamento. A imagem que voce deseja obter deve ter uma resolução específica. Para imagens de exposição maior que 5 segundos usa-se uma escala de algo como 1 a 3 segundos de arco por pixel da imagem. Uma maior resolução nada adiantará porque a atmosfera impede que tenhamos mais detalhes. Uma menor resolução fará com que uma estrela caia em poucos pixels, dificultando ou impedindo a medida de seu brilho e fazendo as estrelas quadradas e não redondas. O primeiro caso chama-se de oversampling e o segundo undersampling.

Existe um caso especial onde se usa oversampling. Esse caso é o imageamento de planetas. Como as exposições são curtas podemos basicamente diminuir os efeitos atmosféricos e usar a resolução total da óptica do telescópio. A escala nesse caso vai variar com o equipamento, mas seria algo como 5 a 10 vezes maior que a resolução teórica do equipamento.

Antes então de continuar com essa explicação vamos falar dos limites de magnitude e resolução dos telescópios

#### A. Magnitude limite dos telescópios

Existem diversas fórmulas que são utilizadas por aí sobre a magnitude limite dos telescópios. Minha experiência é que elas superestimam a capacidade dos equipamentos. A tabela a seguir é bem realista para um céu de magnitude 5.

Abertura		Limite de Magnitude
<i>polegadas</i>	<i>mm</i>	
2	51	10.3
3	76	11.2
4	102	11.8
6	152	12.7

8	203	13.3
10	254	13.8
12½	318	14.3
14	356	14.5
16	406	14.8
18	457	15.1
20	508	15.3
24	610	15.7
30	762	16.2

Podemos observar que para ver Plutão é necessário, no mínimo, um telescópio de 10".

Uma coisa off-topic mas muito interessante de ser discutida aqui é o porque voce não consegue ver objetos que são listados nos catálogos como dentro do alcance do seu telescópio.

A magnitude dos objetos estendidos é a chamada magnitude integrada, isto é, o brilho do objeto como um todo. Por exemplo, a nebulosa da Hélice aparece nos catálogos como magnitude 6.5, mas de fato, tem uma aparência visual de magnitude superior a 13, porque sua extensão é grande. Voce nunca a verá com um telescópio pequeno. O mesmo ocorre com as galáxias. A nebulosa do carangueijo, de fato, tem magnitude 11.5 e não 8 e dificilmente poderá ser vista em instrumentos inferiores a 15cm de abertura.

#### B. Limite de Resolução de um telescópio

A resolução máxima de um telescópio é definida como a distância mínima em que se detecta duas estrelas de igual brilho. A fórmula de Dawes apresenta o valor.

Dawes = 4.56 segundos de arco / diametro da objetiva em polegadas

Assim, um telescópio de 10" deve, em condições perfeitas, separar duas estrelas separadas por 0.5 segundos de arco. Para telescópios acima de 8" na maioria das vezes as limitações atmosféricas impedem que o observador chegue ao limite da óptica. Por isso telescópios de grande abertura, se não tiverem óptica ativa, apresentaram imagens, principalmente de planetas, que podem ser piores do que em pequenos. Essa ilusão é comum porque voce tem a impressão que a imagem em um telescópio de 10cm é melhor do que em um maior. É a

mesma ilusão que faz voce crer que o filme na TV é melhor do que no PC na mesma resolução. É só testar para ver. Obviamente a tela de um PC é muitas e muitas vezes melhor do que a tela de uma TV Wega da Sony, mas não parece.

### C. Escolhendo o tamanho do CCD

Agora chegamos no ponto mais importante do trabalho : a escolha do CCD correto para adaptar ao seu telescópio. Vejamos o exemplo simples de um CCD para um Refletor Newtoniano de 180mm de abertura e F7. Nesse caso a distância focal será  $180 \times 7 = 1260\text{mm}$  ou 1.26m.

Vamos calcular então a escala necessária para captar uma imagem de grande exposição ( mais de 5 segundos ). Consideremos que a imagem terá uma escala de 2 segundos de arco por pixel. Nessa escala a imagem da nebulosa do anel terá um tamanho de 35 pixels, já que tem 1.2 minutos de arco de tamanho.

