

MPEA
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE ASTRONOMIA

MONOGRAFIA
ATIVIDADES DIDÁTICAS OBSERVACIONAIS COM
TELESCÓPIOS OPERADOS REMOTAMENTE

IAG - USP
ALUNO: MESSIAS FIDÊNCIO NETO
ORIENTADOR: PROF. DR. RAMACHRISNA TEIXEIRA
SÃO PAULO – 2017

MPEA
PROFESSIONAL MASTER IN ASTRONOMY TEACHING

MONOGRAPH
OBSERVATIONAL TEACHING ACTIVITIES WITH
TELESCOPES REMOTELY OPERATED

IAG - USP
STUDENT: MESSIAS FIDÊNCIO NETO
ADVISOR: PROF. DR. RAMACHRISNA TEIXEIRA
SÃO PAULO – 2017

MESSIAS FIDÊNCIO NETO

MONOGRAFIA
ATIVIDADES DIDÁTICAS OBSERVACIONAIS COM
TELESCÓPIOS OPERADOS REMOTAMENTE

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Astronomia, da
Universidade de São Paulo, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em
Ensino.

Área: Astronomia.

Orientador: Professor Dr. Ramachrisna Teixeira

Versão Corrigida. O original encontra-se disponível na Unidade.

SÃO PAULO

2017

DEDICATÓRIA

A todos aqueles que trabalham desvendando os mistérios do Universo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos aqueles que de alguma forma ajudaram e contribuíram ao longo deste trabalho.

Ao meu orientador prof. Dr. Ramachrisna Teixeira, pela paciência e orientação.

A prof^a. Dr^a. Vera Jatenco Silva Pereira pela ajuda em muitos detalhes.

Aos professores do MPEA.

A minha família: esposa Cleuza e filha Fernanda.

A Stephan Hermenegildo e a Michael Silva pela ajuda com o programa SalsaJ.

A Raniere Maciel de Menezes pela ajuda nos programas SAOImage DS9 e GIMP.

As coordenadoras pedagógicas Silvia Helena Ramos Pereira e Rosana L. P. Bertasso da escola Cyro de Barros Resende em Valinhos.

A coordenadora pedagógica Cássia D. Collistochi da escola Príncipe da Paz em Vinhedo.

Aos alunos do MPEA que estudamos juntos ou trocamos experiências, que sempre foram solícitos nas diversas atividades do curso: Rodrigo de Souza, Ludmila Bolina, Kizzy Resende, Marcos Pedroso, Júlio Cezar, Laércio Araújo, Elisa Arizono, Marília Nunes, Paulo Ferreira, Danilo Rodrigues, Alexsandro Sunaga, Tasso Napoleão, Lívia Aceto, João Paulo e Renata Andrade.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	18
CAPÍTULO I.....	21
I.1 - Telescópios na Escola (TnE) e Telescópio Argus.....	21
CAPÍTULO II:.....	26
II.1.1 - Alvos.....	26
II.1.2 - Estrelas variáveis de curto período.....	28
II.1.3 - Estrelas variáveis de médio período.....	29
II.1.4 - Estrelas variáveis de longo período.....	31
II.1.5 - A cor das estrelas.....	33
II.1.6 - Objetos rápidos.....	34
CAPÍTULO III.....	37
III.1 - A natureza da luz.....	37
III.2 - Filtros.....	39
III.3 - Atividade Cor das Estrelas.....	41
CAPÍTULO IV.....	45
IV.1.1 - Estrelas Variáveis.....	45
IV.1.2 - Variabilidade.....	45
IV.1.3 - Tipos de estrelas variáveis.....	46
IV.1.4 - As cefeidas: relação período luminosidade.....	50
IV.2.1 - Atividade estrelas variáveis.....	51
IV.2.2 - SX Phe curto período.....	54
IV.2.3 - T Vul médio período.....	61
IV.2.4 - Mira Cetus longo período.....	66
IV.3 - Conclusões sobre a atividade Estrelas Variáveis.....	73
CAPÍTULO V.....	74
V.1.1 - Objetos Rápidos e movimento aparente dos astros.....	74
V.1.2 - Movimento próprio.....	74
V.2 - Objetivos.....	76
V.3.1 - Atividade: Objetos Rápidos.....	77
V.3.2 - Estimando o deslocamento angular de Ceres.....	79
V.3.3 - Ceres: estratégia por estrela de referência.....	81

