

Criação de uma rede brasileira de câmeras de vídeo automáticas para observação de meteoros

André Izeeson, Antônio Coelho, Cristóvão Jacques

*REA – Rede de Astronomia Observacional
CASP – Clube de Astronomia de São Paulo
CASB – Clube de Astronomia de Brasília
CEAMIG - Centro de Estudos Astronômicos de Minas Gerais*

XI Encontro Nacional de Astronomia – 2008 – Maceió, Brasil

Resumo

Neste trabalho, é proposta a criação de uma rede de câmeras de vídeo de grande campo para a observação de meteoros. Tais câmeras serão espalhadas pela maior área possível do território nacional e serão automáticas. Esta rede, que será coordenada pela REA, Rede de Astronomia Observacional, será capaz de melhor caracterizar as chuvas de meteoros do hemisfério sul, bem como estimar o local da possível queda de meteoritos e determinar a órbita de seus meteoróides de origem.

Uma câmera-protótipo foi construída, e suas especificações e detalhes de montagem são descritos nesse trabalho. Além disso, são apresentados os resultados obtidos pela câmera até o presente momento, bem como os tipos de resultados que são esperados no futuro, após a instalação de um número suficiente de câmeras.

1. Introdução

A observação visual de meteoros é uma parte integrante das atividades dos astrônomos amadores. Através da observação visual, diversas chuvas de meteoros foram descobertas, seus raios determinados e suas taxas horárias zenitais estimadas.

Astrônomos amadores tiveram papel especialmente relevante na recuperação de meteoritos. Alguns bólidos especialmente brilhantes que passaram sobre áreas populosas e foram vistos por diversos observadores tiveram sua órbita determinada pelo trabalho diligente de amadores que entrevistaram os observadores. A partir dessas entrevistas, a trajetória do meteoro pode ser computada, e meteoritos puderam ser

recuperados para pesquisa. Um evento assim ocorreu no Brasil em 1957, sendo que o meteorito, conhecido como meteorito de Itabira, foi recuperado pela equipe do CEAMIG.

A observação visual, porém, não permite a precisão desejada e nem a cobertura, tanto temporal quanto espacial, necessária para extrair toda a informação possível da atividade dos meteoros.

Visando obter registros mais detalhados de chuvas de meteoros, astrônomos profissionais e amadores passaram a construir redes fotográficas para a observação de meteoros. A primeira dessas redes data de 1936, tendo sido construída pela universidade de Harvard. Em meados dos anos sessenta, uma rede foi

instalada na Alemanha, contando inicialmente com 5 câmeras. Ao final da década, essa rede, batizada de “European Fireball Network”, já contava com 15 câmeras fotográficas. Cada uma das câmeras, com largo campo de visão, realizava apenas uma exposição por noite, em filme 36mm. Cada uma das imagens precisava ser manualmente analisada pelos operadores da rede. Essa rede continuou crescendo, e câmeras foram instaladas na República Checa, Eslováquia, Suíça, Áustria e Bélgica. Outras redes foram construídas em diversos países do mundo, com especial relevância nos Estados Unidos, no Canadá, na Espanha, na Holanda e no Japão [1].

A partir do final dos anos oitenta, astrônomos amadores começaram a observar algumas chuvas de meteoros com câmeras de vídeo. No fim dos anos 90, uma rede de câmeras de vídeo “*all-sky*” foi montada na Alemanha. Essa rede, pela primeira vez, possuía um software que fazia a identificação dos meteoros de forma automatizada [2]. Essa rede atraiu observadores de outros países, e atualmente possui câmeras “*all-sky*” no Estados Unidos, Japão e Austrália, além de diversos outros países europeus.

No Brasil, a primeira câmera “*all-sky*” foi montada pela Profa. Dra. Maria Elizabeth Zucolotto, da Universidade federal do Rio de Janeiro. Seu trabalho motivou este projeto.

2. Objetivos

O objetivo deste trabalho é estimular a criação de uma rede brasileira de câmeras de vídeo automáticas para observação de meteoros. Essa rede será coordenada pela REA, Rede de Astronomia Observacional. As câmeras serão operadas por astrônomos amadores. A rede possibilitará atingir os seguintes objetivos científicos:

2.1. Objetivos científicos:

2.1.1. *Caracterização de chuvas de meteoros*

A maioria dos astrônomos amadores está no hemisfério norte, bem como a maioria das redes de observação automatizadas. Dessa forma, as chuvas de meteoros observáveis do hemisfério norte estão muito bem caracterizadas. No hemisfério sul, porém, é possível ainda fazer grandes contribuições, levantando dados como posição exata de

radiantes, taxas horárias zenitais, índices de população e etc. para as chuvas de meteoros já conhecidas.

Além disso, variações anuais nas chuvas de meteoros existem, e oferecem oportunidades interessantes para se estudar a interação gravitacional da corrente de meteoróides com os planetas [3], [4] e [5]. Para tal, porém, é necessário que observações detalhadas e freqüentes sejam realizadas.

