

ASTROFOTOGRAFIA COM UM EQUIPAMENTO PORTÁTIL

LUÍS LOPES

<http://www.ncc.up.pt/~lblopes/astrofotografia/>

Em meados de 2003, após muitos anos de experiência como astrónomo amador estritamente visual, decidi dar os primeiros passos na astrofotografia. Os avanços recentes na tecnologia dos detectores CCD e no processamento de imagem digital foram um grande estímulo para embarcar nesta aventura. Outra motivação forte consistiu no facto de estes instrumentos possibilitarem a recolha de dados com uma precisão e sensibilidade que tornam executáveis inúmeros projectos interessantes de índole científica.

A aprendizagem das técnicas básicas de astrofotografia revelou-se um processo árduo, cheio de pequenas vitórias pessoais e muitas frustrações. A astrofotografia é uma arte difícil em que os erros do astrofotógrafo e as limitações do equipamento conspiram incessantemente para o insucesso. No entanto, com muita persistência e meticulosidade, é possível controlar estes factores e obter resultados de boa qualidade, mesmo com equipamento modesto quando comparado com o utilizado pelos melhores astrofotógrafos da actualidade.

A Escolha do Equipamento

A primeira, e provavelmente mais importante, decisão que um candidato a astrofotógrafo enfrenta diz respeito à escolha do equipamento a adquirir. Hoje, como na altura, tenho várias limitações que impõem restrições importantes nesta área.

Em primeiro lugar, o equipamento deve ser totalmente portátil e não excessivamente pesado. Como vivo num prédio sem elevador, a perspectiva de carregar várias caixas pesadas pelas escadas não é particularmente agradável. Para além disso, o meu carro é pequeno, o que limita claramente o tamanho dos componentes mais volumosos, como o tubo óptico, a montagem e o tripé.

Outra limitação importante deve-se ao facto de não ter acesso a electricidade na maioria dos locais onde faço sessões de astrofotografia, o que restringe o número de acessórios eléctricos que posso manter em funcionamento.

O facto de montar e desmontar o equipamento em todas as sessões dificulta naturalmente a manutenção de uma qualidade consistente nas imagens obtidas. Um dos passos mais críticos na preparação do equipamento para cada sessão consiste no alinhamento ao Pólo. Uma vez que proceder a este alinhamento com precisão requer um investimento de tempo nem sempre compatível com a (curta) duração da noite, dispor de uma montagem com uma mira polar de grande precisão constitui uma ajuda crucial neste ponto.

Finalmente, as restrições de nível financeiro também influenciam consideravelmente a escolha realizada.

Com base nestas limitações e nos meus objectivos originais comecei por apostar essencialmente numa montagem de qualidade e numa câmara sensível. Em termos de montagens, as opções não eram muitas e a minha escolha recaiu sobre uma Vixen GP com o sistema GOTO Sky Sensor 2000 para poder fazer autoguiagem. Relativamente à câmara CCD, optei por uma SBIG ST8-XE ABG, comprada em segunda mão. Isto permitiu fazer um investimento inicial modesto para uma aventura que apenas ia começar. No que diz respeito às ópticas utilizadas decidi investir num conjunto de objectivas Zeiss, compradas na eBay, e num tubo óptico Televue 85. Estas ópticas permitem uma gama de focais dos 35mm aos 480mm que, por um lado, produzem resultados muito interessantes, especialmente para imagens de grande campo em H α , e, por outro, são suficientemente curtas para facilitar a aprendizagem das técnicas de astrofotografia, acomodando eventuais limitações da montagem e evitando as frustrações da guiagem em focais longas.

Em 2005 fiz um *upgrade* do equipamento com a aquisição de uma câmara SBIG ST10-XE NABG e uma montagem Vixen GP-DX. A nova montagem permite uma maior capacidade de carga e mais estabilidade para a guiagem em astrofotografia. A nova câmara, também comprada em segunda mão, para além de bastante mais sensível, tem píxeis de 6.8 microns (a ST8-XE tinha píxeis de 9 microns) o que permite uma amostragem mais adequada para as focais que utilizava, em especial com o Televue 85. A sensibilidade adicional permite também a utilização de filtros de linha com bons resultados.

Uma Sessão de Astrofotografia

Uma sessão típica de astrofotografia começa, em geral, bem antes do pôr-do-sol. Montar o equipamento ainda com a luz do dia é bastante mais cómodo e pode evitar acidentes dispendiosos. O primeiro passo consiste no nivelamento do tripé e da cabeça da montagem. Este nivelamento é aproximado e serve essencialmente para proceder ao equilíbrio da montagem, o qual deve ser realizado com todo o equipamento montado e com o tubo óptico colocado na posição aproximada de foco. A montagem deve ficar ligeiramente mais pesada num dos extremos para evitar folgas nas engrenagens.

Depois destas operações espero até que escureça o suficiente para ver a Estrela Polar. Nessa altura movo o tripé por forma a alinhar aproximadamente a montagem colocando a Estrela Polar na mira polar. Com esse alinhamento rude volto a nivelar a montagem, agora definitivamente. Segue-se o alinhamento ao Pólo utilizando a mira polar muito precisa da Vixen GP-DX.

Nesta fase ligo o computador, o Sky Sensor e a câmara CCD. Depois de inicializado o Sky Sensor, procedo ao alinhamento do sistema GOTO, colocando as estrelas de referência no centro do *chip* do CCD, para o que basta uma focagem aproximada da imagem. O alinhamento feito com os objectos no CCD é importante para garantir uma maior facilidade na aquisição de alvos débeis, em especial quando utilizamos filtros de linha. Depois de alinhada a montagem, escolho um campo com uma altitude elevada e procedo à focagem precisa do sistema óptico. Este é um passo absolutamente crítico e é tipicamente aquele em que dispendo mais tempo.

O processo de focagem permite ter uma ideia da qualidade do alinhamento da montagem pois exige que se mantenha uma imagem muito ampliada de uma estrela, durante vários minutos, numa pequena janela do *chip* do CCD. Se a estrela não se move ou se se move muito pouco durante este processo, o alinhamento polar deverá estar bom. De qualquer forma, depois de focar, faço sempre algumas exposições de teste em *binning 1x1*, com o objectivo de confirmar a qualidade do alinhamento. Para obter bons resultados considero como mínimo absoluto conseguir boa guiagem durante 1 minuto numa focal de 480mm (Televue 85 com redutor 0.8x). Um minuto permite acomodar varios ciclos de autoguiagem que normalmente não excedem os 10 segundos e garante em geral que a estrela se mantém próximo da posição óptima entre os movimentos da montagem.

O passo seguinte consiste na aquisição do objecto a fotografar com o sistema GOTO utilizando a câmara CCD em *binning 3x3*. Isto permite obter imagens com detalhe suficiente em poucos segundos para proceder ao enquadramento do objecto. Depois efectuar o enquadramento, tiro uma imagem com o *chip* de guiagem para verificar se tenho alguma estrela suficientemente brilhante com uma exposição inferior a 10 segundos, com a qual possa fazer a calibração do sistema e a autoguiagem. A existência de uma estrela nessas condições pode ser estimada usando software como o The Sky que permite simular indicadores de campo para os *chips* principal e de guiagem das câmaras CCD mais comuns. Após a selecção de uma estrela adequada procedo à calibração da montagem e inicio a guiagem. Finalmente, depois de esperar alguns minutos para garantir que a guiagem está a decorrer de forma regular e que a temperatura do CCD está estabilizada, inicio uma sequência de imagens do objecto.

Esta é a melhor parte da noite. Ouço uma boa música e como alguns petiscos enquanto observo o céu e monitorizo a evolução das exposições. É muito relaxante. Devido às restrições de energia tento minimizar o consumo regulando o brilho do monitor LCD do portátil para o mínimo e configurando o sistema operativo para desligar o monitor após alguns minutos de inactividade. Neste contexto, a atenção aos alarmes sonoros do *software* é essencial pelo que ajusto o volume de som do portátil para o máximo.

Normalmente adquiero os *darks*, necessários à calibração das imagens, em casa, durante a noite, aproveitando as baixas temperaturas da marquise do apartamento e a capacidade de regulação de temperatura da ST10-XE. Os *flats*, por outro lado, são obtidos regra geral de madrugada, no final das sessões. Para minimizar o esforço de obtenção das imagens de calibração mantenho bibliotecas de *darks* e *flats* que vou actualizando ao longo dos meses.

O Processamento das Imagens

O processamento das imagens obtidas é bastante simples, embora possa ser algo trabalhoso. Em primeiro lugar faço uma cópia de todas as imagens para uma nova pasta de forma a manter sempre os originais intactos. Abro as cópias no MaximDL/CCD e aplico-lhes o *master dark* e o *master flat*. Em seguida aplico filtros para eliminar *hot-pixels* e *dead-pixels*. Finalmente, para terminar a primeira parte do processamento, elimino os *blooms* nas imagens usando o *plugin* do Ron Wodaski para o Maxim e guardo todas as imagens. O passo seguinte consiste no alinhamento preciso das imagens através de um outro programa, o Registrar. As imagens alinhadas são guardadas numa nova pasta e abertas de novo no Maxim. As imagens são então combinadas utilizando o *sigma-reject*, para eliminar artefactos e preservar ao máximo a relação sinal/ruído da imagem final.

A imagem resultante desta fase do processamento, em formato FITS, é depois aberta no Photoshop onde é feita a manipulação do histograma utilizando as ferramentas de níveis e curvas. Depois de obter um resultado satisfatório (o que tipicamente requer várias iterações nas ferramentas indicadas) a imagem resultante é guardada em formato FITS para servir de base aos ajustes finais. Estes ajustes consistem na aplicação selectiva de filtros como o *gaussian-blur* ou o *unsharp-mask* em zonas da imagem com baixa ou elevada razão sinal/ruído, respectivamente. Finalmente, os últimos retoques consistem na eliminação de alguns *hot-pixels* ou *dead-pixels*, que tenham escapado às varias fases de processamento, através da ferramenta de clonagem.

Perspectivas Futuras

Para além da astrofotografia os meus interesses passam também por projectos de índole mais científica como a fotometria a espectroscopia de baixa resolução. Recentemente adquiero um tubo óptico C8 para servir como um telescópio genérico e portátil para observação visual e que permitirá a realização de alguns destes projectos. Espero também utilizar este equipamento, numa focal de cerca de 1260mm com um redutor de focal f/6.3 da Celestron, para a aquisição de imagens de objectos para os quais os 480mm do Televue 85 são inadequados, nomeadamente, de galáxias e de enxames globulares.



Montagem equatorial Vixen GP GOTO, Sky Sensor 2000, Televue 85, SBIG ST-10XE.



Montagem equatorial Vixen GP GOTO, Sky Sensor 2000, Televue 85, SBIG ST-10XE.



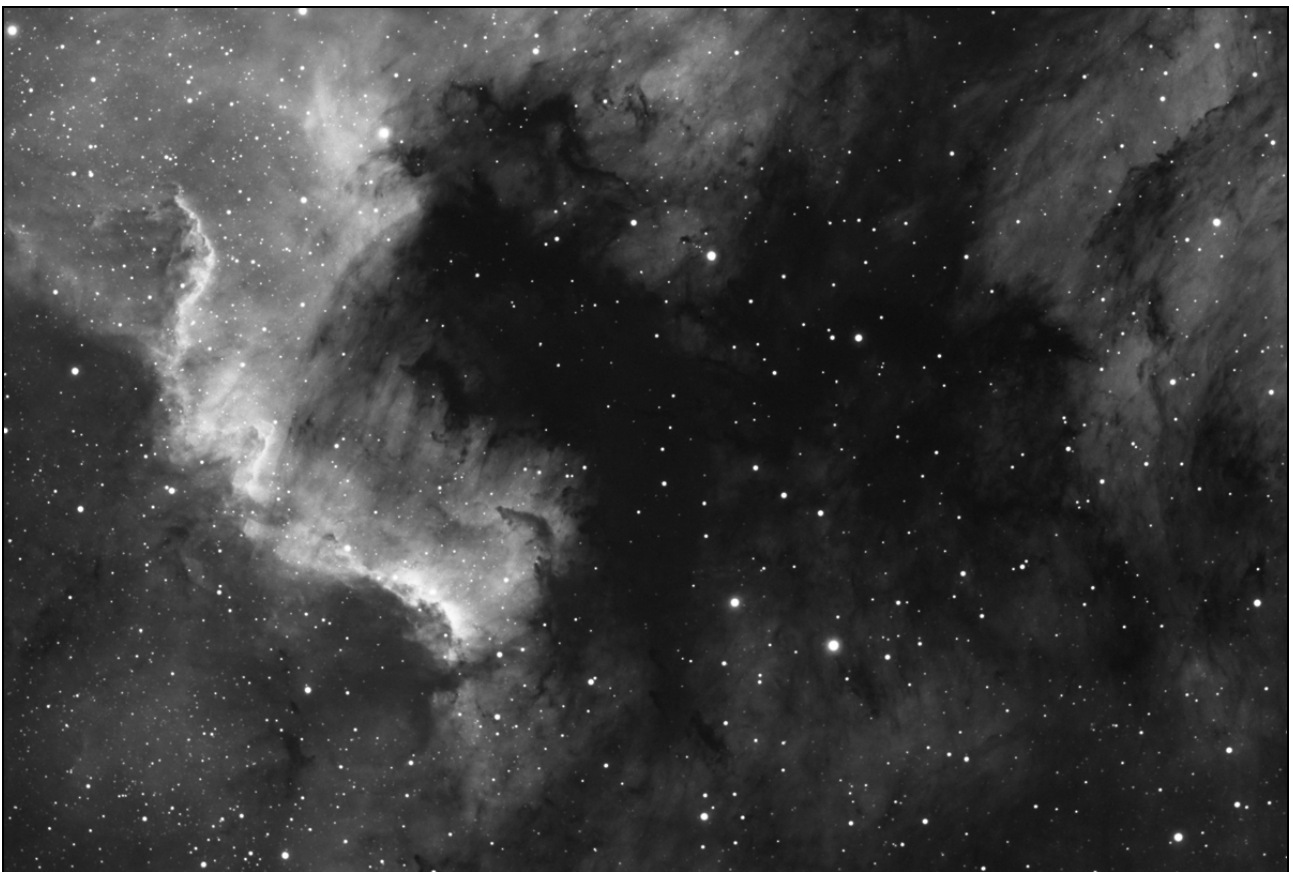
M42. Televue 85 f/5.6 (Televue reducer/flattener 0.8x), ST10-XE NABG @ -15 °C, Astronomik 6 nm H-alpha, 6x15 m (periferia) + 15x1 m (núcleo), SDMask. Luís Lopes (2005).