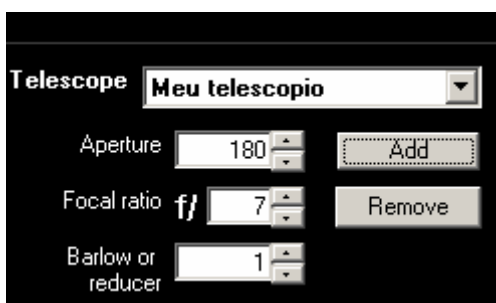
No Anexo 1 apresento alguns dados técnicos dos CCDs. Os fabricantes publicam esses dados para os modelos mais recentes. O importante é entender o que significam e como usá-los para especificar o modelo correto

Um dado importante antes de continuarmos as contas é observar que não adianta voce usar um CCD de grande área se tiver problemas de estreitamento do cone de luz, fato que ocorre quando se usam redutores focais, principalmente o F3.3.

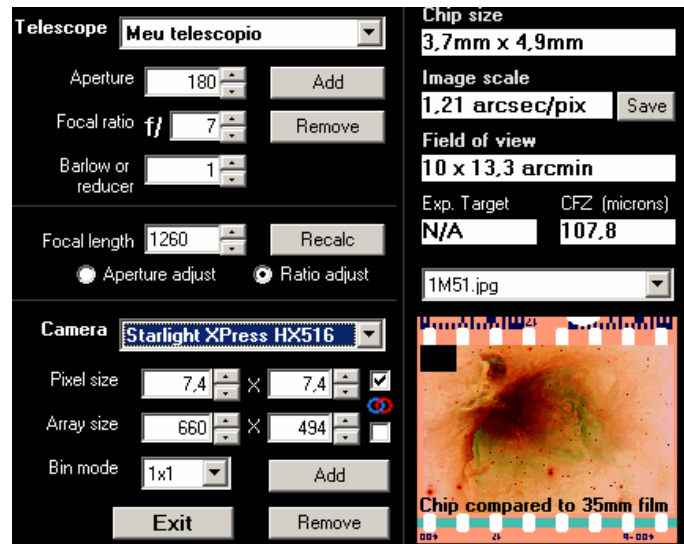
Voltando as contas, no caso em que estamos fazendo o exemplo devemos agora saber, para o tamanho de cada CCD qual será o tamanho do pixel em segundos de arco. A conta é simples mas como existe uma ferramenta direta vamos usá-la.

Um grande auxílio que indico agora para voces é rodar um programinha feito pelo Ron Wodaski que permite que sejam feitos todos os calculos necessários. Voce o encontra em [http://www.newastro.com/wodaski/pick\\_a\\_camera.htm](http://www.newastro.com/wodaski/pick_a_camera.htm) e pode usar a versão HTML simplificada nessa página ou fazer o download do programa em VB, o que eu recomendo.

Vamos então usá-lo. Como nosso telescópio não é padrão vamos entrar com os dados e criá-lo. O primeiro passo é entrar com os dados conforme a figura abaixo e clicar adicionar (Add). Aparecerá um diálogo, você escreve o nome do seu telescópio com os dados de abertura em mm e razão focal, no meu caso coloquei "Meu telescópio" e aperte (Save Now).



Em seguida vamos escolher uma camera. Vamos começar com uma HX516 e ver se serve. Os dados que deverão aparecer são os seguintes :



Observe que a escala da imagem é de apenas 1.21 segundos de arco por pixel. Nessa escala o drive do telescópio será incrivelmente exigido já que um erro de apenas 4 segundos de arco no acompanhamento estragará a imagem. O compo total terá 10x13 minutos de arco. A galáxia M51, que aparece ao lado do programa ocupará todo o visor.

Temos então duas alternativas se quisermos usar esse CCD com esse telescópio. Ou arranjamos um redutor focal ou fazemos binning. Se conseguirmos reduzir a razão focal para F/4 ( é só mudar na mão no programa que ele recalcula tudo automaticamente ) a escala vai subir para 2.12 segundos de arco por pixel.

#### 1) O que é Binning ?

Podemos fazer um artifício com um CCD que se chama binning. Quando dividimos a resolução por 2 ou 3 cada pixel é representado por 4 ou 9 pixels, diminuindo como consequencia a escala. Assim, no nosso caso, a resolução da imagem do CCD e de 660x494 com binning 1. Se escolhermos binning 2 a imagem vai cair a resolução para 330x292, mas agora a escala é adequada, 2.42 segundos de arco por pixel.

