

ASTROFOTOGRAFIA AMADORA

ESTADO ATUAL

Marco Antonio De Bellis (REA/BRASIL-RJ)

1. Abstract.

This paper describes the major techniques used by amateur astrophotographers, including black and white and color films, hypersensitization and the use of Charge Coupled Devices. The advantages and drawbacks of each technique are outlined so as to allow the reader to choose the one that suits his needs best.

2. Introdução.

Vivemos uma fase de transição na fotografia astronômica a nível amador, fase esta dividida entre dois elementos químicos: a prata e o silício.¹ Com efeito, observa-se uma substituição progressiva do filme fotográfico tradicional, à base de brometo de prata, pelos sensores eletrônicos (Charge Coupled Devices - CCD).^{2, 3, 4} Embora no campo profissional, excessão feita a algumas aplicações especiais, a fotografia tradicional esteja praticamente abandonada - em setembro de 1989 foi exposta a última chapa fotográfica no telescópio Hale em Monte Palomar⁵ - seu uso pelos amadores ainda é muito difundido. A finalidade deste artigo é analisar as características de cada processo, ressaltando as principais vantagens e deficiências de cada um, de forma a permitir ao amador a escolha da técnica que mais lhe convém para cada objetivo.

3. Filme Fotográfico.

Dentre os filmes em preto e branco disponíveis, continua soberano o Kodak Technical Pan 2415. Uma vez hipersensibilizado⁶ permanece imbatível no que concerne a resolução, contraste, baixa granulação e preço. Embora não seja comercializado no nosso meio, pode ser importado em carretéis de 150 pés, sendo então hipersensibilizado pela técnica convencional.⁷ Após a exposição, o filme é processado tão logo quanto possível, ou então conservado em congelador aguardando o processamento. O revelador ideal para o 2415 é o D-19 da Kodak⁸, sendo o tempo de revelação de 5 a 10 minutos a 20°C, conforme o contraste desejado. Objetos muito tênues como, por exemplo, pequenas galáxias, necessitam de maiores tempos de revelação; pelo contrário, nebulosas de emissão muito brilhantes, devem

ser processadas de 5 a 7 minutos, caso contrário o contraste será muito alto, impedindo a obtenção de uma boa ampliação. Assinalamos aqui a importância do rigoroso controle da temperatura; em nosso clima, é muito comum errar para mais, resultando daí um negativo muito denso, com alta velatura, e conseqüente perda de contraste.

Ocorre, por vezes, que o objeto a ser fotografado apresenta intrinsecamente grande contraste, isto é, a região central é muito densa no negativo e a periférica tem pouca densidade. Se, no momento da ampliação, o papel fotográfico for exposto tendo em vista a periferia do objeto, a região central ficará completamente branca, com perda total dos detalhes. Ao contrário, se programarmos a exposição para o centro do objeto, a periferia ficará imersa no fundo preto do céu. Há três soluções para este problema. Embora nenhuma delas realiza milagres, a qualidade final é muito satisfatória.

A primeira é a chamada "Unsharp masking"⁹ e consiste em, utilizando o próprio 2415, criar-se um positivo fora de foco a partir do negativo a ser ampliado. Isto é feito, expondo-se um fragmento do referido filme virgem sob o ampliador, por contato, afastado do negativo original por um vidro plano de 2 a 3 mm de espessura. Após várias exposições sucessivas e progressivamente maiores, variando entre 1/2 e 10 segundos, a tira de filme é revelada, obtendo-se vários fotogramas positivos, progressivamente mais densos, mas fora de foco. Superpondo-se o negativo original a um desses positivos, em registro, obtém-se uma soma com pouco contraste e muita densidade. Este conjunto é então posto no ampliador e o papel exposto da maneira convencional. Desta forma, teremos detalhes tanto no centro como na periferia do objeto. O segredo da técnica consiste apenas na escolha do melhor positivo para ser superposto.