NGC2244. Televue 85 f/5.6 (Televue reducer/flattener 0.8x), ST10-XE NABG @ -20 °C, Astronomik 6 nm H-alpha, 9x20 m, Sigma Clip. Luís Lopes (2006).



IC1396. Televue 85 f/5.6 (Televue reducer/flattener 0.8x), ST10-XE NABG @ -10 °C, Astronomik 6 nm H-alpha, 15x20 m, Sigma Clip. Luís Lopes (2006).



NGC7000. Televue 85 f/5.6 (Televue reducer/flattener 0.8x), ST10-XE NABG @ -15 °C, Astronomik 6 nm H-alpha, 6x30 m, Sigma Clip. Luís Lopes (2006).



NGC7000. Carl Zeiss Sonnar 135 mm @ f/4, ST10-XE NABG @ -15 °C, Astronomik 13 nm H-alpha, 6x30 m, Sigma Clip. Luís Lopes (2005).



NGC2264. Carl Zeiss Sonnar 300 mm @ f/4.8, ST10-XE NABG @ -15 °C, Astronomik 6 nm H-alpha, 6x30 m, Sigma Clip. Luís Lopes (2006).

ASTROFOTOGRAFIA COM UMA DSLR CANON 350D

VÍTOR QUINTA
vitor.quinta@netvisao.pt

Neste artigo relato a minha experiência com a utilização de uma câmara fotográfica digital Canon 350D adquirida em Dezembro de 2005 e desde então utilizada quase exclusivamente em astrofotografia.

Posso acrescentar que, no meu caso, esta câmara será o elo menos fraco de uma cadeia de equipamentos que, combinados, contribuem para um resultado final razoável, mas bastante aquém daquilo que é possível obter quando se tem um telescópio com uma óptica quase perfeita em cima de uma montagem que permite um seguimento irrepreensível ou com autoguiagem.

Clarificando, actualmente utilizo uma montagem equatorial GP da Vixen com motorização nos dois eixos (sem GOTO) e um reflector Newton de 150 mm de abertura com 750 mm de distância focal também da Vixen.

De origem a câmara traz uma lente zoom de qualidade mediana para utilização em fotografia dita "caseira" sem grande interesse para astrofotografia. O corpo da máquina com bateria, cartão de memória e correia para transporte, pesa cerca de 600 g (Figura 1). O cartão de memória tem de ser adquirido à parte e já agora com a maior capacidade possível.

O cabo USB que vem com a câmara e que faz a interface com o computador, é pequeno demais, cerca de 1,20 m, para quem não quiser ficar com o portátil encostado ao telescópio, pelo que é essencial uma extensão macho/fêmea USB à venda nas lojas de informática e que funciona na perfeição (Figura 2).

À data destas linhas e da linha de produção da Canon já saíram novidades em termos de DSLR de grande consumo (Canon 400D), mas que, no essencial se limitam a aumentar a resolução do sensor CMOS e, muito provavelmente, também o preço.

A bateria permite uma utilização intensiva e continuada durante algumas horas, sem o perigo de ficarmos sem energia. A experiência determinará se vale a pena ter uma bateria extra para suprir alguma falha.

Um CD traz o software necessário para operar a câmara, a saber: *Digital Photo Professional* para conversão dos ficheiros Raw, *EOS Capture* para controlar à distância através de um computador (nunca usei), *ZoomBrowser EX* para organizar os ficheiros de imagens e o *PhotoStitch* que permite compor panoramas a partir de um mosaico de imagens.

Para utilização em astronomia há software dedicado que substitui com vantagem aquele que vem com a câmara e a preços razoáveis. Adiante falarei sobre este assunto.

O sensor CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*) tem 8 milhões de pixels reais e a matriz é do tipo RGB CFA (*color filter array*) onde cada elemento de imagem, ou pixel, capta apenas uma cor, Red(R), Green(G) ou Blue(B), havendo duas vezes mais elementos a captar o verde do que o vermelho ou azul, de modo a mimetizar a maior sensibilidade do olho humano nesse comprimento de onda.

Na máxima resolução (RAW ou JPEG Fine/Large) a imagem tem 3456x2304 pixels quadrados, cada com 6,4 micrómetros o que dá uma dimensão para o sensor de aproximadamente 22x15 mm, tornando-o particularmente adaptado para fotografia de grande campo.

Os sensores CMOS são uma alternativa mais económica em relação aos sensores CCD (Charge-Coupled Device) daí a sua utilização mais generalizada em câmaras digitais de grande consumo, embora se reconheçam qualidades em ambos os sistemas, mas essa é uma discussão que sai fora do âmbito deste artigo. Na Internet abundam sites sobre este tema para os mais interessados ("CMOS versus CCDs").

Outro acessório indispensável é um anel de adaptação com rosca T (Figura 3) para fazer a ligação da câmara ao telescópio ou a objectivas de rosca disponíveis em quantidade no mercado de 2ª mão e algumas de excelente qualidade. Para algumas destas objectivas é necessário um anel ligeiramente mais fino de modo a permitir a aproximação da lente ao sensor CMOS a assim possibilitar a focagem manual (Figura 3).

Para quem tenha em casa objectivas antigas com rosca M42 (Pentax, etc) facilmente as adapta a esta câmara com um anel específico.

Tanto estas objectivas como os vários tipos de anéis adaptadores, podem ser adquiridos na *eBay* (site de leilões na Internet) a preços quase simbólicos. Para quem prefira um contacto mais personalizado, a Astrofoto em Lisboa, tem disponíveis para venda vários tipos de anéis adaptadores em estado novo.

Estas objectivas antigas não tem forma de comunicar com o computador interno da câmara, pelo que o modo de funcionamento terá de ser inteiramente manual ou em modo AV (modo de exposição automático com prioridade a aberturas) em que o utilizador ajusta a abertura da lente e a câmara ajusta a velocidade automaticamente para se adequar à luminosidade do assunto, embora esta não seja uma situação muito comum em fotografia astronómica, nomeadamente do céu profundo.

Seria fastidioso enumerar aqui todas as características técnicas desta DSLR que de qualquer forma estão amplamente documentadas na Internet, pelo que apenas farei referência aquelas que maiores implicações tem na obtenção de imagens astronómicas.

Vou partir do princípio que o nosso objectivo é obter imagens do céu profundo (galáxias, enxames, nebulosas, etc) e de grandes campos de estrelas, pelo que é inteiramente desejável que possamos controlar a câmara à distância, através de um computador, quando esta está acoplada a um telescópio.

Existem vários programas comerciais exclusivamente dedicados à obtenção de imagens astronómicas, pré-processamento das mesmas com calibração prévia e que também controlam a câmara. O *Maxim DSLR* faz tudo isto, bem assim como o *Astroart3.0*.

O *IRIS* (www.astrosurf.com/buil) é freeware e bastante completo mas com uma curva de aprendizagem algo difícil, pelo menos para mim. Contudo a lista de software não se esgota aqui.

Para começar imediatamente a trabalhar com a Canon o programa *DSLR Focus* que pode ser descarregado da Internet (www.dsrlfocus.com), permite, a um preço muito acessível, fazer o controlo da câmara a partir de um computador. Permite ainda ajustar a focagem através de imagens que vão sendo visualizadas no monitor. Tem outras funcionalidades bastante uteis, nomeadamente o controlo de telescópios com GOTO e o de focadores motorizados, mas não faz calibração das imagens nem pré-processamento.

Devo dizer que a aprendizagem do *DSLRFocus* (publicidade à parte) é bastante simples, podendo-se obter resultados quase imediatos.

Antes de começar a obtenção de imagens astronómicas é necessário ajustar alguns parâmetros da câmara, tarefa que será efectuada apenas uma vez.

Assim temos:

- 1- "Parameters" : **Parameter 2**. Isto significa que em modo JPEG não será aplicado qualquer contraste ou ajuste de cor, para além daquele definido por defeito no processamento interno da câmara. Importante quando se pretende fazer algum pós-processamento, por exemplo no *Photoshop*;
- 2- "Auto rotate" : **Off**
- 3- "Mode": **M**. Câmara em modo Manual;
- 4- "Review time": **Off**. Evita que o ecrã da câmara se acenda de cada vez que se descarrega uma imagem, poupando a bateria;
- 5- "Auto Power": **Off**. Evita que a câmara se desligue automaticamente se não for usada durante alguns minutos;
- 6- "ISO speed": **800**. Quanto maior o ganho da câmara maior será o ruído introduzido, por isso este valor é um bom compromisso para o céu profundo, mas convém experimentar, pois esta não é uma regra rígida a seguir;
- 7- "White balance": **Auto**. Parece-me que este é um parâmetro que é melhor ser a câmara a escolher;
- 8- "Color space": **Adobe RGB**. A outra opção sRGB, não tem um espaço de cor tão grande quanto este;
- 9- "Quality": **RAW + Fine/Large** ou **Fine/Large** apenas.
- 10- Velocidade do obturador: **Bulb**. Para exposições com mais de 30 s.

Para exposições com mais de 30 s e sem precisar do controlo remoto RS60E3 (um opcional) é necessário um cabo série ou paralelo (Figura 4) ligado na entrada do controlo remoto da câmara, cujas especificações de fabrico estão descritas no manual do *DSLRFocus*, para quem tiver habilidade para o fazer. No meu caso pedi a um colega amador com bons conhecimentos sobre o assunto.

O tempo de exposição máximo está assim, condicionado apenas, pelo rigor do seguimento da nossa montagem, admitindo que não se faz autoguiagem, e pela saturação do sensor com o ruído de fundo do céu ("background noise"), o que num céu poluído como o meu, ocorrerá mais rapidamente.

Concretamente e no meu caso, depois de colocar a GP em estação e de acertar a focagem manualmente, experimento com uma exposição de 30 s. Se as estrelas não mostrarem traços avanço depois para 60 s e, normalmente, com o campo abrangido pelo sensor (aprox. 68.7 x 103.1 minutos de arco e 1.76' /pixel) com esta distância focal, é o que é possível. Excepcionalmente consigo 90 s e mesmo 120 s, mas com uma frequência muito inferior. Em média, entre cada 10 integrações de 60 s consigo aproveitar 7.

Para as primeiras impressões é suficiente fotografar em modo JPEG (Fine/Large) onde se aproveita toda a resolução do sensor com a menor taxa de compressão possível. As menores resoluções são interpoladas degradando a imagem final e introduzindo mais ruído, pelo que são a evitar em fotografia astronómica. O tamanho do ficheiro rondará os 3,4 Mb em comparação com os 0,6 Mb em JPEG (Normal/Small), mas com a capacidade de processamento e de armazenamento dos computadores actuais, isso já não representa um contratempo.

Poderíamos ficar por aqui e passar ao pós-processamento no *Photoshop* para melhorar o aspecto final da imagem, nomeadamente retirando o "vignetting" ou obstrução do campo, que se faz notar nos cantos da imagem, uniformizando o fundo do céu e aproveitando toda a dinâmica disponível ajustando o "black point" e o "white point". A imagem assim processada deverá ser guardada em formato TIFF para não introduzir ainda mais compressão. Este formato aumenta várias vezes o tamanho do ficheiro original JPEG pelo que não deverá ser utilizado se se pretende apenas exibi-lo em páginas da Internet ou enviá-lo para os amigos.

As imagens que acompanham este artigo foram realizadas desta forma sem outra preocupação que não fosse apresentar um resultado imediato e fácil de conseguir.

Com uma única integração de 60 s e após processamento no *Photoshop* é possível detectar estrelas com magnitude 15.

Algo completamente diferente consiste em fotografar em modo RAW que é um formato proprietário de cada marca de câmara (ficheiros com a extensão CR2 na Canon) e que representa a imagem original captada pelo sensor sem qualquer pré-processamento efectuado pelo computador interno da câmara. É uma imagem sem cores, apenas em tons de cinzento e cujos ficheiros rondam os 8.5 Mb de tamanho, sendo esta talvez a sua única desvantagem em relação ao formato JPEG.

Principais vantagens:

- 1- A dinâmica da imagem estende-se por 12 bits ao contrário do formato JPEG que foi comprimido para 8 bits;

- 2- A interpolação da cor não é realizada neste formato pela câmara (processo denominado "demosaiçing" em inglês), podendo ser feita pelo utilizador com software específico;
- 3- Os ajustes de brilho, contraste e grau de compressão estão ao critério do utilizador;
- 4- Gravação dos Raws processados, em formato TIFF não comprimido;
- 5- No futuro poderá tirar-se partido de melhor software do que aquele que existe actualmente, para conversão de Raws.

O leitor poderá experimentar o conversor de Raws que vem com o software da câmara, ou poderá descarregar uma versão freeware no site da Adobe "*Rawshooter essentials 2006*", bastante mais completa e com maior controle sobre o resultado final.