2.1.2. *Caracterização do fundo de meteoros esporádicos visando a possível detecção de novas chuvas.*

A grande maioria dos meteoros esporádicos que são observados não é realmente esporádica: Há dezenas de chuvas de meteoros de menor significância, que produzem taxas horárias zenitais de apenas alguns poucos meteoros por hora.

Ao se observar atentamente o fundo de meteoros esporádicos, isto é, não pertencentes a nenhuma chuva conhecida, pode-se descobrir novas chuvas menores ainda não catalogadas. Com a triangulação das observações realizadas por estações de observação distintas, é possível determinar a órbita dos meteoróides da nova chuva, e através dessa informação, identificar o corpo cometário responsável por ela.

2.1.3. *Criar uma estrutura que possibilite a recuperação de meteoritos com órbita determinada*

Ao se observar um bólido simultaneamente através de diversas estações de observação, é possível calcular a órbita que o meteoróide descrevia antes de penetrar na atmosfera terrestre. Caso o meteoróide seja grande o suficiente, ele não será totalmente consumido na atmosfera e atingirá o solo. As informações sobre a trajetória que o meteoro seguiu permitem que seja possível, em princípio, determinar o local de sua queda e recuperar o meteorito resultante [6].

Esses meteoritos possuem grande valor científico. É possível correlacionar informações sobre sua composição com dados de sua órbita, ajudando assim a caracterizar melhor a composição das diversas famílias de asteróide do cinturão de asteróides.

2.1.4. *Possibilita a detecção e observação de outros fenômenos interessantes e pouco estudados, como sprites, elves, jets, etc.*

Ao se instalar câmeras que observem o céu ininterruptamente, fatalmente se observarão diversos fenômenos interessantes de forma incidental. Entre eles, os mais interessantes são fenômenos relacionados a descargas elétricas, como os *sprites, elves e jets*. Esses ainda são fenômenos atmosféricos pouco conhecidos, que se manifestam na alta atmosfera, sobre grandes nuvens de tempestade elétrica, na forma de breves flashes de luz colorida. A observação diligente desses raros fenômenos pode ajudar na sua elucidação.

3. Desenvolvimento

3.1. Requisitos da câmera

As câmeras que serão utilizadas na construção da rede de observação de meteoros devem atender a alguns requisitos básicos. Entre eles, podemos destacar:

3.1.1. *Sensibilidade:*

A câmera deve ser altamente sensível em baixas condições de luminosidade. Isso permitirá que meteoros de pouco brilho sejam detectados. Esses meteoros menos brilhantes são os mais abundantes, e são fundamentais para que se possa fazer uma caracterização adequada da atividade meteorítica.

3.1.2. *Velocidade de exposição:*

A câmera deve ser capaz de fazer exposições muito breves, para que possa fazer o maior número de exposições por segundo. Isso permite uma maior precisão na reconstrução da trajetória do meteoro. Em especial, a determinação da velocidade de entrada do meteoro na atmosfera terrestre é difícil de ser determinada, e é bastante afetada por esse fator.

3.1.3. *Campo de visão*

A Câmera deve ter o maior campo de visão possível, preferencialmente sendo capaz de observar todo o céu simultaneamente. Isso a torna capaz de observar meteoros próximos ao horizonte, o que é desejado para que se possam correlacionar observações de diversas estações distintas.

Esse requisito cria uma relação de compromisso com a sensibilidade, pois ao aumentar o campo de visão diminui-se a sensibilidade do sistema, e vice-versa. Assim, lentes de distância focal variável são especialmente desejáveis, pois permitem que a relação entre largura de campo e sensibilidade seja ajustada para objetivos científicos específicos.

3.1.4. *Automação*

As câmeras da rede devem ser capazes de operar de forma autônoma por diversas semanas, selecionando vídeos de meteoros que serão salvos, e ignorando alarmes falsos.

3.1.5. *Resistência aos elementos*

As câmeras, por operarem em ambientes externos, não devem sofrer danos com a radiação solar, chuva, variações de temperatura e etc. As câmeras devem ser capazes de evitar a formação de condensação nas lentes.

3.2. Montagem

A montagem da câmera protótipo buscou atender a todos os requisitos citados anteriormente. O detector selecionado foi o *PC164C - Super Low Light - High Resolution Monochrome Video Câmera*. Essa câmera possui sensibilidade de 0.0003 lux, e opera a 30 quadros por segundo, apresentando uma boa relação custo-benefício. A lente selecionada para o projeto foi a *Rainbow L163VDC4P*, que é uma lente olho de peixe de distância focal variável de 1.6 a 3.4mm. Ela também possui íris automática, o que impede que a câmera sofra danos devido à radiação solar, pois a íris se fecha quase que por completo durante o dia, evitando que uma grande quantidade de radiação solar atinja o detector. Esse conjunto de lente e câmera apresentou sensibilidade razoável, sendo capaz de detectar meteoros mais brilhantes do que magnitude zero, aproximadamente, o que é adequado aos objetivos do projeto.