V.3.4 - Operações detalhadas para o planeta anão Ceres.....	82
V.3.5 - Ceres: estratégia por superposição das imagens.....	82
V.4.1 - Estimando movimento próprio da estrela de Barnard por estrela de referência	85
V.4.2 - Estrela de Barnard: Estratégia por estrela de referência.....	86
V.5 - Cometas.....	87
CAPÍTULO VI.....	89
VI.1 - As atividades propostas às escolas.....	89
CAPÍTULO VII.....	95
VII.1 - Esboço do Caderno de Atividades.....	95
CAPÍTULO VIII.....	96
VIII.1 - Discussões finais.....	96
ANEXOS I - TUTORIAL: SalsaJ versão 2.3.....	98
A.1 - O programa.....	99
A.2 - Medida do fluxo.....	99
A.3 - Medida da posição.....	100
A.4 - Construção de uma imagem colorida.....	101
A.5 - Animações.....	102
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	103

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I: Telescópios na Escola (TnE) e Telescópio Argus.....	21
Figura I.1 –À esquerda Telescópio Argus do projeto TnE instalado no Observatório Abrahão de Moraes em Valinhos, à direita plataforma de controle Paramount ME....	22
Figura I.2: Câmera CCD do Argus e “chip” de uma câmera CCD genérica.....	23
Figura I.3: Esquema de telescópio com configuração Schmidt-Cassegrain.....	24
CAPÍTULO III: A natureza da luz.....	37
Figura III.1: Espectro eletromagnético (Carvalho T. - InfoEscola).....	38
Figura III.2: Representação esquemática filtro ótico vermelho visto de perfil.....	39
Figura III.3: Gráfico da Lei de Wien, intensidade da radiação x comprimento de onda correspondente a máxima emissão.....	40
Figura III.4: Imagens de Antares obtidas com filtro B à esquerda e filtro R à direita, ambas com 0,1s de exposição.....	44
CAPÍTULO IV - Estrelas Variáveis.....	45
Figura IV.1 - Relação período luminosidade para variáveis cefeidas e RR Lyrae (Chaisson and McMillan, 1999).....	50
Figura IV.2 - Imagem do campo da cefeida SX Phe. Os círculos 1, 2 e 3 correspondem as estrelas adotadas como referência.....	55
Figura IV.3 – SX Phe: fluxo x tempo (min.).....	58
Figura IV.4 – Referência 1: fluxo x tempo (min.).....	58
Figura IV.5 – Referência 2: fluxo x tempo (min.).....	59
Figura IV.6 – Referência 3: fluxo x tempo (min.).....	59
Figura IV.7 – Magnitude de SX Phe obtida com a estrela de referência 1 x tempo (min.).....	59
Figura IV.8 - Magnitude de SX Phe obtida com a estrela de referência 2 x tempo (min.).....	60
Figura IV.9 - Magnitude de SX Phe obtida com a estrela de referência 3 x tempo (min.).....	60
Figura IV.10 - Magnitude de SX Phe obtida com cada estrela de referência x tempo (min.).....	60
Figura IV.11 - Magnitude média de SX Phe obtida a partir das três estrelas de referência x tempo (min.).....	61

Figura IV.12 - Imagem do campo da variável de médio período T Vul. Os círculos 1, 2 e 3 correspondem as estrelas de referência.....	61
Figura IV.13 - T Vul: fluxo x tempo (dias).....	63
Figura IV.14 - Referência 1: fluxo x tempo (dias).....	64
Figura IV.15 - Referência 2: fluxo x tempo (dias).....	64
Figura IV.16 - Referência 3: fluxo x tempo (dias).....	64
Figura IV.17 - Magnitude de T Vul obtida com a estrela de referência 1 x tempo (dias).....	65
Figura IV.18 - Magnitude de T Vul obtida com a estrela de referência 2 x tempo (dias).....	65
Figura IV.19 - Magnitude de T Vul obtida com a estrela de referência 3 x tempo (dias).....	65
Figura IV.20 - Magnitude de T Vul obtida com cada estrela de referência x tempo (dias).....	66
Figura IV.21 - Magnitude média de T Vul obtida das três estrelas de referência x tempo (dias).....	66
Figura IV.22 - Imagem do campo da variável de longo período Mira Cetus. Os círculos 1, 2 e 3 correspondem as estrelas de referência.....	67
Figura IV.23 - Mira Cetus: fluxo x tempo (dias).....	70
Figura IV.24 - Referência 1: fluxo x tempo (dias).....	70
Figura IV.25 - Referência 2: fluxo x tempo (dias).....	70
Figura IV.26 - Referência 3: fluxo x tempo (dias).....	71
Figura IV.27 - Magnitude de Mira Cetus obtida com a estrela de referência 1 x tempo (dias).....	71
Figura IV.28 - Magnitude de Mira Cetus obtida com a estrela de referência 2 x tempo (dias).....	71
Figura IV.29 - Magnitude de Mira Cetus obtida com a estrela de referência 3 x tempo (dias).....	72
Figura IV.30 - Magnitude de Mira Cetus obtida com cada estrela de referência x tempo (dias).....	72
Figura IV.31 - Magnitude média de Mira Cetus obtida a partir das três estrelas de referência x tempo (dias).....	72
CAPÍTULO V - Objetos rápidos e movimento aparente dos astros.....	74
Figura V.1 - Deslocamento angular $\Delta\theta$ na esfera celeste devido ao movimento espacial	