A segunda técnica consiste em desrespeitar a lei fundamental do 2415 (revelação em D-19) e processá-lo em um revelador de menor contraste como o HC-110 (Diluição B) ou o D-76. Neste caso a sensibilidade do filme cairá, exigindo mais tempo de exposição, mas o resultado é muito bom. Este

Contraste	Revelador KODAK	Tempo de Revelação (minutos) a 20°C	Sensibilidade (ISO)
Alto 2,50	DEKTOL	3	200
2,40 / 2,70	D-19 (1:2)	4 a 7	125 / 160
2,25 / 2,50	D-19	2 a 8	100 / 200
1,20 / 2,10	HC-110 (Diluição B)	4 a 12	100 / 250
1,25 / 1,75	HC-110 (Diluição D)	4 a 8	80 / 125
1,00 / 2,10	D-76	6 a 12	50 / 125
0,80 / 0,95	HC-110 (Diluição F)	6 a 12	32 / 64
0,50 / 0,70	TECHNIPOL Líquido	5 a 11	16 / 25
Baixo 0,40 / 0,80	TECHNIPOL LC	7 a 18	25 / 32

Tabela 1. Contraste e Sensibilidade do filme Kodak Technical Pan 2415 com diferentes reveladores e tempos de processamento.

procedimento, é claro, só pode ser empregado quando, de antemão, se prevê um objeto de grande contraste.

A Tabela 1 mostra o resultado do tratamento do 2415 com diferentes reveladores e tempos de processamento.

O terceiro processo é o chamado "pré-flashing" ou simplesmente "flashing". Baseia-se no fato de que, expondo-se o papel fotográfico a baixos níveis de iluminação, antes ou depois da exposição do negativo propriamente dito, torna-se o papel mais sensível à luz nas regiões menos expostas, mantendo a sensibilidade nas de maior exposição.¹⁰ Desta forma consegue-se uma compressão na gama dinâmica, com consequente diminuição do contraste.

Para tanto, expõe-se, para teste, uma tira de papel fotográfico à luz do ampliador sem negativo, com o diafragma completamente fechado (quase sempre f/16) com tempos crescentes de exposição. Após a revelação observa-se que as regiões com menor tempo de exposição permanecem brancas, como se não tivessem sido expostas. Mas a partir de um certo ponto, o papel começa a apresentar-se acinzentado. O ponto ideal é aquele imediatamente anterior a ele. Anota-se esse ponto, expõe-se o papel às mesmas condições de luz e em seguida faz-se a exposição normal do negativo, revelando-se o papel da forma habitual. O resultado é surpreendente.

O uso de papéis com menor gradação de contraste (graus 1 ou 2) produz resultados desagradáveis, com fundo de céu raramente negro.

Outros filmes preto e branco foram testados em fotografia astronômica amadora, mas nenhum se igualou ao 2415. Podemos citar, entre eles, o T-Max 400 e o Tri-X. Ambos tem sensibilidade muito baixa na frequência do H-alfa (656.5 nm), sendo praticamente cegos para as nebulosas de emissão, sem falar na granulação que muito deixa a desejar.

Quanto aos filmes em cores, muitos tem aparecido no comércio e os mais antigos tem sido

"melhorados" (improved). No entanto, o que mais comumente se observa é que, toda vez que um filme é dito melhorado, cai sua qualidade para a fotografia astronômica. Foi o que aconteceu com o velho Fujichrome 400 e recentemente com o Fujicolor HG 400. Ambos, quando lançados tinham sensibilidade excepcional para o vermelho na região do H-alfa. As versões mais novas perderam esta característica tão importante para nós.

Dentre os filmes positivos (slides) utilizáveis podemos citar o Ektachrome 400 e o Ektachrome P1600, ambos da Kodak. Este último, com sensibilidade nominal de ISO 400, é adaptado para revelação forçada podendo ser puxado um ou dois "stops", obtendo-se assim velocidades de ISO 800 ou 1600, respectivamente.¹¹ Neste último caso, o tempo limite de exposição, mesmo com céu de boa qualidade, é de 60 minutos a f/10, após o que a velatura torna-se inaceitável. Este filme tem boa sensibilidade em todo o espectro, fundo de céu neutro e contraste razoável.¹² Tem a vantagem de não necessitar hipersensibilização, podendo permanecer na câmara fotográfica por várias noites, permitindo assim a tomada de um considerável número de fotogramas no mesmo filme. Ambos podem ser encontrados no nosso meio, nas casas especializadas.