O conjunto de lente e câmera foi montado em tubos concêntricos de PVC, encimados por um domo de acrílico, como se vê na figura 1.



figura 1: Aspecto externo da câmera

Para que não haja formação de condensação no domo, foi adicionado um aquecedor de aquário de 50W com termostato sob a câmera. O aquecedor entra em funcionamento sempre que a temperatura cair a menos de 20°C. Um ventilador (cooler) de CPU, posicionado abaixo do aquecedor, circula ar por todo o conjunto, evitando a formação de regiões superaquecidas quando o aquecedor está ligado ou durante o dia, quando o conjunto está exposto ao sol. O ar entra no sistema através de um filtro com gel de sílica posicionado na extremidade inferior do tubo interno. O filtro retira poeira e impede a entrada de insetos no sistema, e o gel de sílica mantém o ar seco. O ar é então aquecido e circula pelos eletrônicos, mantendo-os secos, e em seguida pelo domo de acrílico, impedindo a condensação. O ar é então expelido através do tudo externo. O ventilador nunca é desligado. Assim, durante dias muito quentes, ar fresco circula pelo equipamento, evitando danos aos eletrônicos;

Um esquema da montagem do conjunto pode ser visto na figura 2. Nele, pode se ver o domo de acrílico (1), a lente olho de peixe (2) a câmera (3), o aquecedor (4), os tubos de PVC (5) e (6), o ventilador (7) e o filtro (8). Os custos de aquisição da câmera estão detalhados no ANEXO I.

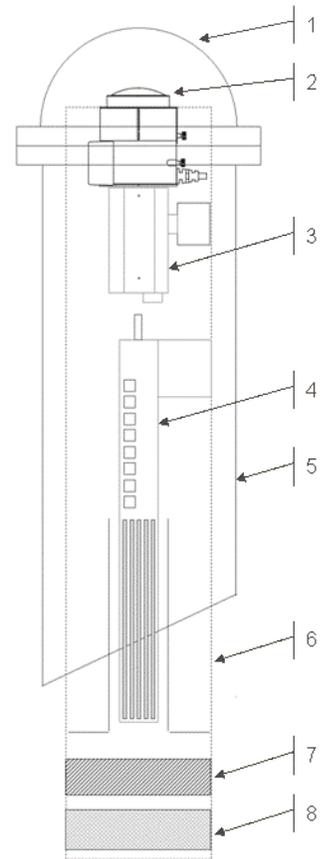


figura 2: Esquema de montagem da câmera

Nos primeiros testes do protótipo, foi verificado que a imagem produzida apresentava ruído excessivo, o que impedia que a câmera operasse com sua sensibilidade máxima. Determinou-se que esse ruído era de origem eletrônica, causado por interferência eletromagnética nos cabos da câmera. Para sanar esse problema, alterou-se o sistema de alimentação elétrica, utilizando-se fontes separadas para a câmera e para o sistema de aquecimento e circulação de ar. Além disso, o cabo de vídeo foi substituído por um cabo coaxial blindado à radiação eletromagnética. A blindagem do cabo foi aterrada, e o problema do ruído foi eliminado. As imagens obtidas pela câmera, como se pode notar na figura 3, são nítidas e livres de artefatos eletrônicos. Essa imagem foi obtida logo após o por do sol. O céu ainda está claro na direção oeste (esquerda). É possível ver a lua, algumas estrelas, nuvens e um meteoro.



figura 3: Imagem típica obtida pela câmera

3.3. Locais de instalação

Para que seja possível calcular a paralaxe dos meteoros observados por duas estações de observação, de forma a determinar a trajetória do meteoro e a órbita do meteoróide, é necessário que as estações estejam suficientemente espaçadas. Em geral, uma distância mínima de 20Km entre elas é recomendada [7].

Quanto maior for a distância entre as estações, maior será a paralaxe observada, o que melhora a precisão da observação. Por outro lado, se duas estações de observação forem posicionadas distantes demais uma da outra, os meteoros por elas observados de forma simultânea estarão muito baixos no horizonte, o que dificulta o cálculo de suas posições astrométricas.

O gráfico 1 fornece uma estimativa da máxima distância em que se pode observar um meteoro, o que por sua vez determina a máxima distância entre duas estações. O eixo horizontal mostra a distância entre uma estação de observação e o meteoro sendo observado. A faixa azul mostra altitudes típicas em que queimam os meteoros, em geral entre 70 a 100 Km de altitude na atmosfera. Apenas bólidos muito grandes continuam a emitir luz abaixo de 70 Km. A maioria dos meteoros, sobretudo dos mais velozes, começa a emitir luz acima dos 100 Km de altitude [4]. Os valores selecionados, assim, são conservativos para a maioria dos meteoros comuns. O eixo vertical mostra a altitude, em graus (coordenadas alt-azimutais), que um determinado meteoro aparecerá no céu quando observado pela estação em questão.