de uma estrela, seguindo um grande círculo.....	75
Figura V.2 - Ceres observado em instantes separados por aproximadamente 3h.....	78
Figura V.3 - Campos contendo a estrela de Barnard.....	78
Figura V.4 - Imagens brutas de Ceres sem a mesma orientação, obtidas em instantes separados por aproximadamente 3 h.....	80
Figura V.5 - Imagem (esquerda) rotacionada visando dar à mesma orientação.....	80
Figura V.6 - Comandos para alinhamento das imagens.....	83
Figura V.7 - Comando do SalsaJ que permite a medida da distância entre as duas imagens de Ceres.....	84
Figura V.8 - Resultado da superposição dos dois campos observados com Ceres deslocado devido ao seu movimento.....	84
Figura V.9 - Campos contendo a estrela de Barnard (indicada pela seta amarela) e a estrela de referência (seta branca).....	85
Figura V.10 - Observações do cometa Machholz C/2004 Q2, separadas por aproximadamente 11 minutos.....	87
CAPÍTULO VI – As atividades propostas para as escolas.....	89
Figura VI.1 - Gráfico obtido por um aluno e valores de período e amplitude estimados.....	92
Figura VI.2 - Distribuição dos períodos estimados pelos alunos do 3º A do Ensino Médio.....	93
Figura VI.3 - Distribuição das amplitudes estimadas pelos alunos do 3º A do Ensino Médio.....	93
Figura VI.4 - Distribuição dos períodos estimados pelos alunos do 3º B do Ensino Médio.....	93
Figura VI.5 - Distribuição das amplitudes estimadas pelos alunos do 3º B do Ensino Médio.....	94
ANEXO I – TUTORIAL - SalsaJ versão 2.3.....	98
Figura AI.1 – Medindo a posição do planeta anão Ceres.....	100
Figura AI.2 – Obtenção da imagem colorida da nebulosa M8 a partir da superposição de três imagens distintas observadas com os filtros B, G e R.....	101

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II - Lista dos alvos.....	26
Tabela II.1 - Estrelas variáveis de curto período propostas e observadas.....	28
Tabela II. 2 - Estrelas variáveis de médio período proposta e observadas.....	30
Tabela II.3 - Estrelas variáveis de longo período propostas e observadas.....	32
Tabela II.4 - Estrelas selecionadas para a atividade: Cor das Estrelas.....	34
Tabela II.5 - Lista de alvos do Sistema Solar para a atividade: Objetos Rápidos.....	35
Tabela II.6 - Estrelas de grandes movimentos próprios selecionadas para a atividade: Objetos Rápidos.....	36
CAPÍTULO III – A natureza da luz.....	37
Tabela III.1 - Temperatura atmosférica estelar em função de sua cor.....	40
Tabela III.2 - Filtros U, B, G, R e I utilizados no Telescópio Argus.....	42
CAPÍTULO IV – Estrelas Variáveis.....	45
Tabela IV.1 - Dados observacionais medidos para as estrelas SX Phe e referências...56	
Tabela IV. 2 - Magnitudes do alvo relativas a cada estrela de referência e magnitude média.....	57
Tabela IV.3 - Dados observacionais medidos para as estrelas T Vul e referências.....	62
Tabela IV.4 - Magnitudes de T Vul relativas a cada estrela de referência e magnitude média.....	62
Tabela IV.5 - Dados observacionais medidos para estrela Mira Cetus e referências...68	
Tabela IV.6 - Magnitudes de Mira Cetus relativas a cada estrela de referência e magnitude média.....	69
CAPÍTULO VI - As atividades propostas às escolas.....	89
Tabela VI.1 - Dados do brilho (magnitude aparente x 100) da variável SX Phe e respectivos instantes utilizados no Ensino Fundamental.....	90
Tabela VI.2 - Dados da magnitude (<i>magnitude aparente</i>) da variável SX Phe e respectivos instantes utilizados no Ensino Médio.	91