Resta referir que ao gravar a imagem RAW em formato TIFF é necessário depois calibrar o branco da imagem o que pode ser conseguido se soubermos identificar uma estrela com a mesma classe espectral do nosso Sol ou se tal não for possível através do processo que Jerry Lodriguss descreve em pormenor no seu CD "*A Guide to Astrophotography with digital SLR Cameras*" cuja compra aconselho vivamente aos principiantes como eu. Em modo JPEG o processador interno da câmara encarrega-se de fazer este equilíbrio de brancos.

O processo de calibração da imagem consiste na subtracção de um *master dark*, da divisão por um *master flat* este já subtraído de um *master bias*, processo em tudo semelhante como quando falamos de uma câmara CCD refrigerada. O significado deste termos, já foi descrito aqui nesta revista em números anteriores. Parece complicado mas bastará termos os ficheiros respectivos em formato RAW e o software apropriado trata do resto. É aqui que o *Maxim DSLR* ou o *ImagesPlus* entram para facilitar todo este trabalho, com o qual a imagem final TIFF estará pronta para ser pós-processada no *Photoshop*. Este pré-processamento vem descrito em detalhe no CD referido anteriormente.

Através do dark (imagem obtida em total escuridão) em modo JPEG, é possível visualizar os defeitos do sensor da câmara, nomeadamente o número de pixels "mortos", ou seja, que não respondem à luz. Tem simplesmente a cor que lhes foi atribuída na matriz Bayer. Podem ser algumas dezenas deles, mas isso é normal dado que se tratam de sensores não desenhados para objectivos científicos e fabricados aos milhares, pelo que não se pode esperar uma qualidade superior. De qualquer forma em astrofotografia estes defeitos podem ser escamoteados aplicando um "healing brush" no *Photoshop*.

Outros defeitos que inevitavelmente são ampliados quando se usam sensores desta dimensão, são os da óptica que estamos a utilizar. No caso de um Newton e fora do centro da imagem com um padrão radial, é visível o "coma" nas estrelas que lhes dá um aspecto alongado em forma de cometa, que nada tem que ver com erros no seguimento. O objecto do nosso interesse deverá pois, estar, tanto quanto possível, centrado no sensor CMOS para minorar este e outros defeitos ópticos. A única forma de tratar uma imagem destas é fazer um "*crop*" da mesma que apenas aproveite a parte central.

Esta não é uma câmara a pensar nos astrofotografos embora a Canon tenha introduzido recentemente o modelo *20Da* a pensar neles. Parece, contudo, que já foi descontinuada a sua produção por razões que desconheço.

Uma das principais limitações da Canon 350D prende-se com a sua fraca eficiência quântica para objectos que emitem no vermelho longinquo e infravermelho próximo pois o sensor tem á sua frente um filtro que impede a passagem do infravermelho, isto para permitir o equilíbrio das cores em fotografia terrestre. As nebulosas que emitem em H α (656.3 nanómetros) estão nesta situação. Porque o sensor não é refrigerado o ruído térmico é superior ao das câmaras CCD refrigeradas e porque os elementos de imagem, ou pixels, são muito pequenos a sua eficiência quântica é também mais pequena. Não pretendem, por isso, substituir as ditas câmaras CCD, mas tem o mérito de serem polivalentes, terem um sensor de grandes dimensões e permitirem obter resultados a cores, imediatos e por um preço que não é exagerado.

Para quem quiser arriscar no site do Christian Buil (www.astrosurf.com/buil) dá-se a explicação de como retirar o filtro de infravermelhos da câmara. A garantia do fabricante fica invalidada bem como a aptidão da câmara para fotografia terrestre. Também lá se podem encontrar testes exaustivos, realizados por quem percebe de facto do assunto, a estas e outras câmaras que vão aparecendo no mercado.

Em www.astronomiser.co.uk/ fazem também a substituição do filtro IR.

O autor não sendo um especialista em astrofotografia agradece qualquer contributo para este tema e reconhece que, alguns factos aqui apresentados podem estar sujeitos à crítica mais avalizada de alguém mais autorizado do que ele.

Maxim/DL (www.cyanogen.com)

AstroArt 3.0 (www.msb-astroart.com)

ImagesPlus (www.mlunsold.com)

"Sky and Telescope", Junho, 2004 (pag.130)

www.nickrains.com/articles/raw.html

www.cambridgeincolour.com/tutorials/

www.covingtoninnovations.com/dslr/EOS300Dastro.html

www.photonotes.org/articles/eos-manual-lenses/



Figura 1- DSLR Canon 350D.



Figura 2- Cabo USB e extensão macho/fêmea.



Figura 3- Anéis T.



Figura 4- controlo remoto RS60E3.



Duplo Cúmulo em Perseus, Reflector Newton 150 mm f/5, Canon 350D. 120s de integração. Vítor Quinta (2006).

UM PROGRAMA PARA *DRIFT ALIGNMENT* COM UMA CÂMARA CCD

ROBERT SCHLINGENSIEPEN

Introdução

Quando comecei a alinhar a minha montagem com o método “drift align”, cheguei à conclusão que deveria ser possível de acelerar este processo demorado e iterativo através da aplicação de uma fórmula matemática. Melhor ainda, a conhecida precisão das câmaras CCD na detecção do centro geométrico de uma estrela deveria permitir uma detecção mais rápida e uma quantificação mais precisa do drift. A utilização de uma câmara CCD teria a vantagem acrescida de não requerer a utilização de uma ocular, evitando assim as respectivas trocas e processos de focagem se o nosso objectivo for a astrofotografia.

Ajustar os eixos de uma montagem por aplicação de uma fórmula matemática não é um conceito inovador, como mais tarde descobri num artigo incluído na documentação da minha ocular Baader Micro-Guide (Die Scheinermethode – Anleitung zur schnellen Justierung parallaktischer Montierungen mit dem Micro-Guide Okular, 3.12.2000, por Matthias Knülle).

Aproveitando aqueles fins-de-semana de mão tempo, tentei compreender o fenómeno do drift dum ponto de vista matemático para de seguida aplicar os resultados num programa, “CCD Drift Align”, que funciona em conjunto com o software Astroart para assistir no alinhamento da minha montagem.

Nem todos os conceitos desenvolvidos na “digressão matemática” que se segue traduzem-se em recomendações com grande valor prático, mas ajudam a ganhar mais sensibilidade para o fenómeno do drift, e contribuem para uma maior precisão e rapidez do processo, mesmo quando assistido pelo programa CCD Drift Align.

Os fundamentos do Drift Alignment

Quando observamos o drift de uma estrela numa ocular ou imagem CCD, ele resulta do desalinhamento entre o eixo de ascensão recta (AR) da montagem e o eixo de rotação da terra.

A partir da direcção do drift, a técnica clássica do “drift alignment” determina a direcção em que a altitude ou o azimute do eixo AR da montagem deverá ser ajustado. Uma estrela localizada no Sul e próxima do equador celeste (declinação ≈ 0) é utilizada para o azimute, em virtude do seu drift ser independente do desalinhamento nesta direcção.

Pelo mesmo princípio, uma estrela localizada ou a Oeste, ou a Leste, é utilizada para ajustar a altitude da montagem. A regra comum consiste no facto do drift de uma estrela no equador celeste não ser influenciado por desalinhamentos do eixo AR num plano rodado 90° graus em relação à posição dessa mesma estrela.

Equações para o drift de uma estrela no equador celeste

Primeiro, definimos um sistema de coordenadas com os eixos X, Y e Z, e uma esfera de raio unitário 1. A intersecção desta esfera com o plano XY representa o equador celeste. O eixo Z coincide com o eixo de rotação da terra. Como estamos apenas interessados em determinar ângulos de separação na nossa esfera celeste, a escolha do raio é irrelevante; um raio de 1 ajuda apenas a simplificar a matemática. Por enquanto, não nos preocupamos com a orientação da esfera celeste em relação ao observador.

Quando começamos a observar o drift de uma estrela, no momento $t = 0$, definimos a sua localização no equador celeste nas coordenadas $[x,y,z]$ de $[0,-1,0]$. A Figura 1 mostra o nosso sistema de coordenadas, uma estrela no momento $t = 0$, e a mesma estrela depois de se ter avançado pelo ângulo de α em AR.

Na Figura 2, que mostra apenas o plano XZ, o eixo AR do nosso telescópio encontra-se inclinado pelo ângulo θ_{xz} nesse mesmo plano, e a nossa estrela avançou 90° (6 horas em AR). Não existe qualquer desalinhamento do eixo AR no plano YZ, e valores positivos de θ são definidos como sendo contra o sentido do relógio à volta do eixo Y.

Entretanto, a estrela afastou-se para Norte em relação ao eixo óptico, atingindo em $\alpha = 90^\circ$ a sua máxima separação angular de θ_{xz} igual ao desalinhamento do eixo AR em relação ao pólo celeste. Assumindo mais uma vez que não existe qualquer desalinhamento no plano ortogonal a θ_{xz} o ângulo de separação d_{xz} observado na ocular ou imagem CCD é proporcional a x :

$$(1) \quad d_{xz} = x * \theta_{xz} \quad \text{para } 0 \leq x \leq 1$$

No ponto $x = 1$, d_x é igual a θ_{xz} . Como x é igual a $\sin \alpha$:

$$(2) \quad \theta_{xz} = d_{xz} / \sin \alpha$$

Se definimos o tempo em minutos (um grau corresponde a quatro minutos) sem nos esquecer da conversão de radianos em graus, a equação (2) passa a ser:

$$(3) \quad \theta_{xz} = d_{xz} / \sin [t / 4 * \pi / 180] = d / \sin [t * \pi / 720]$$

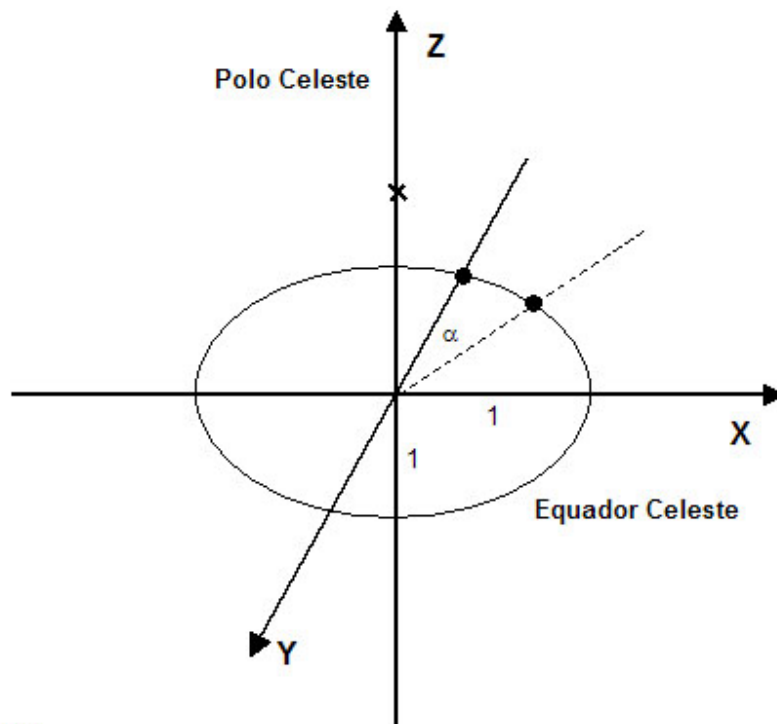


Figura 1

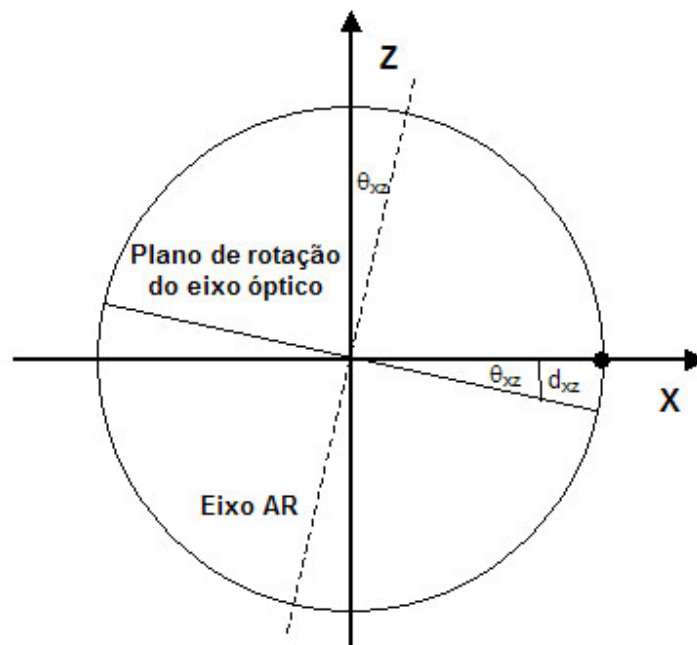


Figura 2

Esta equação permite-nos estimar θ_{xz} a partir de uma única observação de d_{xz} . No entanto, uma melhor solução é de estimar a velocidade de afastamento d'_{xz} (expressa em graus por unidade de tempo), a partir de leituras sucessivas de d_{xz} . Para este efeito, convém recorrer à técnica de regressão linear. Se primeiro expressarmos d_{xz} como uma função de t (em minutos),

$$(4) \quad d_{xz} = \theta_{xz} * \sin [t * \pi / 720]$$

de seguida obtemos a primeira derivada em t :

$$(5) \quad d'_{xz} = \pi / 720 * \theta_{xz} * \cos [t * \pi / 720]$$

ou

$$(6) \quad \theta_{xz} = d'_{xz} * 720 / (\pi * \cos [t * \pi / 720])$$

As equações (4), (5), e (6) assumem que não existe qualquer desalinhamento no plano YZ (ortogonal ao plano XZ). Na presença de um tal desalinhamento, as respectivas equações do drift são deslocadas em exactamente 90 graus (mais uma vez, ângulos positivos de θ_{yz} são definidos contra o sentido do relógio à volta do eixo X).

$$(7) \quad d'_{yz} = \pi / 720 * \theta_{yz} * \sin [t * \pi / 720]$$

$$(8) \quad \theta_{yz} = d'_{yz} * 720 / (\pi * \sin [t * \pi / 720])$$

Assim, para duas inclinações ortogonais “sobrepostas” de ângulos θ_{xz} and θ_{yz} , o drift composto pode ser expressado como:

$$(9) \quad d'_{comp} = \pi / 720 * (\theta_{xz} * \cos [t * \pi / 720] + \theta_{yz} * \sin [t * \pi / 720])$$

Dependendo da estrela que estamos a seguir durante o “drift alignment”, um desalinhamento θ_{xz} ocorre ou em altitude ou azimute, e vice-versa para θ_{yz} .