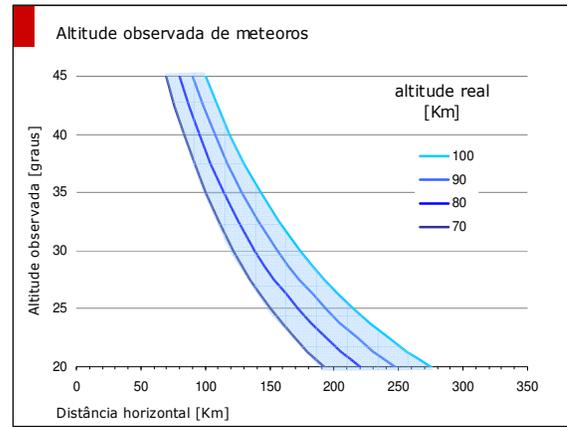


gráfico 1: Altitude observada de meteoros

Para que um meteoro seja observado a uma altitude de pelo menos 30 graus por uma câmera, de forma que sua imagem não apresente distorções excessivas devido à atmosfera, ou para que não haja interferência de objetos próximos à câmera, como árvores, postes de luz e etc, a câmera não deve estar a mais de 150 Km do meteoro. Assim, ao se posicionar diversas estações a aproximadamente essa distância umas das outras, garante-se que todos os meteoros serão adequadamente observados por pelo menos um par de câmeras.

A primeira câmera da rede de observação foi instalada na cidade de Campos do Jordão, S.P. A segunda câmera será instalada em São Luís do Paraitinga, a 60Km de distância.

Na figura 4, estão assinaladas as localizações das câmeras iniciais do projeto. Os círculos realçados em vermelho representam a área coberta pelas câmeras. Qualquer meteoro que ocorra nessa área será registrado pelas câmeras a no mínimo 30° de altitude (coordenadas alt-azimutais). A intersecção dos círculos indica a área em que será possível fazer a triangulação do meteoro. As áreas assinaladas são conservativas, uma vez que em diversos azimutes é possível observar meteoros a menos do que 30° de altitude, mesmo com alguma degradação da qualidade da imagem.

Uma terceira câmera, construída pela Profa. Dra. Maria Elizabeth Zucolotto, será operada em breve a partir do Rio de Janeiro, juntando-se à rede.



figura 4: Mapa de cobertura

3.4. Operação (software, redução de dados)

3.4.1. Aquisição de dados

A câmera de vídeo selecionada para o projeto possui apenas saída analógica para o canal de vídeo. Para que o vídeo produzido seja útil, é necessário convertê-lo para um formato digital. Isso é feito com uma placa de digitalização de vídeo. Há diversos modelos no mercado que são adequados para tal. Uma vez que o vídeo esteja disponível no computador, é necessário que um *software* seja capaz de “assisti-lo”, salvando os trechos que contenham gravações de meteoros e eliminando todo o resto. Há essencialmente dois pacotes de *software* capazes de fazer essa análise: “MetRec”, utilizado pelas redes americanas e européias de observação de meteoros, e “UFOcapture” [8], utilizado pela rede Japonesa. O *software* “MetRec” necessita de uma placa de aquisição de vídeo específica e bastante cara. Assim, por considerações de ordem financeira, optou-se pela utilização do *software* “UFOcapture”.

O algoritmo de detecção de meteoros busca *pixels* cujo brilho se altere abruptamente entre dois quadros. Um vídeo só é gravado se essa variação de brilho ocorra em mais de um número especificado de *pixels* adjacentes, e por mais do que um número especificado de quadros consecutivos. Com isso, evita-se a detecção de raios cósmicos, ruídos eletrônicos e etc. O *software* possui mais alguns modos de evitar a gravação de alarmes falsos. Objetos que se movam devagar demais são eliminados, bem como objetos que persistam por um tempo

excessivo. Assim se eliminam satélites e aviões. Objetos mais escuros do que o fundo do céu também são eliminados, evitando-se a gravação de pássaros e insetos. A sensibilidade do *software* é totalmente regulável, e é auto-ajustável de acordo com o nível de ruído do fundo de céu. O funcionamento do *software* é absolutamente automático, e o sistema completo pode permanecer por diversas semanas sem intervenção humana. O fator limitante para a autonomia do sistema é a memória disponível no disco rígido do computador, uma vez que os vídeos de meteoros tipicamente possuem cerca de 40 megabytes de tamanho cada, pois são gravados em formato AVI sem compressão. Caso o computador esteja conectado à Internet, é possível operar o *software* remotamente por tempo indeterminado.