RESUMO

A utilização de tecnologias modernas na educação tem sido altamente recomendada por muitos autores e mesmo na Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB) e nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs). Os telescópios operáveis remotamente se encaixam perfeitamente nessa visão e trazem a Astronomia para o ambiente escolar de uma forma diferente da usual, introduzindo a observação de maneira análoga àquela praticada pelos cientistas e abrindo um leque muito grande de possibilidades educacionais.

É notório o crescente interesse e procura por observações remotas do céu com telescópios, por exemplo, nestes 12 anos de atendimento do Telescópio Argus (TnE) em Valinhos. Essas podem ainda, aumentar e se tornar mais atraentes e eficientes, desde que as circunstâncias de observação e desenvolvimento das atividades sejam mais favoráveis e propícias.

Este trabalho de mestrado surgiu nesse contexto e visa suprir uma das deficiências que pudemos sentir durante nosso trabalho no projeto Telescópios na Escola (TnE). Buscamos aqui, propor atividades observacionais tanto astrométricas quanto fotométricas que permitam ao mesmo tempo, ensinar Astronomia e Ciências de maneira geral, alterar a rotina de sala de aula, atrair a atenção e o interesse dos alunos para o uso de uma nova tecnologia, ensinar a manipular e explorar dados observacionais e sentir como a Astronomia vem sendo construída há muitos séculos.

Esse trabalho consiste também na execução detalhada das atividades propostas, de forma a auxiliar professores e alunos a suplantarem as dificuldades inerentes ao trabalho observacional além daquelas associadas à falta de experiência. As observações necessárias foram realizadas com o telescópio Argus do Observatório Abrahão de Moraes, IAG-USP, Valinhos, enquanto que no tratamento das imagens utilizamos o programa SalsaJ disponível gratuitamente na Internet.

Com base nessas observações e nos resultados obtidos, concebemos um esboço de um Caderno de Atividades, esboço apresentado no capítulo VII desta dissertação, que deverá servir tanto como um futuro guia na escolha de atividades e de objetos alvos quanto na sua execução. Além disso, poderá se tornar um ponto de partida para a compreensão de muitos conceitos básicos de Astronomia envolvidos com as atividades.

A seguir apresentamos em detalhes a contextualização e as diversas etapas deste trabalho.

Palavras-chave: telescópios, ensino de astronomia, fotometria, astrometria, tratamento de imagens.

ABSTRACT

The use of modern technology in education has been highly recommended by many authors and even the Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB) and the Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs). Telescopes operable remotely fit perfectly in this vision and still bring astronomy to the school environment.

It is remarkable the growing interest and search for remote observations of the sky using telescope. They can increase and become more attractive since the observational circumstances and development of activities are more favorable and propitious.

This work appeared in this context and aims to fulfill one of the shortcomings that we feel from our work on Telescópios nas Escolas (TnE). We seek here to propose observational astrometric and photometric activities to enable teach astronomy and general science, and at the same time, change the classroom routine, also, attract the attention and interest of students to the use of a new technology, teaching manipulate and explore observational data, and feel how this science has been built for centuries.

This work also consists of the detailed implementation of the proposed activities in order to assist teachers and students to overcome the difficulties inherent in observational work, also those associated to the lack of experience. The observations required were performed with Argus Telescope Observatory Abrahão de Moraes, IAG-USP, Valinhos, while to the treatment of the images we use the available SalsaJ program free on the Internet.

Based on these observations and results, we conceived an “Caderno de Atividades” (Activity Notebook), outlined in the Chapter VIII of this dissertation, which should serve as a guide in the choice of activities and objects as well in the development of the activities. It can be a starting point in the understanding of the basic concepts involved with the activities.

The following we present in detail the contextualization and the several stages of this work.

Keywords: telescopes, teaching astronomy, photometry, astrometry, image treatment.

INTRODUÇÃO

A Astronomia é uma ciência fascinante como tantas outras, que desperta a curiosidade e a nosso ver, pode e deve ser usada para incentivar o interesse pelo seu estudo em jovens estudantes.