Enquanto θ_{yz} for insignificante em relação a θ_{xz} , e para valores pequenos de t , a influência do desalinhamento ortogonal θ_{yz} pode ser ignorada. Como o termo $\cos [t * \pi / 720]$ é muito próximo de 1 para valores reduzido de t (ainda 0.999 depois de 10 minutos!), a equação (9) pode ainda ser aproximada da seguinte maneira, expressando θ em função do observado drift d' .

$$(10) \quad \theta \approx d' * 720 / \pi \approx 229.2 * d'$$

Esta é a equação que iremos utilizar para calcular os ajustes a aplicar ao eixo AR em função do drift. É importante recordar que quando utilizamos a palavra drift, estamos referir-nos à velocidade de afastamento, e não ao ângulo.

Efeitos de interacção dos dois eixos

Antes de aplicarmos cegamente a equação (10), temos que nos interrogar se os seus pressupostos de simplificação foram satisfeitos. Os seguintes factores devem ser considerados:

- Existem limites para a precisão com que conseguimos apontar o telescópio para os pontos cardinais, sobretudo se o processo for manual.
- A medição do drift requer algum tempo, por vezes mais de 10 minutos (o equivalente de 2,5 graus em AR) se pretendemos atingir uma elevada precisão de alinhamento polar. Este factor tempo, por si só, obriga a um afastamento da direcção perfeita.
- A escolha da estrela por cima do horizonte a Leste ou Oeste, pode obrigar-nos a apontar numa direcção afastada do ponto ideal (mais sobre este tema numa secção posterior).

Isto significa que devemos examinar em mais detalhe as consequências da equação (9). Para ilustrarmos este ponto, vamos assumir um desalinhamento de 1 grau a Sul em altitude e 0,2 graus a Oeste em azimute. Recorrendo à equação (9), o drift de uma estrela localizada a Sul pode ser expressado da seguinte forma, em função do ângulo α_{off} , o ângulo “offset” de afastamento entre eixo óptico e o meridiano:

$$(11) \quad d'_{sul} = d'_{azm} + d'_{alt}$$

$$= \pi / 720 * \theta_{\text{azm}} * \cos [\alpha_{\text{Off}} * \pi / 180] + \pi / 720 * \theta_{\text{alt}} * \sin [\alpha_{\text{Off}} * \pi / 180]$$

$$= 5\pi * \cos [\alpha_{\text{Off}} * \pi / 180] + \pi * \sin [\alpha_{\text{Off}} * \pi / 180]$$

O ângulo α_{Off} é expresso em graus, e d'_{sul} em segundos de arco por minuto. Drift positivo equivale a um afastamento da estrela na direcção do polo celeste, e para $\alpha_{\text{Off}} = 0$ o nosso telescópio está apontar para o meridiano. A Figura 3 mostra como d'_{sul} , d'_{azm} e d'_{alt} dependem de α_{Off} para valores entre -20 e +20 graus.

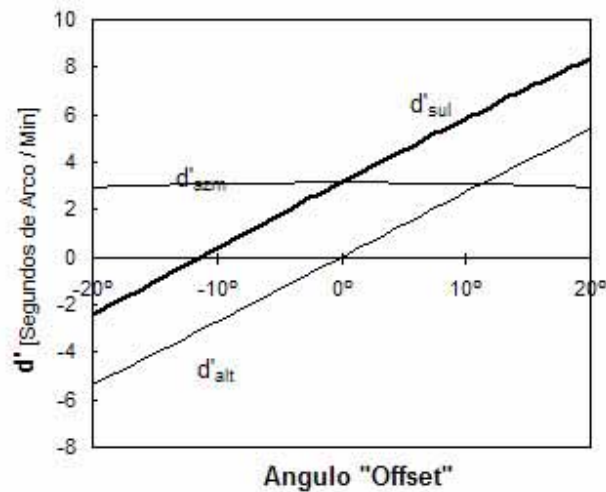


Figura 3

Neste caso, o drift d'_{alt} causado por um desalinhamento em altitude bastante superior ao desalinhamento em azimute começa a superar o drift d'_{azm} a partir de um ângulo de afastamento de aproximadamente 11 graus. Em outras palavras, se nos “enganarmos” na posição da nossa estrela a Sul em mais de 11 graus, e estimarmos o desalinhamento em azimute baseando-nos no valor de d'_{sul} observado (utilizando a equação (10)), introduzimos um erro de mais de 100%!

Na prática isto quer dizer que se não estivermos seguros em relação à qualidade da nossa “pontaria” deveríamos medir primeiro o drift para uma estrela no Sul (d'_{sul}) e a Leste/Oeste (d'_{leste} ou d'_{oeste}), antes de decidirmos qual das direcções ajustar primeiro. Será obviamente aquela com o drift mais pronunciado, para evitar o erro acima ilustrado. Se, ou não, depois vale a pena ajustar a outra direcção depende da dimensão relativa do drift, e do grau de precisão com que estamos a apontar para o respectivo ponto cardinal.

Podemos obviamente determinar qual o rácio mais elevado entre os dois drifts que pode ser tolerado, em função dum determinado “erro de pontaria”, de forma a assegurar que o resultado estimado para a direcção de menor desalinhamento não sofra mais de que uma determinada percentagem de erro. No Anexo A, o leitor poderá consultar a derivação das equações para este rácio.

A Figura 4 mostra o rácio que deverá ser respeitado para que o drift inferior não seja “contaminado” pelo drift superior em mais de 30 ou 50 por cento, no seguimento da aplicação da equação (10). Concluimos, por exemplo, que um erro máximo de 30 % pode ser esperado para um rácio de três para um, e um “erro de pontaria” de 4 graus.

Ajustes para uma montagem equatorial

Utilizando a equação (10), assim como as precauções sugeridas no capítulo anterior, podemos ajustar uma montagem equatorial de acordo com as regras conhecidas para o “drift alignment”. No entanto, temos que modificar a equação (10) para o ajuste em azimute, devido ao facto deste movimento não ocorrer num plano deslocado 90 graus da posição da estrela (situada, para correcções em azimute, no meridiano na direcção sul). A Figura 5 ilustra esta situação:

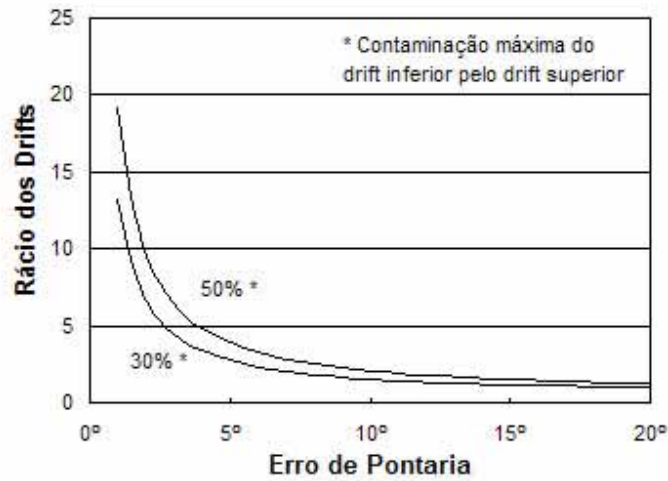


Figura 4

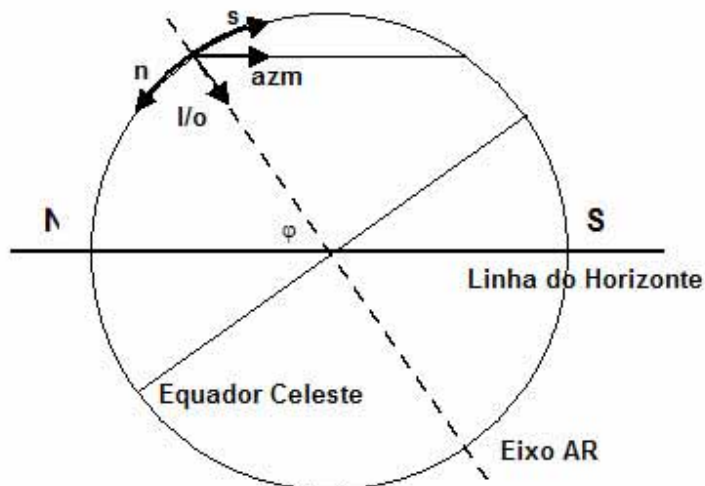


Figura 5

Se a montagem estiver na sua posição normal (horizontal), o eixo AR irá responder a ajustes em azimute através duma rotação à volta do zénite, na direcção da seta **azm**. Para evitar qualquer modificação à equação (10), o eixo AR deverá mover-se num plano vertical ao meridiano na direcção da seta **I/O** (Leste/Oeste). Ajustes em altitude provocam um movimento na direcção das setas **n** e **s** (Norte e Sul).

Em função da latitude do observador, e para ângulos pequenos, uma correcção em azimute resulta no seguinte movimento angular no “verdadeiro” plano **I/O**:

$$(12) \quad \theta_{\text{azm}} = \theta_{\text{I/O}} / \cos \varphi$$

Um observador no equador ($\varphi = 0$), com o eixo AR a apontar directamente para Norte ou para Sul, não terá que aplicar qualquer factor de correcção, ao ângulo $\theta_{l/o}$ tendo em conta que $1/\cos 0 = 1$. O eixo AR estará em posição horizontal, fazendo coincidir as direcções the **azm** e **l/o**. Na medida em que a latitude, e assim $\cos \varphi$, se for reduzindo, as correcções em azimute vão aumentando até atingirem uma “singularidade” quando o eixo AR apontar para o pólo celeste (por definição, porque a montagem está numa posição perfeitamente horizontal). No pólo norte, correcções em azimute não terão qualquer efeito!

Recorrendo às equações (10) e (12), e medindo o drift d' em graus por minuto, as equações definitivas para calcular os ângulos de ajuste em altitude e azimute são:

$$(13) \quad \theta_{alt} = 229.2 * d'_{l/o}$$

$$(14) \quad \theta_{azm} = 229.2 * d'_s / \cos \varphi$$

A equação (13) não introduz nada de novo, porque está em concordância quase perfeita com a equação apresentada no já referido artigo de Matthias Knülle.

Knülle apresenta as seguintes equações (traduzidas para as convenções aqui utilizadas para facilitar a comparação):

$$(15) \quad \theta_{alt} = 228.6 * d'_{e/w}$$

$$(16) \quad \theta_{azm} = 228.6 * d'_{sul} * \sin(\varphi - \delta) / \cos \varphi$$

Constata-se uma pequena diferença na constante 228.6. No entanto, um desacordo significativo surge na equação (16), que inclui um factor adicional $\sin(\varphi - \delta)$, introduzindo assim uma dependência da declinação δ . À partida, não se compreende a razão para a existência de uma dependência da declinação em azimute e não em altitude.

O Anexo B apresenta uma análise mais aprofundada do drift para uma estrela com declinação arbitrária. Depois de construir a simulação necessária numa folha de calculo, conseguimos demonstrar a dependência do drift da declinação. A Figura 5 mostra esta mesma dependência, com o drift na declinação zero normalizado a um, para três desalinhamentos de 1, 5 e 10 graus. Conclui-se que a dependência do drift pode ser considerada inexistente para as magnitudes de desalinhamento que encontramos em situações práticas de drift alignment.

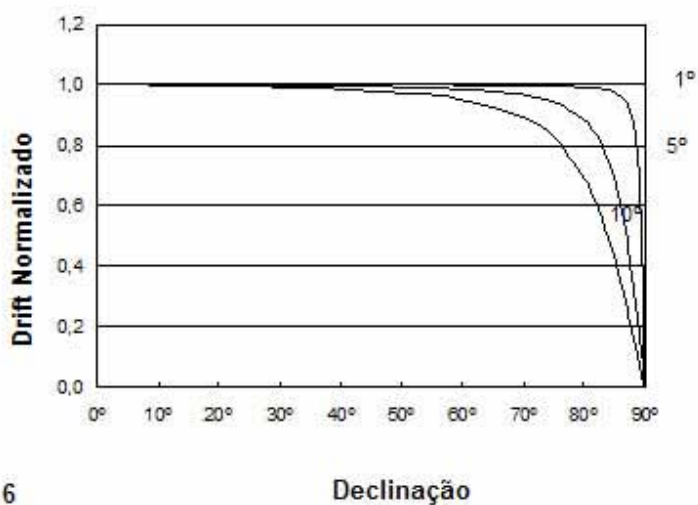


Figura 6

Declinação

As previsões da equação (16) de Knülle não estão de acordo com a Figura 6. A formula prevê um aumento do drift com a declinação e um resultado absurdo de $\theta_{azm} = 0$ sempre que $\varphi = \delta$. Noutras palavras, para qualquer drift observado para uma estrela com declinação igual à latitude do observador, o desalinhamento seria zero! Infelizmente, Knülle não apresenta uma derivação das suas equações.