3.4.2. Redução de dados

Uma vez que se tenha diversos vídeos de meteoros gravados, após um período de observação, é necessário fazer a redução de dados, isto é, extrair dos vídeos informações como ascensão reta e declinação de cada ponto da trajetória do meteoro, sua magnitude máxima, velocidade angular e etc. Para isto, é utilizado o *software* “UFOanalyser” [8]. Esse *software* é capaz de alinhar a imagem do vídeo com um mapa do céu, correlacionando as estrelas visíveis no vídeo com estrelas catalogadas. Assim, são determinadas as coordenadas de cada ponto da trajetória do meteoro. Ao se comparar o brilho do meteoro com o brilho das estrelas de referência, a magnitude do meteoro também pode ser estimada, embora para meteoros mais brilhantes esta estimativa seja grosseira.

A trajetória de um meteoro, quando vista no vídeo, é um arco circular. O *software* “UFOanalyser” é capaz de plotar a trajetória dos meteoros em uma projeção gnomônica do céu. Nesse tipo de projeção, as trajetórias dos meteoros são linhas retas. Ao se observar uma chuva de meteoros, nota-se que todas essas linhas retas parecem se originar de uma mesma área do céu: O radiante daquela chuva específica. O *software* “UFOanalyser” determina se cada meteoro analisado é

proveniente de uma determinada chuva ou se é esporádico.

Um terceiro *software*, “UFOorbit” [8], correlaciona dados obtidos por diversas estações diferentes, buscando meteoros que tenham sido detectados simultaneamente por mais de uma estação. Uma vez que tais meteoros sejam encontrados, “UFOorbit” é capaz de calcular a órbita original do meteoróide. Outras informações interessantes, como por exemplo a velocidade de entrada do meteoróide na atmosfera terrestre, também são calculados. Esses dados são fundamentais caso se deseje reconstruir a trajetória do meteoro através da atmosfera, com a intenção de recuperar um possível meteorito.

Um outro *software* está sendo desenvolvido por nós especialmente para este projeto. Este *software* plota histogramas da atividade diária dos meteoros, e realiza algumas análises estatísticas dos meteoros observados, como por exemplo, distribuições estatísticas de magnitudes.

4. Resultados Obtidos

4.1. Resultados obtidos com uma câmera

Uma imagem (obtida através do empilhamento dos quadros do vídeo) típica da detecção de um meteoro pode ser vista na figura 5. O meteoro é o traço no canto superior direito. É possível notar a constelação de Órion nascendo sob o meteoro, à direita. Essa imagem representa o estado do dado bruto gravado pela câmera, sem nenhum tipo de redução.



figura 5: Detecção típica de um meteoro

4.1.1. Determinação de riantes

Após a redução de dados, toda a informação possível é extraída do vídeo. Informações como ascensão reta e declinação de cada ponto da trajetória do meteoro, sua magnitude máxima, velocidade angular e etc são salvas em um arquivo csv (*comma separated values*). A partir destas informações é possível reproduzir a trajetória do meteoro em uma carta em projeção gnomônica, o que permite a fácil visualização dos riantes de chuvas de meteoros. Na figura 6 pode-se ver um exemplo de carta gnomônica, na qual estão mostrados 45 meteoros pertencentes à chuva de meteoros dos Delta Aquarídeos Austrais. Nesta figura, a trajetória dos meteoros no céu aparece em vermelho, e o prolongamento dessa trajetória está mostrado em verde. Note como todos os meteoros parecem divergir do radiante.

Esse tipo de análise permite, através da observação de um grande número de meteoros, a descoberta de novos riantes de chuvas desconhecidas. Além disso, existem variações no radiante de cada chuva de ano para ano, e é interessante acompanhar essa variação. Para algumas chuvas que se prolongam por muitos dias, como os Delta Aquarídeos Austrais, a posição do radiante varia ao longo dos dias de observação, o que pode ser notado pela aparência alongada que o mesmo apresenta na figura 6. É interessante determinar a posição precisa do radiante a cada noite.

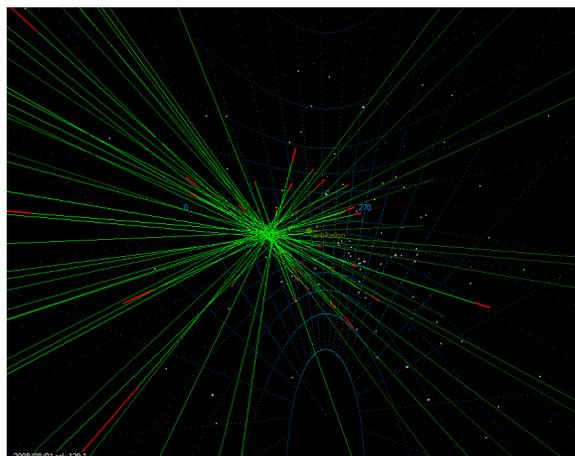


figura 6: Carta gnomônica - Delta Aquarídeos Austrais

4.1.2. Registro de atividade meteorítica

Uma vez que tenham sido gerados os arquivos contendo os dados de um grande número de meteoros, é possível plotar a atividade meteorítica ao longo dos meses, como se vê na figura 7. As diferentes cores denotam diferentes chuvas de meteoros. Azul escuro representa meteoros esporádicos. É possível notar diversas chuvas principais, como os Eta aquarídeos, no início de maio (em azul), e os Delta Aquarídeos Austrais (em verde) de julho a agosto. Noites sem atividade meteorítica aparecem em branco, e são em geral noites nubladas.