O contato de crianças e jovens em idade escolar, e também, do público em geral, com a Astronomia é intenso. Os currículos escolares contemplam o ensino de conceitos básicos desta ciência. No dia a dia a Astronomia está muito presente em jornais, revistas, televisão, internet, música, poesia, etc., atingindo assim um público muito mais amplo.

Naturalmente, tanto o espaço que ocupa na mídia quanto a presença desse tema nos currículos escolares não deixam de ser um indicativo claro da grande atração que exerce e de sua grande importância como ciência. Respondendo à grande demanda existente encontramos inúmeras formas de apresentar e ensinar conceitos de Astronomia: aulas teóricas tradicionais, trabalhos práticos, softwares, planetários, vídeos, desenhos animados, imagens, observações a olho nu, observações através de telescópios, textos variados para toda faixa etária, e muito mais.

Da nossa experiência com atendimento ao público no Observatório Abrahão de Moraes em Valinhos, onde o fluxo total é de aproximadamente 5.400 visitantes, sendo 1.850 nas visitas escolares e na Noite com as Estrelas 3.550 visitantes, todos estes valores são anuais. Fica muito evidente o grande interesse, principalmente dos mais jovens, pela observação. Esse nosso sentimento corresponde ao de muitos outros colegas, mesmo de outras áreas, que com frequência sinalizam de várias formas a necessidade, o interesse e o sucesso de atividades práticas.

A possibilidade de observações remotas do céu se encaixam perfeitamente nesse contexto o que torna o projeto Telescópios na Escola (www.telescopiosnaescola.pro.br), pioneiro no Brasil, uma excelente oportunidade de ensino de Astronomia. Esse projeto visa disponibilizar telescópios, sobretudo para o público escolar, para que possam em tempo real realizar observações a partir de suas escolas, coletar e explorar imagens astronômicas. São sete telescópios espalhados pelo Brasil sendo que um deles, o telescópio Argus, instalado e funcionando regularmente desde 2004, no Observatório Abrahão de Moraes em Valinhos.

Embora a realização das observações remotas no âmbito desse projeto, não exija conhecimentos prévios de Astronomia o objetivo principal é exatamente ensinar Astronomia. Nesse sentido, são sugeridas uma série de atividades abordando vários aspectos observacionais e vários conceitos astronômicos. Essas atividades apresentam graus de dificuldades variados e

muitas delas, na prática, tornam-se mais difíceis ainda e como consequência, menos interessantes e quase nunca exploradas.

Esse trabalho de mestrado tem justamente o objetivo de realizar as diversas etapas de muitas dessas atividades de tal forma a pavimentar o caminho que o professor interessado irá percorrer com seus alunos. Trata-se de atividades fotométricas e astrométricas destinadas a diversas faixas etárias e níveis de escolaridade. Os alvos, as observações, o tratamento e a exploração dos dados foram aqui definidos.

Em resumo, o trabalho de mestrado teve como foco a realização, em todos os seus aspectos, de atividades que têm sido e poderão ser mais ainda desenvolvidas por escolas através de observações remotas. Pretendemos, após o julgamento dessa dissertação, com base nesse material, mas com linguagem mais adequada e focada no professor, elaborar um Caderno de Atividades que sirva de inspiração e de roteiro para que juntamente com seus alunos, possa aproveitar melhor o potencial que têm as observações remotas no ensino de Astronomia.

A necessidade de um Caderno de Atividades didáticas Observacionais com Telescópios Operados Remotamente surgiu como um desafio ao longo de 10 – 12 anos assistindo inúmeros professores que fizeram uso do telescópio Argus do programa Telescópios nas Escolas (TnE). Não se trata de um caderno propondo atividades, mas sim de um caderno com os vários passos para se realizar a observação, o tratamento, análise e exploração dos dados observacionais. O Caderno de Atividades em si, será concluído posteriormente ao julgamento dessa dissertação de mestrado e deverá conter além dos aspectos ligados às observações, conceitos básicos de Astronomia dando suporte teórico às atividades propostas. As diversas atividades aqui realizadas podem ser divididas em três classes: duas atividades fotométricas, cor e variabilidade e, outra, astrométrica, objetos rápidos.

No caso da atividade de cor observam-se estrelas de diferentes cores com diferentes filtros visando mostrar ao aluno que o brilho das estrelas varia dependendo do filtro utilizado e que estrelas mais brilhantes com um filtro podem se tornar menos brilhante com outro. Neste caso, as crianças irão aprender a associar a cor com a temperatura da atmosfera da estrela, ou de maneira mais geral, cor e temperatura.