Uma técnica muito utilizada para aumentar o contraste e a saturação dos filmes diapositivos é a duplicação.^{13, 14, 15} Consiste na utilização de um duplicador de slides, iluminado por flash ou por fonte luminosa com temperatura de cor entre 5000 e 6000 °K. O diapositivo original é então copiado em outro filme colorido positivo de baixa sensibilidade (Ektachrome ou Fujichrome 100). O ganho de contraste e saturação é surpreendente. Há ainda a vantagem de, através de filtragem adequada, podermos corrigir pequenos desvios de cor no fundo de céu, por exemplo, filtragem magenta para corrigir um céu ligeiramente esverdeado.

Em relação aos filmes negativos em cores lembramos que em 1990 foi lançado o Fujicolor

Super HG 400,¹⁶ filme este que, submetido a hipersensibilização, foi talvez o que já houve de melhor na sua categoria, igualado apenas pelo antigo Konica 400. Estas duas emulsões foram responsáveis pelas mais belas astrofotografias amadoras já feitas. Ambas foram "aperfeiçoadas", perdendo suas boas qualidades para o trabalho astronômico. Mesmo assim, o novo Fujicolor Super HG II 400 hipersensibilizado, se presta a uma técnica capaz de produzir resultados extraordinariamente bons. Esta técnica foi descoberta acidentalmente por um casal de astrofotógrafos amadores americanos em 1989.¹⁷ Consiste em obter dois fotogramas do mesmo objeto, cada um com tempo de exposição igual à metade do tempo total de exposição calculado para ele. Se, por exemplo, necessitamos de duas horas para registrar determinada nebulosa de emissão, fazemos dois fotogramas sucessivos, com a mesma estrela guia, sem alterar a posição da câmara, cada um com uma hora. Após a revelação, os dois fotogramas (exatamente iguais) são cuidadosamente colocados em registro, isto é, superpostos em exata coincidência e ampliados. O resultado final é muito superior àquele com uma única

exposição.

Mais recentemente foi lançado o Fujicolor Super G 800.¹⁸ Trata-se de um filme de excelente qualidade, com granulação comparável à do Super HG 400 e com sensibilidade espectral adequada ao trabalho astronômico. Quando não hipersensibilizado, seu tempo limite de exposição sob céu de boa qualidade é de 120 minutos a f/10. Após hipersensibilizado esse tempo cai para 90 minutos.

Por fim, não podemos deixar de assinalar o Kodak Ektapress 1600 Plus. Trata-se de filme negativo com sensibilidade nominal de ISO 1600, podendo se puxado um ou dois "stops" com o que atinge as marcas de ISO 3200 e 6400 respectivamente. Neste último caso, o contraste diminui e a granulação evidentemente aumenta. Mesmo assim ainda é aceitável. O filme não necessita hipersensibilização o que é vantajoso, podendo permanecer na câmara por várias noites sucessivas, permitindo assim a obtenção de vários fotogramas no mesmo filme. O tempo limite de exposição sob céu escuro é de 90 minutos a f/10.

A Tabela 2 dá as condições aproximadas

FILME	TEMPERATURA (°C)	PRESSÃO (kgf/cm ²)	TEMPO (horas)
2415	60	0,5	24
Ektachrome 400	50	0,5	12
Fujicolor Super HG 400	50	0,5	24
Fujicolor Super G 800	50	0,5	12

Tabela 2. Condições de tratamento para hipersensibilização de alguns filmes. A mistura utilizada é o "Forming Gas" (92% Nitrogênio + 8% Hidrogênio)

de tratamento para hipersensibilização dos diferentes filmes de uso corrente pelo amador. Estas condições, é claro, são apenas sugestões.