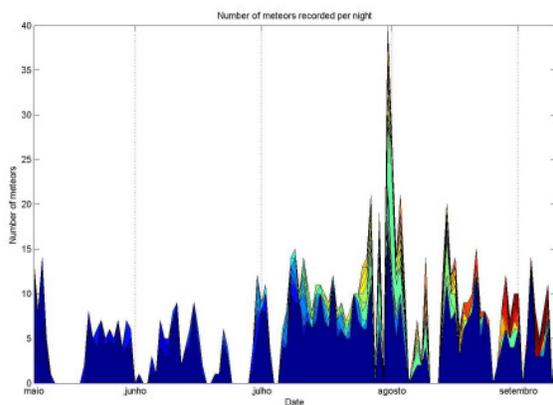


figura 7: Atividade meteorítica

É possível notar que a atividade meteorítica vai gradualmente aumentando ao longo dos meses. Isso se deve a dois fatores: Primeiramente, conforme o sistema de detecção foi utilizado, suas características foram conhecidas e pequenos *bugs* foram resolvidos, a sua sensibilidade foi sendo gradualmente aumentada. Além disso, a atividade meteorítica de fato apresenta variações, e um aumento como o que foi observado era esperado. A atividade meteorítica é mínima em abril e maio, e atinge seu máximo seis meses depois. Em agosto e setembro o número de detecções diminuiu, devido ao maior número de noites nubladas ou com névoa.

Também é possível descobrir novas chuvas de meteoros a partir deste tipo de gráfico. Para isso, basta verificar se existem picos de atividade de meteoros sem radiante conhecido. Esses picos de “esporádicos”, caso se verifique que provêm de uma mesma região do céu, serão forte evidência de uma nova chuva.

4.1.3. Distribuição de magnitudes

De forma a caracterizar melhor o funcionamento da câmera, foi plotado um histograma mostrando a distribuição das magnitudes dos meteoros detectados, como se vê na figura 8. O objetivo disso era determinar a maior magnitude que seria detectada.

Nota-se que a câmera apresenta boa capacidade de detecção para magnitudes inferiores a -0.5 e que, acima deste valor, a capacidade de detecção cai abruptamente, sendo que a câmera não detectou meteoros menos brilhantes do que magnitude zero.

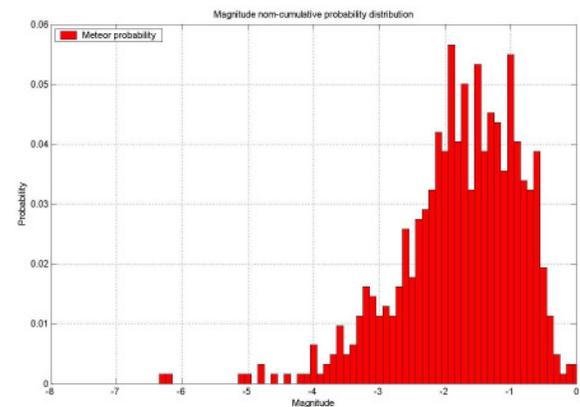


figura 8: Distribuição de magnitudes

A escassez de meteoros mais brilhantes se deve a raridade desses meteoros, e não ao sistema de detecção. A magnitude de um meteoro é determinada essencialmente por dois parâmetros: A massa do meteoróide e sua velocidade. A composição do meteoróide não é um fator relevante para a magnitude. Um meteoróide de 200mm de diâmetro, viajando a velocidades típicas, produzirá um meteoro de magnitude -8 , e será capaz de atingir o solo na forma de um meteorito [3]. A partir das informações coletadas sobre a magnitude dos meteoros observados, foi construído um gráfico de probabilidades cumulativas, como mostra a figura 9, visando estabelecer a probabilidade de detecção de uma queda de meteorito. Neste gráfico, é mostrada, no eixo vertical, a probabilidade de se observar um meteoro mais brilhante do que determinada magnitude (mostrada no eixo horizontal).