Podemos perceber que esse CCD só é capaz de operar com nosso telescópio com uma resolução de 330x292 em binning 2.

#### 2) Imagens Planetárias

Para calcular se ele é apropriado para uma imagem planetária a conta é diferente. Pegamos o poder de resolução de um telescópio de 180mm. Pela formula de Dawes que já mostrei acima isso vai dar

$$res = 4.56 ( 180/25.4 ) = 0.64 \text{ arcsec}$$

Dividimos por dois e essa é a escala que devemos ajustar o CCD. Assim a escala deverá ser de 0.32 arcsec por pixel. Nesse telescópio Júpiter aparecerá com uma imagem de cerca de  $45/0.32 = 150$  pixels de largura. Qualquer imagem maior não trará mais informação. É desperdício. Quanto maior a abertura maior a imagem que voce pode fazer sem perder

resolução. Essa é a razão porque telescópios maiores serão melhores se a óptica for razoável.

Continuando a conta ajustemos o programa de novo para o binning 1 e F7. Depois disso escolha os Fs até a resolução chegar aos desejados 0.32 arcsec/pixel. Esse número deverá ser aproximadamente F/26, que dará 0.33 arcsec/pixel.

Assim voce deverá transformar seu telescópio de F7 para F26 o que significa usar uma barlow de 4X. Qualquer ampliação menor do que essa e voce não está usando todo o potencial de imagem do telescópio, qualquer maior e será desperdício.

Existe um outro fator importante que é o tempo de exposição. É provável que com F26 em um telescópio de 180mm esse tempo seja longo e isso significaria que a imagem poderia ser borrada por problemas no drive de RA ou de seeing.

Como se pode ver é um jogo de cobertor curto. Vamos fazer outro exemplo. Imagine um ETX125. Como seria o comportamento de um CCD HX516 ?

Basta escolhe-lo na lista do programa já que seus dados já existem. Observamos que por causa da sua razão focal longa F15 não é fácil ajustar o CCD. Ou arrumamos um redutor focal ou vai ter que ter binning. Nesse caso o binning adequado seria 3, o que reduziria a resolução da imagem a pífios 220x180. Sobrou só a hipótese do redutor ou então esquecer esse modelo de CCD para esse telescópio. Mas aí vem a magia.

Escolha o CCD ST-9 da SBIG. O que aconteceu ? A escala foi automaticamente para 2.12 arcsec/pixel sem ajuste nenhum de binning ou redutor. Esse é o CCD indicado para esse telescópio de distância focal longa. O problema é que custa 3.700 dólares.

Qual a saída então ? Nesse caso o único jeito mais barato é comprar uma camera com maior resolução como a HX916 da StarlightXpress, que atinge 1300x1030, e usá-la em binning 3, o que significa uma resolução de 430x340, que é razoável.

No caso de planetas a conta seria.

$$\text{res} = 4.56 ( 127/25.4) = 0.91 \text{ arcsec}$$

Isso significa que não há necessidade de se usar barlow nesse telescópio com uma HX516 e binning 1.

Valem aqui algumas observações importantes. A limitação da precisão do drive de RA é fator principal limitante no uso de um CCD, seja para imagens de longa exposição ou planetárias.

Em muitos casos é necessário se trabalhar em uma escala bem maior do que os 2 segundos de arco por pixel para que as imagens não saiam com riscos. Por isso voce deve testar o CCD no seu telescópio antes de comprar. Pode ser que o drive dele simplesmente não aguente a precisão necessária. Além disso os CCDs mais baratos custam mais de 1.000 dólares e quem tem esse valor para um CCD também vai querer um telescópio melhor.

É por isso que não se veem imagens de CCDs com ETXs na internet. Esse telescópio sem redutor e sem o CCD adequado não é razoavel para astrofotografia. Vejam o que se faz com ele por ai

[http://www.weasner.com/etx/guests/guests\\_deepsky01.html](http://www.weasner.com/etx/guests/guests_deepsky01.html)

Por outro lado existe uma aplicação muito curiosa. O uso de lentes de máquinas fotográficas. Nesse caso a razão focal curta permite excelentes imagens do céu e de galáxias e nebulosas, cometas, asteróides.