4. Sensores Eletrônicos (CCD's).

Os CCD's são pastilhas de silício contendo elementos fotosensíveis chamados pixels, dispostos em várias fileiras lado a lado, à semelhança de um tabuleiro de xadrez. Cada um desses elementos tem a propriedade de converter fótons em elétrons. O CCD é colocado no plano focal do telescópio e exposto à imagem que aí se forma, gerando uma carga em cada pixel que é proporcional à quantidade de luz que aí incidiu. Ao final da exposição, o conteúdo de elétrons de cada pixel é transferido para a memória de um computador, gerando assim uma imagem eletrônica.¹⁹ A grande vantagem desses dispositivos sobre a emulsão fotográfica é sua grande eficiência. Com efeito, os melhores filmes são capazes de detetar apenas 1/30 da luz incidente sobre

eles. Já um CCD tem uma eficiência de 3/4, isto é, 75 % da luz incidente (ver Figura 1). Em contrapartida, a resolução dos filmes ainda é muito superior à dos CCD's; isto sem falar na diferença de preço - há câmaras CCD para amadores com preço de até US\$ 6.500,00. No entanto um carretel de filme com 36 exposições pode ser adquirido por US\$ 6,50; uma diferença de 1000:1. É claro, existem câmaras CCD mais baratas.

A partir do final da década de 80, começaram a aparecer no comércio os primeiros dispositivos CCD para o mercado amador.²⁰ Modelos utilizando o chip TC211 da Texas Instruments foram lançados pela Spectra Source e pela Santa Barbara Instrument Group (SBIG). Cumpriam duas finalidades: obtenção de imagens e guiagem automática. Estava inaugurada uma nova era para a astrofotografia amadora. A árdua tarefa de guiar manualmente o telescópio, com todas as suas dificuldades, passou a ser desempenhada por esses dispositivos, permitindo tempos de exposição