Uma estrela a “Leste” ?

As instruções clássicas para o drift alignment utilizam uma estrela no Sul para detectar desalinhamentos em azimute, e uma estrela a Leste ou Oeste para detectar desalinhamentos em altitude.

Uma estrela localizada a Sul e no equador celeste é de fácil acesso e encontra-se a uma altitude igual a noventa graus menos a latitude do observador. No entanto, uma estrela no equador celeste a Leste ou a Oeste está inacessível devido à sua localização no horizonte. Para detectar desalinhamentos em altitude, temos que aceitar um compromisso.

A Figura 7 mostra uma estrela no Sul, e duas estrelas **A** e **B** numa altitude σ acima do horizonte. A estrela **B** encontra-se exactamente no cardinal Leste/Oeste, e a estrela **A** no plano ortogonal ao plano formado pelo meridiano.

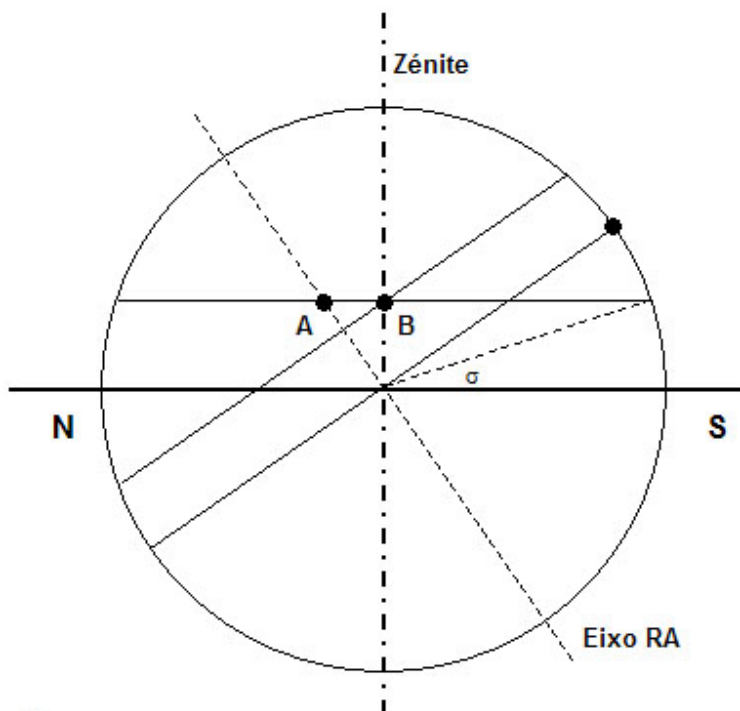


Figura 7

Em relação à estrela de “localização ideal” no equador celeste e a Leste/Oeste, a estrela **A** requer um movimento em declinação, e a estrela **B** a um menor movimento em declinação em conjunto com um movimento em AR.

A questão é: qual a escolha que nos expõe ao menor erro?

Começando pelo efeito do desvio em AR da estrela **B**, o ângulo de afastamento em relação ao plano ideal em função da latitude φ e da altitude σ é:

$$(17) \quad \alpha_{off} = \tan^{-1}[\cos \varphi * \tan \sigma]$$

Referindo-nos à equação (9), a percentagem do drift devido ao desalinhamento em azimute que um observador forçosamente incluirá na sua medição se apontar para a estrela **B** pode então expressar-se da seguinte forma:

$$(18) \quad \%_{azm} = \sin(\tan^{-1}[\cos \varphi * \tan \sigma]) * 100$$

Um observador na latitude 40° utilizando uma estrela a Leste 30° acima do horizonte irá incluir na sua medição aproximadamente 40% do drift devido ao desalinhamento em azimute!

Como concluímos no capítulo anterior, não existe praticamente nenhuma dependência do drift da declinação. Sempre que possível, é portanto preferível de apontar para a estrela **A**, de forma a assegurar a menor possível contaminação do drift pelo desalinhamento em azimute.

Conclusões práticas

Para um observador “móvel”, qual será então o “best practice” para drift alignment, aproveitando os conceitos apresentados? Uma sessão típica poderia decorrer de seguinte forma:

- Comece por medir o drift de uma estrela no Sul. Se estiver confiante em relação ao grau de precisão com que apontou para o meridiano, e partindo do princípio que o desalinhamento em azimute deveria ser superior ao de altitude (situação esperada se a montagem estiver na posição horizontal e correctamente ajustada para a latitude do local), ajuste o azimute de acordo com a equação (10).
- Repita a observação para verificar se a correcção reduziu o drift para um valor aceitável, mas não insista de forma excessiva com correcções adicionais. A partir de um certo ponto, o drift estará contaminado pelo desalinhamento em altitude, tornando infrutíferos e frustrantes quaisquer ajustes adicionais.
- Observe o drift de uma estrela afastada 90 graus em AR do meridiano, primeiro deslocando o telescópio 6 horas em AR (90 graus), de seguida aumentando a declinação até atingir uma altitude aceitável acima do horizonte.
- Tal como para a estrela no Sul, repita a observação para verificar se é necessário proceder a uma ajuste adicional.
- A partir de um certo ponto, apenas um processo iterativo de mudanças sucessivas de direcção permite aumentar a precisão do alinhamento.
- Não deverá esquecer que existe um limite prático para a precisão a esperar deste processo, devido às inevitáveis imperfeições mecânicas da montagem e do telescópio.

O programa CCD Drift Align

Um programa chamado “CCD Drift Align” foi desenvolvido para funcionar com o software de aquisição e tratamento de imagens AstroArt. CCD Drift Align permite o utilizador de definir as variáveis para a sua montagem para garantir o cálculo correcto dos ajustes e das respectivas direcções, e de iniciar o processo de medição do drift quando Astroart estiver a “guiar” com uma estrela. O programa anula qualquer correcção de guiagem na direcção Y, e calcula uma regressão linear de 15 em 15 segundos, mostrando de seguida os valores do drift, desalinhamento, e o ajuste a aplicar à montagem.

A interface de utilizador consiste numa janela com três “tabs” principais: *Drift Align*, *Settings* e *History*.

Settings Tab

No *Settings* tab o utilizador define:

- *Image Scale*: A escala da imagem CCD em segundos de arco por pixel, e em qual dos dois eixos do CCD (X ou Y) o drift vai ser medido.
- *Mount Movement*: A resposta da montagem quando rodamos os manípulos de ajuste por um “tick” no sentido do relógio (em termos de movimento angular e respectiva direcção para ambos os eixos). A definição de um “tick” está nas mãos do utilizador. Se o manual da montagem não indicar este valor, ele pode ser facilmente estimado medindo quantos “ticks” são necessários para mover o eixo AR por uma determinada distancia angular, dividindo este ângulo pelo número de “ticks”.
- *Positive Drift*: Se um drift DY positivo corresponde a uma deslocação da estrela na direcção do pólo Norte celeste, ou na direcção do pólo Sul.
- *Latitude (North)*: A latitude do observador no hemisfério Norte.”Drift alignment” para o hemisfério Sul ainda não está implementado.

Para permitir medições precisas, um dos eixos da câmara CCD (X ou Y) tem que estar alinhado com a direcção do eixo AR da montagem. Em Astroart, a opção *Swap X-Y* na janela *Telescope Control* tem que estar seleccionada se a câmara estiver rodada 90 graus em relação à sua posição normal (o que é equivalente ao drift ser medido na direcção X do CCD).

Uma nota para utilizadores de máquinas Starlight Xpress da série M: a guiagem ocorre no modo “interlaced” em que apenas linhas alternadas de pixeis são lidas. Isto significa que a escala de imagem Y de um único pixel terá que ser multiplicada por dois.

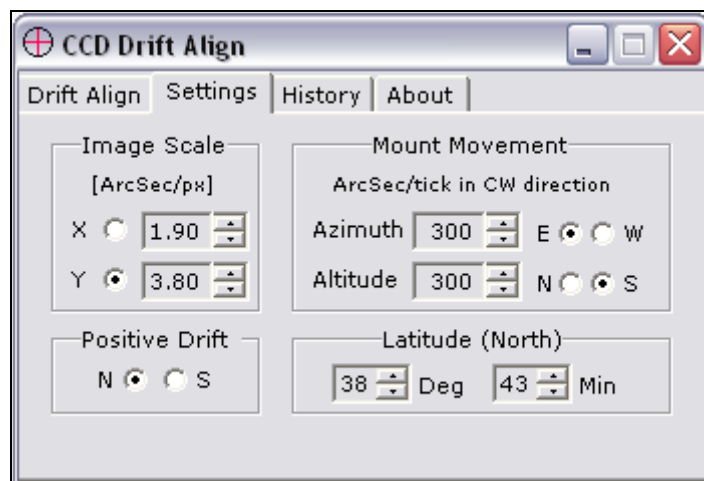


Figura 8

Os valores do *Settings* tab são salvaguardados num ficheiro .ini que o programa cria no mesmo directório em que se encontra o executável CCD Drift Align.

Drift Align Tab



Figura 9

Neste tab, é seleccionada a direcção da estrela que vai ser utilizada (South para Sul, East para Leste e West para Oeste), e o processo de medição é lançado com o botão inferior esquerdo (que repete a direcção da estrela seleccionada para lembrar o utilizador que tem que mudar de selecção quando mudar de estrela). Este botão só funciona se a janela *Guide Window* do programa Astroart estiver aberta. A seguir ao click neste botão o programa marca novamente a estrela guia para assegurar um valor inicial DY o mais perto de zero possível, anula correcções nas direcções Y- e Y+, e proíbe o utilizador de aceder à janela *Guide Window* até à gravação de um resultado ou abandono do processo através do botão *Abort*.

De 15 em 15 segundos, os campos do *Drift Align* tab são actualizados, depois da execução de uma nova regressão linear com os valores DY. O desalinhamento é calculado com as equações (13) e (14). A estimativa do erro baseia-se num intervalo de confiança de 95% para o coeficiente de regressão, o que significa que em 95% dos casos o verdadeiro desalinhamento deveria situar-se num intervalo igual ao desalinhamento indicado mais ou menos o valor do erro.

Um historial resumido de todas as medições aparece numa janela “drop-down” que desaparece quando a última medição é gravada com o botão *Record*. No momento da gravação a janela *Guide Window* é automaticamente encerrada.

Com o botão RESET o processo pode ser reiniciado em qualquer altura, sobretudo quando o vento ou outras fontes de vibração perturbam uma leitura correcta do drift. O botão ABORT pode ser utilizado para abortar o processo sem gravação da última medição, mantendo aberta a janela *Guide Window*.

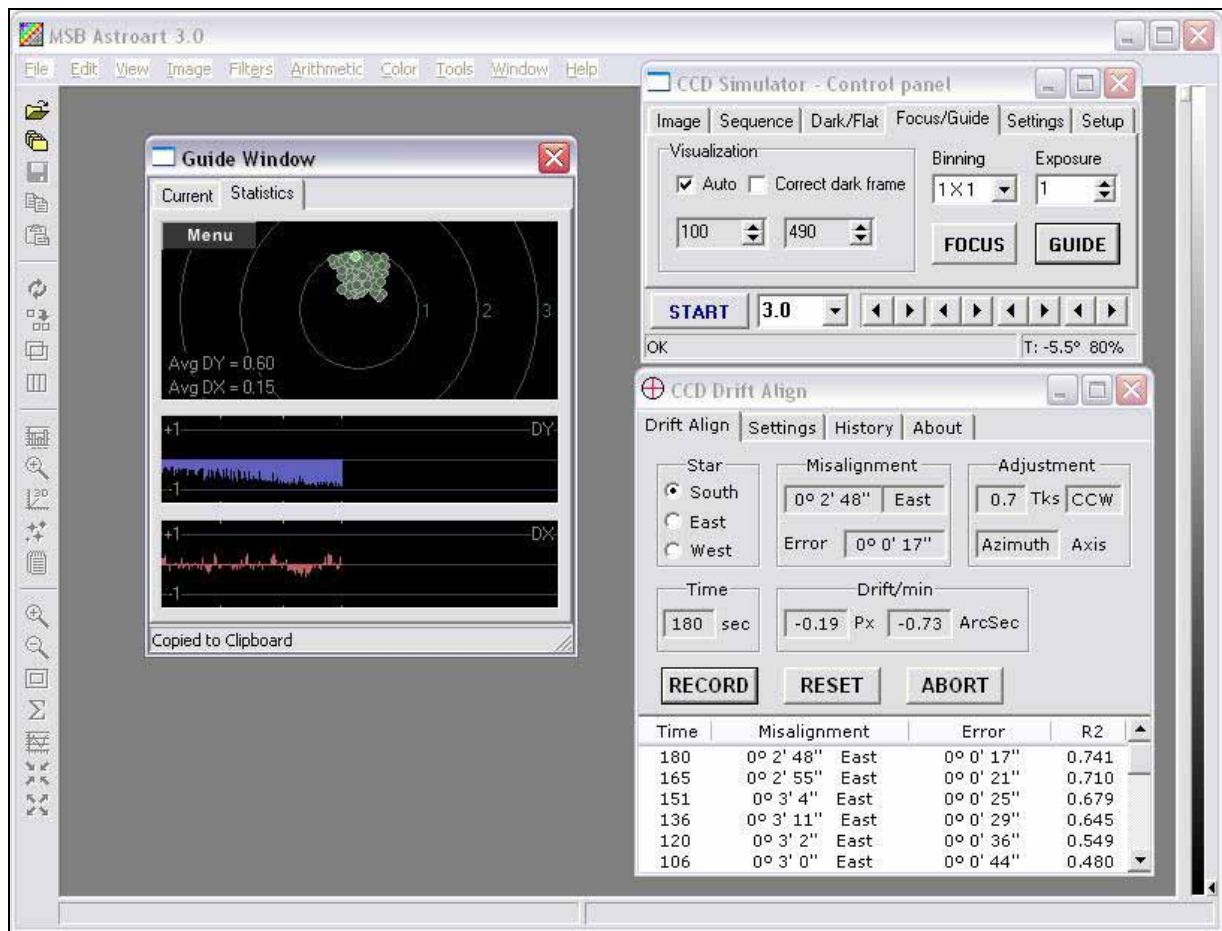


Figura 10

History Tab

Após a sua gravação (com o botão *Record*), as medições são salvaguardadas no *History* tab, acompanhadas da hora de gravação e a duração da medição (em segundos).