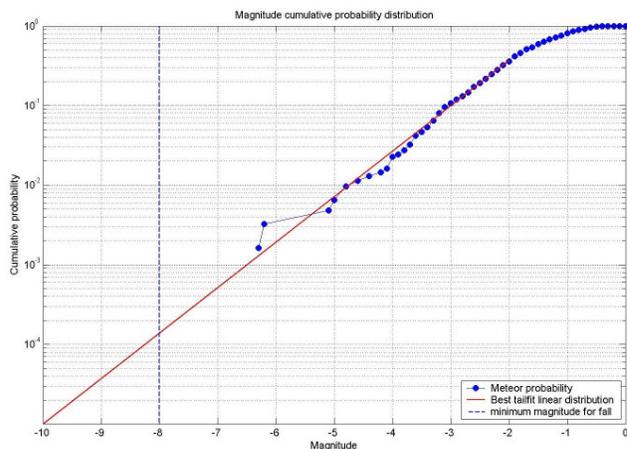


figura 9: Distribuição cumulativa de magnitudes

Cada meteoro observado é mostrado como um círculo, e é possível extrapolar a curva de probabilidades cumulativas até a magnitude desejada. Isso fornece, para meteoros de magnitude inferior a -8, uma probabilidade estimada de 10^{-4} . Para meteoros de magnitude inferior a -10, a probabilidade é da ordem de 10^{-5} . Como se pode notar, a queda de meteoritos é um evento raro, sendo que uma queda ocorre cada 10.000 meteoros observados, em uma hipótese otimista. O uso de uma ampla rede de observação aumenta em muito as chances de se recuperar um meteorito.

4.2. Resultados esperados para o futuro

Todos os resultados descritos no item 4.1 foram obtidos apenas com uma câmera. Ao se cruzar as observações de diversas câmeras, é possível realizar análises interessantes, a partir da triangulação dos meteoros.

Os exemplos de resultados mostrados nos itens a seguir não foram obtidos por esse projeto, uma vez que ainda não foi instalada uma segunda câmera. O objetivo de mostrá-los é ilustrar o tipo de pesquisa que se espera realizar no futuro.

4.2.1. Determinação de órbitas de meteoróides

Ao se triangular as observações de um mesmo meteoro feitas por estações de observação distintas, é possível determinar a órbita que o meteoróide descrevia antes de seu impacto com a atmosfera terrestre, como ilustra a figura 10, retirada do *website* do software “UFOorbit” [8].

Com isso, é possível estimar se o meteoróide era de origem cometária ou asteroidal e, mais especificamente, de que família de asteróides ou de que cometa ele proveio.

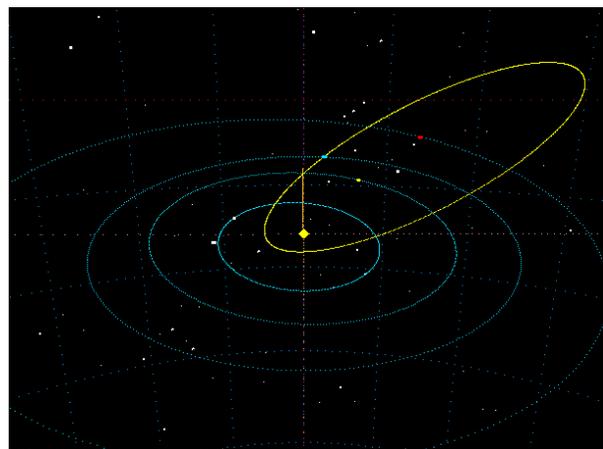


figura 10: Órbita de meteoróide

Além disso, através das informações sobre a velocidade e direção em que o meteoro viajava, é possível reconstruir sua trajetória através da atmosfera terrestre, visando a recuperação de meteoritos. Essa não é uma tarefa simples, uma vez que conforme o meteoro desacelera efeitos aerodinâmicos tornam-se relevantes e alteram significativamente sua trajetória, desviando-a de uma linha reta. Assim, modelos aerodinâmicos da interação do meteoro com a atmosfera são necessários para que se obtenha uma estimativa do local da queda. Mesmo assim, a precisão da localização do local de impacto de um meteoro previsto por esses modelos não é inferior a um Km.

Essa imprecisão na localização dos impactos torna a recuperação de meteoritos muito difícil. Até hoje, todas as redes de observação de meteoros realizaram mais de 50 expedições de buscas de meteoritos após a observação de bólidos, mas recuperaram apenas 3 meteoritos [1].

4.2.2. Determinação de radiantes individuais

Ao se triangular a observação de um mesmo meteoro feita por diversas estações, é possível determinar o seu radiante individualmente, ou seja, a direção exata, em ascensão reta e declinação, em que ele penetrou na atmosfera. Isso é possível, pois a direção em que o meteoróide penetra na atmosfera terrestre pode ser facilmente calculada a partir dos parâmetros orbitais do meteoróide.