Veja que uma lente de 200mm de distancia focal em F4, que é o padrão por aí, joga uma escala de 20 arcsec/pixel com um campo impressionante de 3 graus em uma HX516 com binning 1. As estrelas estarão com undersampling e as vezes ocuparão um único pixel, se o foco estiver bem feito. Essas imagens não tem uso para fotometria e astrometria. Por outro lado exigem bem menos de um drive e, apesar de eu nunca ter testado, acredito que um CCD HX516 em piggyback de um ETX125 computadorizado, usando uma lente entre 50 e 200mm deverá funcionar para exposições de até uns 15 segundos.

Quando falarmos de astrometria e fotometria veremos algumas aplicações específicas dessas escalas e o seu uso.

### 3) O Que é Antiblooming ?

Um outro fator comumente existente na escolha de um CCD é verificar se o chip vem com controle de anti-blooming (ABG) ou não (NABG). O Blooming é um efeito que ocorre toda a vez que um objeto é tão brilhante que ele supera o valor máximo de 65536 em um CCD de 16 bits. Esse efeito pode ser observado nas imagens como se a estrela transbordasse de sua posição e escorresse um líquido.

É possível o uso de circuitos eletrônicos que minimizem esse efeito, tornando as imagens, mesmo as saturadas, sem esse erro que aparecesse como fossem riscos verticais nas estrelas mais brilhantes. O problema é que esses circuitos diminuem a sensibilidade do CCD e os tornam menos lineares.

Os CCDs da Sony (StarlightXpress) já tem embutido o ABG, enquanto os da Kodak (ST7, Pictor) vêm com dois modelos. Na hora da compra o usuário escolhe o que lhe convem. Para astrometria e fotometria o melhor modelo é o NABG.

## ANEXO 1 – DADOS TÉCNICOS DE CCDs

	<b>Starlite Xpress</b>			
<b>Camera</b>	SX	SLX8	MX5-C	HX516
<b>Chip</b>	Sony ICX027BLA-6	Phillips FT12(FT)	Sony ICX055CK	Sony ICX084AL
<b>Pixel Size</b>	12.4x16.6	15x15	9.8x12.6	7.4x7.4
<b>Array</b>	500x256	512x512	500x290	660x494
<b>Full Well Capacity</b>	80K	150K	120K	40K
<b>Anti-Bloom?</b>	>1000x	yes	>800x	>800x
<b>Dark Current</b>	<1e/s @-20°C	1e/s @-30°C		
<b>Readout Noise</b>		<20e	25e	<15e
<b>Spectral Response</b>	30% @550nm, 15% @420nm and 720nm	30% @530nm, 15% @400nm and 650nm	peaks @520nm, 50% of peak at 400nm and 670nm	peaks @520nm, 50% of peak at 400nm and 670nm

	<b>Meade</b>			
<b>Camera</b>	Pictor 208XT	Pictor216XT	Pictor416XT	Pictor1616XT
<b>Chip</b>	TC255(FT)	TC255(FT)	KAF-0400	KAF1600
<b>Pixel Size</b>	10x10	10x10	9x9	9x9
<b>Array</b>	336x243	336x243	768x512	1536x1024
<b>Full Well Capacity</b>	50K	50K	85K	85K
<b>Anti-Bloom?</b>	yes	yes	no	no
<b>Dark Current</b>	<8e/5s@-5°C	<8e/5s@-5°C	<1e/5s@-20°C	<1e/5s@-20°C
<b>Readout Noise</b>	36e	36e	<15e	<15e
<b>Spectral Response</b>	28% (450nm), 45% (550nm), 62% (650nm)	28% (450nm), 45% (550nm), 62% (650nm)	12% (450nm), 36% (550nm), 35% (650nm)	12% (450nm), 39% (550nm), 32% (650nm)

	<b>SBIG</b>				
<b>Camera</b>	ST4	ST5	ST6	ST7	ST8
<b>Chip</b>	TC211	TC255	TC241	KAF-0400	KAF-1600
<b>Pixel Size</b>	13.75x16	(mesmo que Pictor 208XT)	27x23	(mesmo que Pictor 416XT)	(meso que Pictor 606XT)
<b>Array</b>	192x164		375x241		
<b>Full Well Capacity</b>	80K		91K		
<b>Anti-Bloom?</b>	yes		yes		
<b>Dark Current</b>	250e/s@0° C		10e/s@- 30°C		
<b>Readout Noise</b>	150e				