The screenshot shows the 'History' tab of the 'CCD Drift Align' window. It displays a table with columns for Time, Sec, Star, Angle, Tks, Dir, and Axis. The data is as follows:

Time	Sec	Star	Angle	Tks	Dir	Axis
22:11	76.3	E	0° 1' 7" S	0.2	CCW	Alt
22:09	183	E	0° 7' 16" S	1.5	CCW	Alt
22:05	78.0	E	0° 14' 37" N	2.9	CW	Alt
22:02	45.7	E	2° 12' 57" N	26	CW	Alt
22:00	121	S	0° 1' 52" E	0.5	CCW	Azm
21:56	30.8	S	1° 10' 29" E	18	CCW	Azm

Figura 11

Quando o programa é encerrado, o historial de medições é salvaguardado, mas medições gravadas há mais de 24 horas são apagadas quando CCD Drift Align é novamente lançado.

Experiência Prática

O *History* tab da Figura 11 mostra o historial de uma típica sessão com CCD Drift Align.

Uma primeira medição foi gravada às 21:56, revelando um desalinhamento de 1 grau a Leste. Depois de fazer o ajuste recomendado (18 ticks no sentido contra o relógio), uma segunda medição de maior duração revelou um alinhamento quase perfeito, não requerendo mais ajustes em azimute.

Depois de mudar para uma estrela a Leste, o desalinhamento inicial foi estimado em mais de dois graus a Norte. Neste caso, dois ajustes foram necessários para reduzir o drift para um nível inferior a um desalinhamento equivalente a dois minutos de arco (na última medição gravada às 22:11).

Todo o processo durou quinze minutos, sem “contorcionismos” à frente da ocular e sem dúvidas se o ajuste deveria ser no sentido do relógio, ou no sentido oposto, e três ajustes foram o suficiente para preparar a montagem para astrofotografia. Com CCD Drift Align, o “drift alignment” passa a ser um processo controlado e previsível, com um investimento de tempo bastante inferior ao processo manual.

Anexo A

Para dois desalinhamentos ortogonais θ_a and θ_b , e ângulos “offset” α_a and α_b , são medidos dois drifts d'_a e d'_b , sendo d'_a maior do que d'_b . Da equação (9):

$$(19) \quad d'_a = \pi / 720 * \theta_a * \cos [\alpha_a * \pi / 180] + \pi / 720 * \theta_b * \sin [\alpha_a * \pi / 180]$$

$$(20) \quad d'_b = \pi / 720 * \theta_b * \cos[\alpha_b * \pi / 180] + \pi / 720 * \theta_a * \sin [\alpha_b * \pi / 180]$$

O rácio M das duas medições é:

$$(21) \quad M = d'_a / d'_b \\ = (\theta_a * \cos[\alpha_a * \pi / 180] + \theta_b * \sin[\alpha_a * \pi / 180]) / (\theta_b * \cos [\alpha_b * \pi / 180] + \theta_a * \sin[\alpha_b * \pi / 180])$$

Utilizando a equação (10), pretendemos que o ajuste calculado para d'_b satisfaça duas condições:

$$(22) \quad d'_b * 720 / \pi < (1+E) * \theta_b$$

$$(23) \quad d'_b * 720 / \pi > (1-E) * \theta_b$$

sendo E o limite máximo do erro verificado na estimativa de θ_b a partir de d'_b devido ao desalinhamento d'_a .

Para pequenos valores de α podemos ignorar os termos com coseno, o que resulta nas seguintes desigualdades para que M satisfaça (22) e (23), para valores positivos de α_b :

$$(24) \quad M > (\sin[\alpha_a * \pi / 180] * \sin[\alpha_b * \pi / 180] - E) / (\sin[\alpha_b * \pi / 180] * (1-E))$$

$$(25) \quad M < (\sin[\alpha_a * \pi / 180] * \sin[\alpha_b * \pi / 180] + E) / (\sin[\alpha_b * \pi / 180] * (1+E))$$

Para valores negativos de α_b , as desigualdades são invertidas:

$$(26) \quad M < (\sin[\alpha_a * \pi / 180] * \sin[\alpha_b * \pi / 180] - E) / (\sin[\alpha_b * \pi / 180] * (1-E))$$

$$(27) \quad M > (\sin[\alpha_a * \pi / 180] * \sin[\alpha_b * \pi / 180] + E) / (\sin[\alpha_b * \pi / 180] * (1+E))$$

(24) e (27) serão sempre satisfeitas para valores de E superiores a um limite muito reduzido, e podem ser ignoradas. Assumindo que um “erro de pontaria” igual α_p se aplica aos drifts d'_a e d'_b , e substituindo a desigualdade por uma igualdade para definir o “worst case”, (25) e (26) transformam-se em:

$$(28) \quad M = (\sin^2[\alpha_p * \pi / 180] + E) / (\sin[\alpha_p * \pi / 180] * (1+E))$$

$$(29) \quad M = (\sin^2[\alpha_p * \pi / 180] - E) / (\sin[\alpha_p * \pi / 180] * (1 - E))$$

A equação (29) resulta num rácio superior ao da equação (28) para os valores de α_p e E na Figura 4, e foi utilizada para o gráfico de M dessa mesma figura.

Anexo B: Drift de uma estrela com declinação δ

Utilizando o sistema de coordenadas já definido na Figura 1, uma estrela situada na declinação δ inicia o seu movimento nas coordenadas $[0, -\cos \delta, \sin \delta]$.

As seguintes equações definem as coordenadas dessa estrela em função do ângulo AR α , e da declinação δ :

$$(30) \quad x_S = \sin \alpha \cos \delta$$

$$(31) \quad y_S = -\cos \alpha$$

$$(32) \quad z_S = \sin \delta$$

De seguida, pretendemos definir o movimento do eixo óptico do telescópio, também como função de α . No momento $t = 0$, assumimos que a estrela se encontra alinhada com o eixo óptico, que se move num plano inclinado pelo nosso ângulo de desalinhamento θ em relação ao plano XY.

A Figura 12 mostra o plano XZ, com um segundo sistema de coordenadas X'Y'Z', obtido após rotação dos eixos XYZ pelo ângulo θ à volta do eixo Y. O eixo AR do telescópio aponta na direcção do eixo +Z'. A nossa estrela encontra-se nas coordenadas $[0, -\cos \delta, \sin \delta]$ no momento $t = 0$. Não existe desalinhamento no plano YZ.

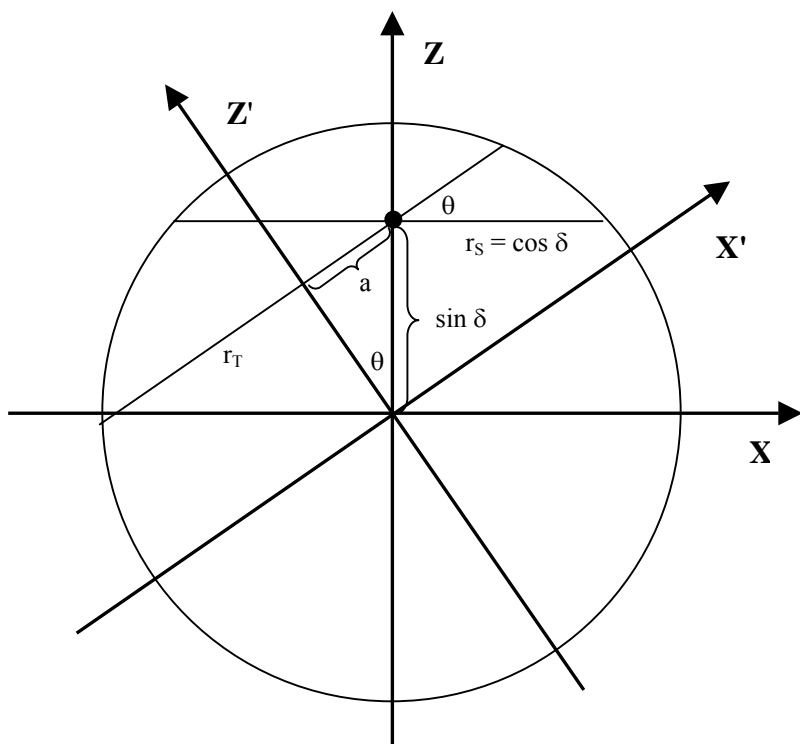


Figura 12

r_T é o raio do círculo desenhado pelo movimento do telescópio na esfera celeste, enquanto que $r_S = \cos \delta$ é o raio do círculo formado pelo movimento da estrela na declinação δ . Para a dimensão a notamos que:

$$(33) \quad a = \sin \theta * \sin \delta$$

Agora observarmos o círculo desenhado pelo telescópio no plano $X'Y'$ do nosso segundo sistema de coordenadas. No momento $t = 0$, o telescópio aponta directamente para a nossa estrela, mas deslocado por um ângulo α_{T0} em relação ao eixo Y' .

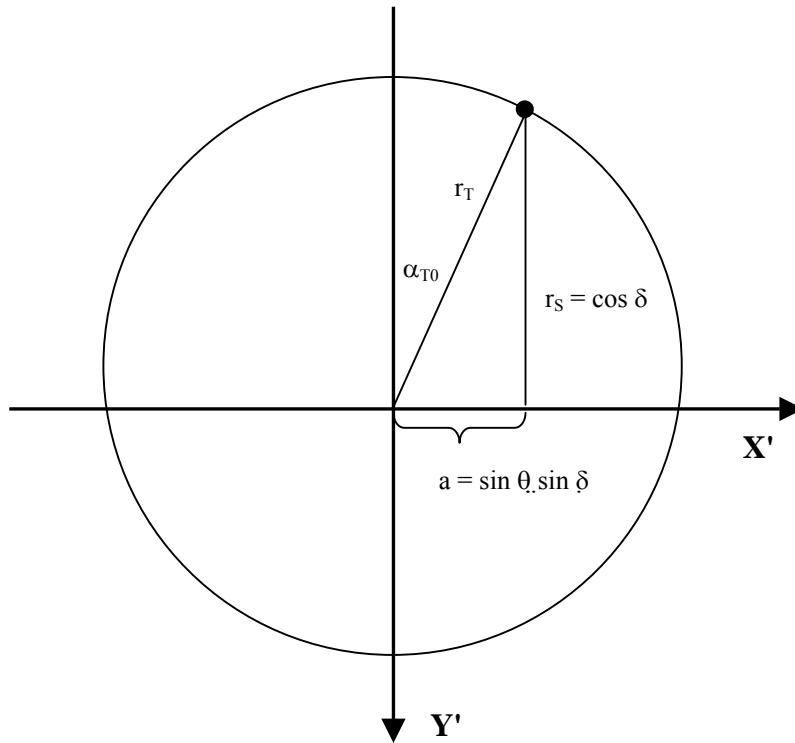


Figura 13

Recorrendo à Figura 13, notamos que r_T , a e r_S formam um triângulo rectângulo, sendo α_{T0} o ângulo inicial no sistema de coordenadas $X'Y'Z'$. Daqui resultam as seguintes equações:

$$(34) \quad r_T \sin \alpha_{T0} = \sin \theta \sin \delta$$

$$(35) \quad r_T \cos \alpha_{T0} = \cos \delta$$

Agora estamos em posição de definir a equação do círculo em que se move o telescópio, em função do ângulo de deslocação α da estrela em AR, partindo do princípio que o telescópio avança ao ritmo sidereal. Lembrando que no momento $t = 0$, $\alpha = 0$:

$$(36) \quad x'_T = r_T \sin (\alpha_{T0} + \alpha)$$

$$(37) \quad y'_T = - r_T \cos (\alpha_{T0} + \alpha)$$

Após aplicação de (34) and (35) e transformações trigonométricas obtemos:

$$(38) \quad x'_T = \sin \theta \sin \delta \cos \alpha + \cos \delta \sin \alpha$$

$$(39) \quad y'_T = - \sin \theta \sin \delta \sin \alpha - \cos \delta \cos \alpha$$

e já sabemos que z'_T não varia em função de t :

$$(40) \quad z'_T = \sin \delta \cos \theta$$

As seguintes transformações convertem coordenadas no sistema $X'Y'Z'$ em coordenadas do sistema XYZ :

$$(41) \quad x = x' \cos \theta - z' \sin \theta$$

$$(42) \quad y = y'$$

$$(43) \quad z = x' \sin \theta + z' \cos \theta$$

Após aplicação destas transformações a (38), (39) e (40), obtemos as seguintes equações para a posição do telescópio no sistema de coordenadas XYZ:

$$(44) \quad x_T = -\sin \theta \cos \theta \sin \delta + \cos \theta \cos \delta \sin \alpha + \sin \theta \cos \theta \sin \delta \cos \alpha$$

$$(45) \quad y_T = -\sin \theta \sin \delta \sin \alpha - \cos \delta \cos \alpha$$

$$(46) \quad z_T = \cos^2 \theta \sin \delta + \sin \theta \cos \delta \sin \alpha + \sin^2 \theta \sin \delta \cos \alpha$$

Como esperado, estas equações convertem-se na equação de um círculo no plano XY para $\theta = 0$ e $\delta = 0$, e num círculo no plano XZ para $\theta = 90^\circ$ e $\delta = 0$.