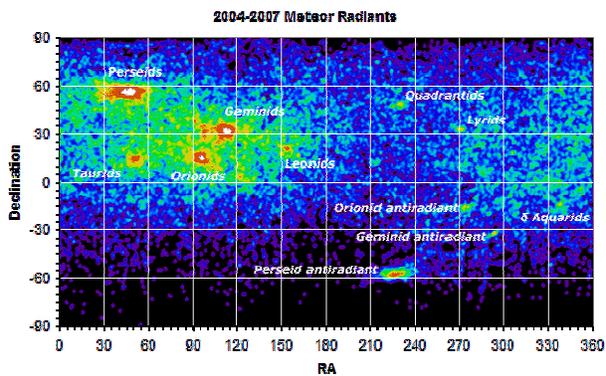


figura 11: Radianes de meteoros

Essa capacidade permite uma análise bastante útil: Ao se plotar os radianes individuais de um grande número de meteoros em uma carta celeste, pode-se ver onde há uma região com grande concentração de radianes. Isso indica que a região em questão é um radiante de uma chuva de meteoros. Assim, esse tipo de carta, exemplificada na figura 11, retirada do *website* do observatório “*Cloudbait*” [9], fornece uma maneira bastante direta de se encontrar novas chuvas de meteoros. Note, nessa carta, a pequena quantidade de observações abaixo de -30° de declinação, e a virtual ausência de observações mais ao sul do que 60° de declinação, o que demonstra a necessidade de observações dos céus austrais. Nessa carta, a posição dos radianes de diversas chuvas fica absolutamente evidente, e seria fácil identificar a atividade de alguma chuva ainda desconhecida. Evidentemente, para a construção de uma carta como esta é necessária uma enorme quantidade de observações de meteoros, e todas elas devem ser realizadas por pelo menos duas câmeras simultaneamente. Assim, esse tipo de resultado apenas será obtido quando uma ampla rede, com grande número de câmeras, estiver operacional de forma contínua por alguns anos, no mínimo.

5. Comentários e Conclusões

Este é o relato de um trabalho em andamento. Por enquanto, há apenas uma câmera em operação, que logo será seguida por mais duas. Para que este trabalho atinja todos os seus objetivos, porém, é necessário que um grande número de câmeras seja instalado, de forma a cobrir uma grande área. É muito importante que os campos de visão das câmeras se sobreponham, de forma a possibilitar a observação de meteoros de forma simultânea por diversas câmeras. Assim, a construção de uma rede de observação de meteoros é necessariamente um trabalho de uma grande equipe de observadores dedicados.

A astronomia amadora vive, no Brasil, um momento raro. Há um grande número de observadores em todo o território nacional, e hoje há uma grande facilidade em conectar esses amadores. Para a construção de uma rede nacional de observação de meteoros, será necessária a ajuda desse grupo, de forma coordenada. Para que essa rede possa funcionar, será necessário que todos esses amadores compartilhem as suas observações de forma eficiente e transparente.

Gostaríamos, por fim, de convidar a todos os astrônomos, amadores ou profissionais, a montar câmeras para observação de meteoros e a participar desta rede.

6. Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer a Profa. Dra. Maria Elizabeth Zucolotto, pela inspiração, colaboração e incentivo.

7. Referências Bibliográficas

- [1] Lindsey, N.J. (2002), “**Meteor Tracking Networks: Past, Present and Future**”, *Space Studies 520*, <http://www.rcktmom.com/njlworks/MeteorTrackingPpr.html>
- [2] Molau, S. (2001), “**The AKM Video Meteor Network**”, Proc. Meteoroids 2001 convention, Kiruna, Suécia, <http://adsabs.harvard.edu/abs/2001ESASP.495..315M>
- [3] Ceplecha, Z. et al (1998), “**Meteor Phenomena and Bodies**”, *Space Science Reviews 84*, <http://www.springerlink.com/content/r2602605vm031517/>
- [4] Jenniskens, P. (2006), “**Meteor showers and their parent comets**”, Cambridge University Press
- [5] Trigo-Rodriguez, J.M., (2004), “**2002 Leonid storm fluxes and related orbital elements**”, Elsevier, <http://www.spmn.uji.es/ESP/articulo/leonid02.pdf>
- [6] Trigo-Rodriguez, J.M., (2006), “**The Villalbetto de La Peña meteorite fall: Bolide description, recovery and classification**”, 67th Annual Meteoritical Society Meeting
- [7] Buchheim, R. K., (2007), “**The Sky Is Your Laboratory: Advanced Astronomy Projects for Amateurs**”, Springer Books
- [8] Website dos softwares “UFOcapture”, “UFOanalyser” e “UFOorbit”: http://sonotaco.com/e_index.html
- [9] Website do Observatório “Cloudbait” <http://www.cloudbait.com/science/showers.html>

ANEXO I. Custos do projeto

Os custos do material para a construção de uma câmera estão detalhados na Tabela 1. O custo total para a construção de uma câmera foi de aproximadamente R\$1600,00 incluindo gastos com envio de material do exterior e impostos de importação. Descontando-se os custos de envio e tributação de importação, o custo foi de aproximadamente R\$900,00.

Tabela 1: Custos do projeto

<i>Relação de custos</i>	<i>R\$</i>
Câmera	167.38
Custos de envio	128.17
Impostos de importação	169.00
Lente olho de peixe	308.39
Custos de envio	106.95
Impostos de importação	295.00
Domo de acrílico	20.00
Aquecedor	50.00
Placa de aquisição	130.00
Fonte CC	20.00
Cabos comuns	25.00
Cabo blindado	100.00
Conectores de vídeo	10.00
Cooler de CPU	10.00
Gel de sílica	14.00
Miscelânea	50.00
Total parcial	904.77
Custos de envio	235.12
Impostos	464.00
Total	1603.89