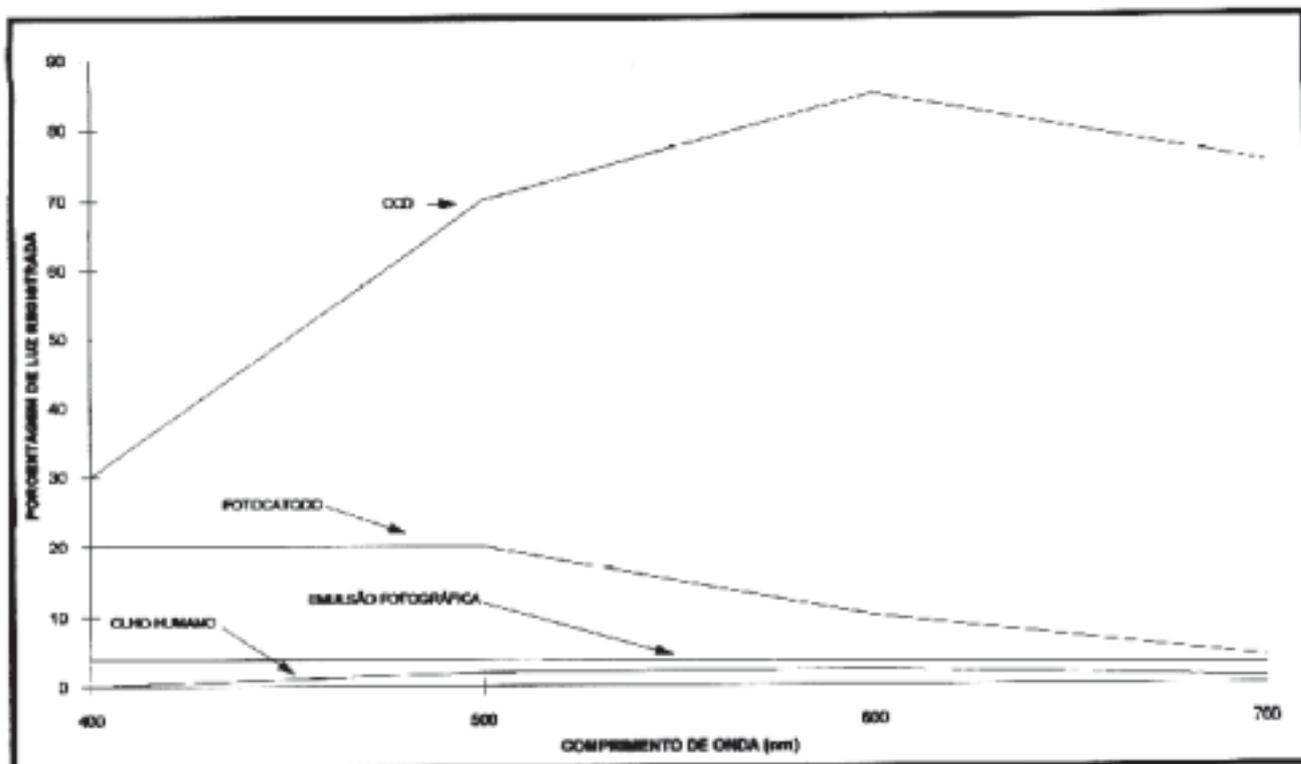


Figura 1 - Sensibilidade comparativa de vários elementos

muito longos.

O TC211 é um dispositivo com 2,5 x 2,5 mm, formado por 192 x 165 elementos detetores. Resfriado termoelectricamente, permite que se atinja magnitude 8 com integração de 1 segundo, através de um pequeno refrator de 60 mm. Se utilizarmos um telescópio maior, como um Schmidt-Cassegrain com 8 polegadas de diâmetro e aumentarmos o tempo de integração para 5 minutos (300 s) pode-se atingir magnitude 18. Embora a resolução seja muito baixa, estas câmaras se prestam com perfeição para a fotometria de estrelas variáveis. No que diz respeito à guiagem de telescópios para a obtenção de fotografias em filme comum não deixam nada a desejar, produzindo imagens estelares de qualidade superior à melhor guiagem manual. Temos utilizado um desses dispositivos (SBIG ST-4) em exposições de até quatro horas de duração com resultado excelente, sendo possível guiar em estrelas de magnitude 10 com integração de 5 segundos. Desta forma, a magnitude limite da estrela guia fica condicionada apenas à amplitude do erro periódico do telescópio; em outras palavras, se no exemplo acima, o instrumento necessitar de correções a intervalos menores que 5 segundos, a estrela guia terá limite menor que 10 e vice-versa.

Outra grande vantagem da guiagem automática é o fato de que as correções são feitas a partir da média das posições da estrela guia durante o tempo de integração, obtendo-se um resultado mais uniforme, especialmente nas noites com atmosfera mais turbulenta. Como sabemos, nestes casos, a tendência

da guiagem manual é a hipercorreção.

Mais recentemente surgiram sensores com maiores dimensões, maior resolução e possibilidade de tempos de integração maiores, uma vez que o resfriamento do CCD é feito por dispositivo de Peltier de dois estágios com regulação térmica.^{21,26} Tais sensores (TC241) apresentam resolução de 375 x 242 pixels e dimensões de 8,6 x 6,5 mm, abrangendo um campo de 15 x 11 arcmin com distância focal de 2000 mm. Os conversores A/D passaram a ser de 16 bits, aumentando assim a gama dinâmica (maior número de tons de cinza), possibilidade de obtenção de imagem e guiagem automática simultânea, além da utilização de filtros para separação tricromática gerando imagens em cores. Iniciava-se, para o amador, um novo período: o da obtenção e processamento da imagem eletrônica.²² De fato, ficam dispensadas a hipersensibilização,²³ estocagem dos filmes, revelação do negativo, câmara escura, ampliadores, papéis fotográficos e toda química necessária ao seu processamento. Em contrapartida, mais um volume tem que ser colocado ao lado do telescópio: o computador. Sua presença é necessária não só para a obtenção das imagens, como também para seu armazenamento em meio magnético. Uma vez armazenadas, serão posteriormente processadas (de preferência em noites de céu nublado) em programas especializados como por exemplo o Adobe Photo Shop ou o Aldus Photo Styler. O processamento das imagens é tão importante para o resultado final quanto a sua própria obtenção.²⁴ Com efeito, podemos alterar contraste e