Agora estamos em posição de definir dois vectores, **S** e **T**. **S** aponta na direcção da estrela, e **T** aponta na direcção do eixo óptico do nosso telescópio:

$$(47) \quad \mathbf{S} = x_S \mathbf{i} + y_S \mathbf{j} + z_S \mathbf{k}$$

$$(48) \quad \mathbf{T} = x_T \mathbf{i} + y_T \mathbf{j} + z_T \mathbf{k}$$

i, **j** e **k** representando os vectores unitários nas respectivas direcções x,y e z. O ângulo de drift da nossa estrela é simplesmente o ângulo entre estes dois vectores. Recordando que o comprimento de ambos os vectores é igual a 1 (o raio arbitrariamente escolhido para a nossa esfera celeste), este ângulo Δ é igual a:

$$(49) \quad \Delta = \cos^{-1} (\mathbf{T} \cdot \mathbf{S}) / (|\mathbf{T}| |\mathbf{S}|) = \cos^{-1} (x_S x_T + y_S y_T + z_S z_T)$$

, o símbolo \cdot representando o produto escalar de dois vectores.

Também estamos interessados na direcção do drift no nosso ocular ou imagem CCD. Começamos por definir γ como o ângulo entre a linha que corre do centro da imagem CCD (ou ocular) até à estrela, e uma segunda linha imaginária que atravessa o centro da imagem CCD na direcção do eixo AR do telescópio.

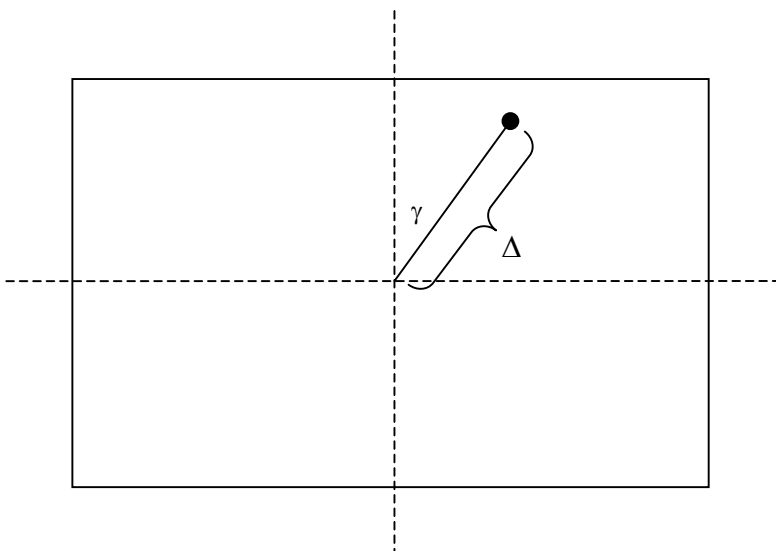


Figura 14

É importante lembrar que as distâncias na imagem são definidas em graus, minutos ou segundos de arco. Estamos portanto a assumir que distancias lineares na imagem são proporcionais a distancias angulares, o que é verdade para ângulos pequenos de Δ .

Para encontrarmos γ temos que definir o vector \mathbf{D} que aponta do eixo óptico do telescópio em direcção à estrela:

$$(50) \quad \mathbf{D} = \mathbf{S} - \mathbf{T}$$

e o vector \mathbf{A} que aponta do eixo óptico do telescópio to para o ponto em que o eixo AR intersecta a nossa esfera celeste de raio 1, ponto esse representado pelo vector \mathbf{AR} :

$$(51) \quad \mathbf{AR} = -\sin \theta \mathbf{i} + \cos \theta \mathbf{k}$$

$$(52) \quad \mathbf{A} = \mathbf{AR} - \mathbf{T}$$

O vector \mathbf{A} representa um vector de referência que mantém uma orientação fixa em relação à ocular ou imagem CCD, e que não se altera com o tempo. Na Figura 14 a projecção de \mathbf{A} para plano de imagem atravessa o centro da imagem na direcção vertical, o que é consistente com a definição de γ .

A Figura 15 mostra estes vectores para uma estrela com declinação θ que avançou por $\alpha = 90^\circ$, nesse momento precisamente localizada no plano XZ. O vector \mathbf{T} aponta para o centro do plano de imagem (que é ortogonal a \mathbf{T}), e o vector \mathbf{S} aponta para a estrela que se deslocou por pelo ângulo de drift Δ .

Infelizmente, o ângulo γ não é idêntico ao ângulo entre os vectores \mathbf{A} e \mathbf{D} , mas sim corresponde ao ângulo entre as projecções de \mathbf{A} e \mathbf{D} no nosso plano de imagem. Por conseguinte, estes vectores projectados têm que ser ortogonais em relação a \mathbf{T} . Os dois vectores ortogonais a \mathbf{T} que preservam a sua relação angular são os produtos vectoriais de \mathbf{T} com \mathbf{D} e de \mathbf{T} com \mathbf{A} .

O ângulo γ pode assim ser expressado de seguinte forma:

$$(53) \quad \gamma = \cos^{-1} ((\mathbf{T} \times \mathbf{D}) \cdot (\mathbf{T} \times \mathbf{A})) / (|\mathbf{T} \times \mathbf{D}| |\mathbf{T} \times \mathbf{A}|)$$

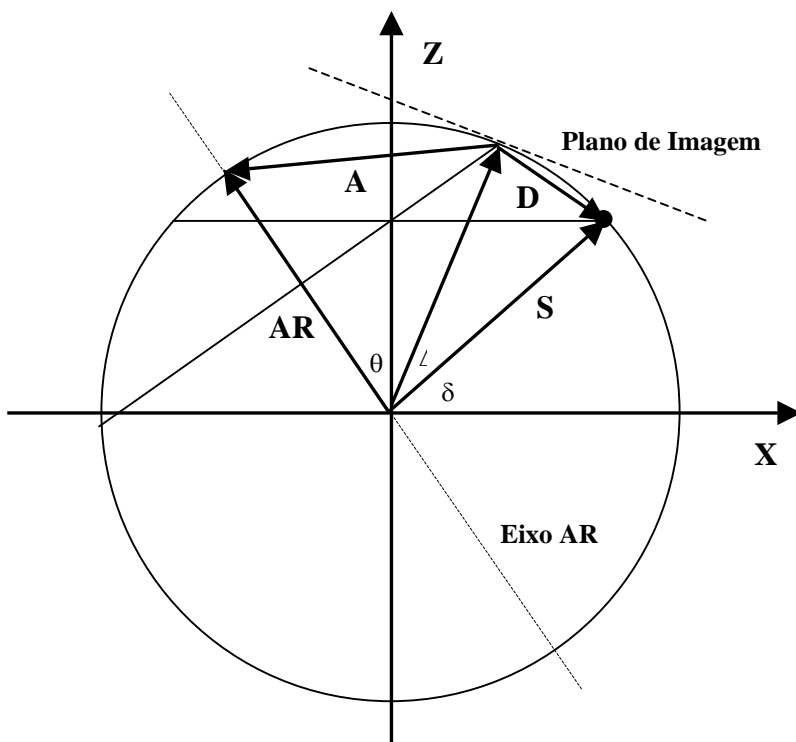


Figura 15

Não há necessidade de detalhar mais estas equações. Os cálculos vectoriais podem ser facilmente implementados numa folha de cálculo.

Resultados de Simulação

A Figura 16 mostra o drift de uma estrela com declinações de 5, 30, 60 e 90 graus numa ocular com um ângulo de visão de 2 graus. O desalinhamento do eixo AR é de 0,5 graus. As trajectórias do drift são apresentadas para um período de 24 horas, como se fosse possível observar o drift durante o dia e quando a estrela se encontra por debaixo do horizonte.

Em primeiro lugar, notamos a conclusão trivial das trajectórias serem “fechadas”, o que significa que, decorridos 24 horas, a estrela regressa à sua posição inicial no centro da ocular. Na medida em que a declinação da estrela aumenta, uma componente horizontal do drift começa a emergir, mas o drift inicial ocorre sempre na direcção vertical, atingindo um valor máximo igual ao ângulo de desalinhamento. Para declinações próximas dos 90 graus, o drift inicial torna-se cada vez mais horizontal até ao ponto em que a trajectória da estrela descreve um círculo perfeito para $\delta = 90^\circ$, exactamente como se esperaria.

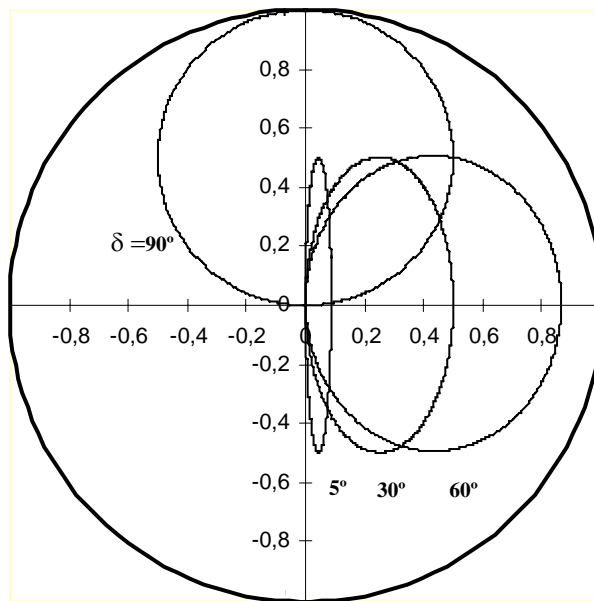


Figura 16

É importante recordar que este exemplo assume que não existe qualquer desalinhamento no plano ortogonal a θ . A simulação pode igualmente calcular o efeito que resulta da sobreposição de dois desalinhamentos ortogonais, seguindo os princípios da equação (9).

APOLOGIA DA ASTRONOMIA

António Mota de Aguiar
motadeaguiar@netcabo.pt

A ciência, a fé e o homem

O desenvolvimento da ciência, colocada ao serviço do homem, é um bem inigualável na história do homem. Contamos Carl Sagan, por exemplo, que a rainha Ana, última monarca Stuart do século XVII, engravidou 18 vezes. Só cinco dos seus filhos nasceram vivos e dos cinco só um sobreviveu, tendo morrido, porém, antes de atingir a idade adulta. Felizmente hoje, no início do século XXI, fazem-se com sucesso as mais complicadas cirurgias a pessoas com rendimentos muitíssimo aquém do rendimento posto à disposição da rainha Ana pela coroa britânica.

Os progressos na ciência e na tecnologia – sendo que se considera esta última, ciência aplicada, por oposição à primeira, ciência pura – é uma conquista da humanidade. As sociedades que depositam em Deus a esperança da solução dos males terrestres e não num suporte científico-tecnológico, vivem quase todas em condições sócio-económicas precárias, pois Deus não resolve os problemas terrenos, como, por exemplo, as doenças e as guerras. Só a ciência e a tecnologia conseguem aliviar o sofrimento humano, só elas conseguem, nas diferentes áreas de que se ocupam, responder às múltiplas solicitações que diariamente lhes são colocadas. Parafraçando Carl Sagan:

"Podemos orar junto de uma vítima da cólera ou administrar-lhe 500 mg de tetraciclina de 12 em 12 horas."(1)

Descobertas como a penicilina, o núcleo do átomo e os quanta, tiveram profundas repercussões na vida do homem. Nestes últimos cem anos, foram feitos progressos colossais em todas as áreas do saber; cito ainda outro cientista:

"La libération des femmes n'aurait pu s'accomplir si la science ne leur avait offert de la contraception."(2)

A crença religiosa não tem nada a ver com os complexos problemas da nossa sociedade terrena. Com a fé – ou com a religião – cada um de nós faz o que entende. Importantes cientistas foram pessoas com fé em Deus. Ficou de vez estabelecido por Galileu que Fé e Ciência, embora campos diferentes, não se opõem uma à outra, e que, para quem o desejar de boa vontade, até se podem complementar. Veja-se o caso de Johannes Kepler que nos legou um património científico importante e, não obstante, era um crente fervoroso.

Na ciência concentra-se hoje a esperança que se transforme a sociedade iníqua que vivemos, que se inventem melhores e mais rápidos meios de acabar com a pobreza, melhorar a qualidade da vida dos homens e nos faça compreender melhor o cosmos, que tanto tem a ver com as nossas vidas quotidianas.

A meu ver, de todas as disciplinas científicas, nenhuma outra que a astronomia consegue dar uma resposta tão abrangente e concludente às perguntas científicas que o homem se faz sobre a sua passagem – tão curta - pelo planeta, porque também nenhuma outra disciplina se intercala com matérias de estudo tão nucleares como a Física, a Química e a Biologia, sendo ainda que as respostas dadas por estas disciplinas são comprovadas pela Matemática. Eis, pois, quatro áreas de estudo fundamentais no conhecimento científico moderno.

Vivemos no limiar do século XXI. A humanidade é confrontada com várias calamidades e nunca no passado se tinham colocado tantas e com tal amplitude: terrorismo à escala mundial, fomes colossais de populações inteiras, pobreza em grandes áreas geográficas do planeta, degradação moral das sociedades, genocídios aterrorizadores, turismo sexual de menores, exclusão social, toxicod dependência, sida e outras doenças infecciosas, crescimento 'exponencial' da população mundial, destruição da camada de ozono, poluição do ar por resíduos tóxicos e radioactivos, erosão da camada superficial do solo com a conseqüente degradação acelerada do ambiente, desflorestação tropical, catástrofes naturais, guerras regionais, risco de guerra nuclear, e outras calamidades.

Com tantos problemas por resolver, as sociedades estão apáticas, parecem não dar a devida importância aos problemas que as ameaçam. Por isso, qualquer trabalho na área da ciência é bem-vindo, e para nós, que nos interessamos pela astronomia, por onde começar o seu estudo quando pela primeira vez abordamos esta ciência? Antes de mais, o que é a astronomia?

A astronomia e suas áreas de investigação

Nos primeiros séculos da navegação empreendida pelos europeus, determinar a posição dos seus navios no meio da vastidão oceânica constituía um enorme problema para os marinheiros destas épocas; contudo, as respostas foram sendo pouco a pouco encontradas, muitas delas com a ajuda da astronomia. Chama-se a esta área do saber, a **Astronomia náutica**, à qual os Portugueses deram uma importante contribuição. O Homem foi pouco a pouco, com a ajuda das estrelas, descobrindo o seu posicionamento na vastidão do mar austral.

Posteriormente, nos séculos XVII e XVIII, a ciência descobriu as leis que governam os movimentos dos planetas e, desde essa época, a visão geocêntrica e antropocêntrica que os homens tinham do universo foi-se desmoronando,

dando lugar às concepções científicas modernas, de um vasto universo onde o homem e a Terra desempenham um papel insignificante.

Como tudo na vida, também a astronomia se transformou ao longo dos milénios. Estas duas definições da astronomia que transcrevo a seguir dão uma resposta abrangente do que entendemos por astronomia:

1. "A palavra vem do grego *astron*, astro, e *nomos*, lei". De acordo com o dicionário, "a astronomia é a ciência que estuda a posição, os movimentos e a constituição dos corpos celestes. (Petit Larousse)
2. "A astronomia, uma das ciências mais antigas, surgiu a partir dos esforços feitos por sucessivas gerações de pessoas que procuraram, ao longo dos séculos, interpretar o espectáculo maravilhoso e intrigante que o céu lhes proporcionava, segundo Máximo Ferreira e Guilherme de Almeida. (3)

A olho nu podemos observar milhares de estrelas, mas basta utilizarmos um pequeno telescópio para podermos observar dezenas de milhares. As estrelas classificam-se segundo as suas próprias características, e os diferentes tipos de estrelas remetem-nos para diferentes estados de evolução das mesmas, tal como se olhássemos para uma praça cheia de pessoas e notássemos que há pessoas altas e baixas, velhas e jovens e, conforme o grupo social e etário a que pertencem; apresentam-se de múltiplas formas, consoante as suas características.

As estrelas parecem pontos na vastidão do espaço, aparentemente vazio; mas o espaço não está vazio, contém enormes nuvens de átomos, moléculas, partículas elementares e poeira cósmica. Porém, mais afastado de nós, as coisas mudam, como nos diz o astrónomo francês Serge Brunier:

"En moyenne, l'espace intergalactique, traversé de temps à l'autre par un photon, compte environ un atome par mètre cube. Pour le physicien, cela signifie que l'Univers a une densité de l'ordre de 10^{-30} , mille milliards de milliards de milliards de fois inférieure à celle de l'eau." (4)

O ramo mais antigo da astronomia é a astronomia de posição, ou **Astrometria**, cujo objecto consiste na determinação das posições e dos movimentos dos astros: os catálogos de estrelas, são estabelecidos por este ramo da astronomia, como por exemplo o "catálogo fundamental", transcrevendo as posições de 1535 estrelas brilhantes existentes no céu, as quais servem igualmente para posicionar as coordenadas de todos os astros longínquos. Os astrónomos têm necessidade de dispor de medidas precisas, por isso os catálogos estelares constituem um trabalho permanente.

A astrometria ocupa-se igualmente do estudo do movimento relativo das **estrelas duplas** – de onde se deduz a massa destes objectos – e da medida das **paralaxes**, que permite determinar a distância às estrelas próximas. É também esta ciência que se ocupa da investigação da cinemática e da dinâmica das galáxias, em particular da nossa Galáxia. Pode-se dizer que os conhecimentos sobre o movimento da Terra, do sistema solar e da nossa Galáxia, à escala da evolução do Universo, dependem desta área do saber, i.e., da astrometria.

A **Mecânica Celeste** está amplamente ligada à **astrometria**. Esta ciência trata das leis que se ocupam dos movimentos dos astros no sistema solar, nos outros sistemas estelares e entre as galáxias ou enxames de galáxias.

A partir da segunda metade do século XIX, a **Fotografia**, a **Espectroscopia** e a **Fotometria** permitiram o evento da **Astrofísica**, cujo objecto é o estudo físico dos astros. O seu campo de investigação abrange o conjunto da radiação electromagnética, porém, mais recentemente, com o aparecimento da **Radioastronomia** que estuda as fontes celestes de ondas radioeléctricas, e da **astronomia espacial**, que estuda a radiação cósmica que não chega ao solo terrestre (raios γ et X, ultravioleta e infravermelhos).

A investigação em **Planetologia** é feita com a ajuda de engenhos espaciais, da Lua, dos planetas e do meio interplanetário, cujo objecto é o estudo físico dos planetas do sistema solar.

Nos nossos dias a **Física Teórica** elabora "modelos" susceptíveis de responder da estrutura e da evolução dos astros, da mesma forma que a **Astroquímica** se interessa à química do espaço extraterrestre. A constituição molecular do meio interestelar veio dar força a este ramo da ciência. Uma outra disciplina do saber, a **Cosmogonia**, estuda a formação e evolução dos corpos celestes de forma particular, a **Cosmologia**, procura responder às questões relacionadas com a estrutura e evolução do Universo no seu todo.

Por fim, a **Exobiologia**, tenta responder às questões relacionadas com a possibilidade de existência de vida no cosmos. Em franco progresso, esta disciplina, procura planetas extrasolares, denominados **exoplanetas**, cuja descoberta do primeiro planeta data somente de 1995, feita pelo astrónomo suíço Michel Mayor. Desde então, graças ao método utilizado por este cientista, a comunidade científica já descobriu mais de uma centena de planetas orbitando outros sistemas solares que não o nosso. Por fim, uma palavra para a Astronomia de Amadores, que tem a função – entre outras - importante na transmissão pedagógica de conhecimentos através de fotografias do cosmos.

As áreas da astronomia não se esgotam nesta pequena exposição, e muitas destas áreas de estudo se cruzam umas com outras, por isso outras leituras podem ser feitas, consoante a interpretação do autor. Por exemplo, um grupo de cientistas finlandeses, define a astronomia do seguinte modo:

"Modern astronomy explores the whole Universe and its different forms of matter and energy. Astronomers study the contents of the Universe from the level of elementary particles and molecules (with masses of 10^{-30} kg) to the largest superclusters of galaxies (with masses of 10^{60} kg.)" (5)

O exemplo de Carl Sagan

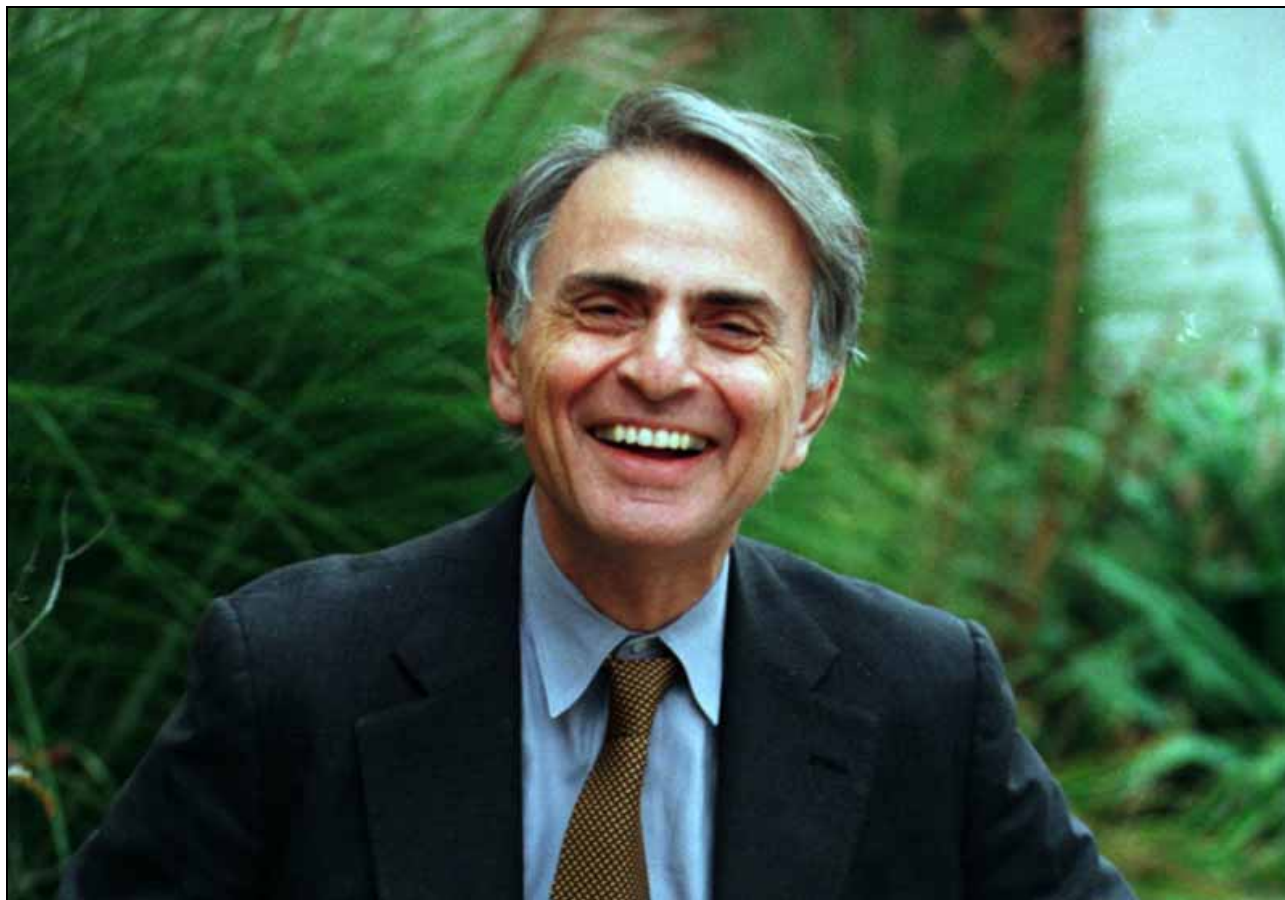
Quando abordamos a astronomia, vem-nos à memória Carl Sagan. Sagan foi o maior cientista pedagogo no campo da divulgação da astronomia. Não há ninguém que não conheça o seu nome. Quantos de nós, como é meu caso, lhe estão gratos por nos ter iniciado nesta disciplina.

Infelizmente morreu quando menos se esperava, deixando a milhões de pessoas por esse mundo fora um enorme vazio e tristeza. Nunca mais ninguém o substituiu. Carl Sagan foi o mentor do ensino da astronomia, que, para além de nos passar esta ciência, nos transmitia também uma esperança.

Devemos tirar ensinamentos da sua mensagem. O estudo do "Cosmos" faz parte da biblioteca de milhões de pessoas. Infelizmente, não só essa obra como os muitos outros livros que Carl Sagan escreveu encontram-se hoje, em consequência do seu desaparecimento, um pouco esquecidos da maioria das pessoas por esse mundo fora. Falta Carl Sagan para lhes dar vida. É preciso trazer, para a ribalta do cidadão comum, a mensagem científica, ética e moral que Carl Sagan nos deixou, e a melhor maneira de lhe prestar homenagem é lermos os seus livros e aprendermos astronomia.

Referências

- (1) *Um Mundo Infestado de Demónios*, Carl Sagan, Gradiva, página 24
- (2) *La Science est-elle Nécessaire?* Max F. Perutz, página 14, Éd. Odile Jacob, Paris
- (3) *Introdução à Astronomia e às Observações Astronómicas*, Máximo Ferreira, Guilherme de Almeida, Plátano, Lisboa.
- (4) *Une Odyssée de l'Espace*, Serge Brunier, Bordas, Paris
- (4) *Fundamental Astronomy*, H. Karttunen e outros, Chapter 1, Springer-Verlag Berlim/Heidelberg 1996,



CARL EDWARD SAGAN (1934-1996) nasceu nos Estados Unidos da América. Em 1960 obteve o título de doutor pela Universidade de Chicago. Dedicou-se à pesquisa e à divulgação da Astronomia.

Crédito da imagem: ©1994 by Michael Okoniewski.



Stephan's Quintet. RCOS 10" F/9 Carbon Truss, ST10-XME, Paramount ME. Luminance image, 90 min (18x300s), SDMask, DDP. António Peres Gomes & Pedro Ré.



NGC7331. RCOS 10" F/9 Carbon Truss, ST10-XME, Paramount ME. Luminance image, 185 min (37x300s), Sigma Clip, DDP. António Peres Gomes & Pedro Ré.



M011. RCOS 10" F/9 Carbon Truss, ST10-XME, Paramount ME. Luminance image, 33 min (33x60s), SDMask, DDP.
António Peres Gomes & Pedro Ré.



NGC6946. RCOS 10" F/9 Carbon Truss, ST10-XME, Paramount ME. Luminance image, 60 min (30x180s), SDMask, DDP.
António Peres Gomes & Pedro Ré.