brilho de forma linear ou logarítmica por manipulação do chamado histograma, corrigir irregularidades no fundo de céu, além da possibilidade de somar duas ou mais imagens iguais, aumentando desta forma a relação sinal/ruído. Por outro lado, uma vez obtidas tres imagens do mesmo objeto através de filtros, respectivamente, azul, verde e vermelho, elas podem ser somadas em um dos programas acima, resultando daí uma imagem final em tricromia, que pode ser ajustada à vontade em qualquer parâmetro, especialmente no balanço de cor.

Lançados recentemente pela Kodak, os dispositivos KAF 400 e KAF 1600 representam o que há de mais atual para uso amador. Ambos são

comercializados pela Santa Barbara Instrument Group e pela Meade por preços exatamente iguais. Suas características se encontram na Tabela 3.

Estas câmaras CCD executam simultaneamente as tarefas de aquisição e guiagem automática, podendo gerar imagens tricromáticas a partir de exposições através de filtros azul, verde e vermelho.

Tem sido verificado recentemente entre os amadores, que a resolução no plano focal destes dispositivos ($9 \times 9 \mu$) é superior àquela produzida pela ótica de um telescópio Schmidt-Cassegrain convencional ($f/10$), acarretando assim diminuição da eficiência do CCD em termos de sensibilidade à luz e mesmo em relação à

DISPOSITIVO	Resolução (pixels)	Dimensões do pixel	Dimensões do CCD	Campo (2000 mm)
KAF 400	765 x 510	9 x 9 μ	6,9 x 4,6 mm	24 x 16 arcmin
KAF 1600	1530 x 1020	9 x 9 μ	13,8 x 9,2 mm	48 x 32 arcmin

Tabela 3. Características técnicas de dois sensores utilizados em câmaras CCD para uso em astronomia. O campo (última coluna), refere-se a uma distância focal de 2000mm.

qualidade da imagem. Para tanto, eles permitem um recurso (binning) que consiste em associar pixels em grupos de 2×2 , gerando assim pixels de $18 \times 18 \mu$, corrigindo o problema, com a vantagem de reduzir o tamanho do arquivo para um quarto do inicial. É claro que o recurso não é necessário quando se usa uma ótica com qualidade suficiente para produzir imagens estelares iguais ou menores que 9μ , como por exemplo alguns refratores apocromáticos (e caros) com distância focal curta.

Tem sido usada ainda uma técnica que resulta da combinação de filme fotográfico com o processamento digital da imagem.²⁵ Consiste inicialmente na obtenção de tres negativos em Tecnical Pan 2415 através de filtros azul, verde e vermelho; cada uma destas tres imagens é então digitalizada em "scanner" apropriado, com alta resolução, sendo então combinadas (somadas) em um dos programas citados anteriormente, gerando assim imagem tricromática de alta resolução e qualidade, com a vantagem de poder ser remanejada à vontade (contraste, brilho, balanço cromático, histograma, etc.), sem a necessidade de câmara escura e toda a química envolvida, produzindo um resultado final surpreendente.

5. Conclusões.

Como vimos, a imagem eletrônica vem ocupando paulatinamente o lugar da imagem química. Não quer isto dizer que, pelo menos em futuro próximo, o filme fotográfico seja abandonado; há lugar para as duas técnicas, cada qual com sua indicação, pelo menos

a nível amador.

É preciso lembrar que, em dois aspectos, os CCD's não conseguem superar o filme fotográfico e provavelmente nunca o conseguirão: capacidade de armazenamento de dados e qualidade de arquivamento. Com efeito, um simples negativo 35 mm do filme 2415, com suas 320 linhas/mm de resolução e dimensões de 24×36 mm representam, em termos eletrônicos, uma imagem de 88,5 MB; isto sem falar em uma placa fotográfica de 14×14 polegadas. Por outro lado, uma imagem armazenada em meio magnético tem que ser "rejuvenecida" a cada cinco anos sob pena de perda completa, e mesmo quando armazenada em CD terá vida útil de 30 anos. Em contrapartida, uma emulsão de grãos de prata convenientemente fixada e lavada estará em tão bom estado hoje quanto há um século atrás.

A utilização em larga escala dos CCD's em fotografia pictórica convencional fará baixar, a médio prazo, o preço destes dispositivos, facilitando o acesso do astrofotógrafo amador a estas técnicas.

A nosso ver, a menos que o filme fotográfico desapareça completamente do mercado, ele continuará a ocupar parcela substancial das imagens obtidas por amadores em todo o mundo.

6. Referências.

1. di Cicco, D.: Is it Silver or is it Silicom? Sky & Telescope, January 1992 p. 104.
2. Sinnott, R.: Photography's Precarious Future. Sky & Telescope, February 1995, p. 57.
3. Berry, R.: Is Astrophotography Dead?

Astronomy, June 1992, pgs. 13-16.

4. di Cicco, D.: Where are the Ambassadors? *Sky & Telescope*, April 1994, pgs. 6-7.

5. The Last 200-inch Plate. *Sky & Telescope*, February 1990, p. 134.

6. Zussman, K.: Hypersensitizing Kodak Technical Pan 2415, *Deep Sky*, No. 27, pgs. 20-25.

7. De Bellis, M. A.: A hipersensibilização do filme Kodak Technical Pan 2415. REA, Reporte nº 2, pgs. 25-30.

8. Conrad, C.M., Smith, A.G. and McCuiston, W.B.: Evaluation of Nine Developers for Hypersensitized Kodak Technical Pan 2415. *AAS Photo Bulletin* (38), p. 3.

9. Schur, C.: The Magic of Unsharp Masking, *Deep Sky*, Nº 35 (Summer 1991), pgs. 18-23.

10. Henry, R.J.: Controls in Black and White Photography, 2nd ed, Butterworth-Heinemann, Stoneham, MA, Pgs. 67-68, 1988.

11. Dyer, A.: life in the Fast Lane. *Astronomy*, may 1995, pgs. 76-81.

12. Horne, J.: Kodak Ektachrome P1600 Film. *Sky & Telescope*, September 1994, pgs. 48-50.

13. Brasch, K.: Duplicating your Success. *Astronomy*, February 1993, pgs. 66-71.

14. Hunter, T.: Improving Astrophotos by Copying. *Sky & Telescope*, September 1987, pgs. 326-328.

15. Pate, B.: How to Revive Dull Astrophotos. *Astronomy*, January 1986, pgs. 62-68.

16. Hallas, T. & Mount, D.: Fuji's Miraculous Super HG 400. *Astronomy*, September 1990, pgs. 62-65.

17. Hallas, T. & Mount, D.: Enhanced Color Astrophotography. *Sky & Telescope*, August 1989, pgs. 216-218.

18. Horne, J.: Fujicolor Super G 800 Film. *Sky & Telescope*, February 1995, pgs. 54-57.

19. Henbest, N. & Marten, M.: *The New Astronomy*. Cambridge University Press, 1983, p. 53.

20. di Cicco, D.: A Versatile CCD for Amateurs. *Sky & Telescope*, September 1990, pgs. 250-255.

21. Newton, J.: An Astrophotographer's Dream Home. *Sky & Telescope*, April 1993, pgs. 99-101.

22. Berry, R.: The Digital Darkroom. Berry, R.: The Digital Darkroom. "Printing the Image". *Astronomy*, April 1993, pgs. 72-77.

23. Berry, R.: The Digital Darkroom. "Developing the Image". *Astronomy*, March 1993, pgs. 72-79.

24. Berry, R.: Working in the Digital Darkroom. *Astronomy*, August 1994, pgs. 62-67.

25. Fletcher, B.: Negatives, Pixels and Astrophotography. *Sky & Telescope*, November 1994, pgs. 98-100.

26. di Cicco, D.: The ST-6 CCD Imaging Camera. *Sky & Telescope*, October 1992, pgs. 395-401.