Já as atividades voltadas para a variabilidade estelar consistem na observação e construção da curva de luz de estrelas variáveis com períodos e amplitudes diversos. Essas observações podem ser eventualmente, complementadas com dados coletados paralelamente pela equipe do Observatório. Aliás, é nossa intenção criar um Banco de Dados com as observações realizadas para o mestrado. Essa necessidade reside no fato de que, para a coleta de dados para traçar uma curva de luz, em geral precisa-se de uma disponibilidade de tempo

muito maior do que aquela que professores e alunos têm. Aqui, os alunos também compreenderão algumas das causas que provocam a variação de brilho e como esta pode ser utilizada por exemplo, na determinação de distâncias.

Finalmente, a atividade de astrometria visa a observação de objetos rápidos, astros do Sistema Solar e estrelas com grandes movimentos próprios, e eventual estimativa de seus movimentos no céu.

Os dados foram tratados com o programa SalsaJ versão 2.3. Da nossa experiência, entre outros, esse parece ser o programa mais adequado para ser utilizado por leigos. Buscamos tratar os dados da maneira mais artesanal possível tentando nos aproximar ao máximo da realidade dos usuários. Claro que com isso, muitas vezes acabamos perdendo em precisão. Em nosso caso, essas perdas, certamente, não representam prejuízos para a percepção e compreensão do fenômeno estudado.

Acreditamos que com esse detalhamento e realização completa das atividades poderemos ir além do que vem sendo realizado nesse momento no que diz respeito ao projeto Telescópios na Escola e também motivar mais ainda professores e alunos a observarem o céu.

Nos próximos capítulos apresentamos todo o trabalho realizado e resultados alcançados. No Capítulo I damos um panorama geral do projeto Telescópios na Escola (TnE) e telescópio Argus. Capítulo II contém basicamente informações sobre os alvos observados, aqui separados por atividades. Apresentamos no Capítulo III a natureza da luz, cor das estrelas e filtros, enquanto que no Capítulo IV a atividade sobre estrelas variáveis. Já no Capítulo V, mostramos a atividade astrométrica objetos rápidos. Capítulo VI é dedicado a atividade de campo, Capítulo VII é um esboço do Caderno de Atividades e o Capítulo VIII é dedicado as discussões finais. Finalmente o Anexo I é dedicado ao software SalsaJ.

CAPÍTULO I

I.1 - Telescópios na Escola (TnE) e Telescópio Argus

O projeto Telescópios na Escola (TnE) é um projeto educacional em ciências que aproveita a tecnologia disponível permitindo a observação do céu com telescópios que podem ser operados remotamente. Os telescópios operados remotamente são aqueles que permitem que o usuário controle parcialmente a distância, sendo necessário que mais alguém esteja no local (observatório) ajudando a usar o equipamento. Caso o usuário possa controlar totalmente à distância sem intervenção humana no observatório, então passa a ser telescópio robótico.

Esse projeto recebeu auxílio financeiro inicial da Fundação VITAE e visava a instalação de seis telescópios operáveis à distância, por todo o país. Maiores detalhes podem ser encontrados no site do projeto: www.telescopiosnaescola.pro.br. Atualmente existem sete telescópios operados remotamente, são eles:

- 1 - Observatório Abrahão de Moraes (IAG - USP) em Valinhos SP.
- 2 - Observatório Astronômico do INPE em São José dos Campos SP.
- 3 - Observatório do Valongo UFRJ, Rio de Janeiro RJ.
- 4 - Observatório Galactus UFRN, Natal RN.
- 5 - Observatório da UFSC, Florianópolis SC.
- 6 - Observatório Astronômico Didático Capitão Parobé do Colégio Militar de Porto Alegre RS.
- 7 - Observatório da Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa PR.

O projeto TnE tem como objetivo principal proporcionar aos interessados, sobretudo, professores e alunos, a possibilidade de realizar observações remotas, similares em conteúdo, àquelas realizadas por cientistas e posteriormente explorá-las nesse mesmo caminho. Esse aspecto do ensino de Astronomia é ainda muito pouco utilizado embora apresente um grande potencial de motivação e de abertura de horizontes uma vez que tal trabalho passa também por muitas outras áreas do conhecimento como Física, Geografia, História, Matemática, etc.

O estágio atual de funcionamento de cada um dos telescópios do projeto é bastante diverso e nem todos se encontram operacionais. O telescópio *Argus* instalado no Observatório Abrahão de Moraes (OAM) em Valinhos-SP (Figura I.1), tem funcionado regularmente, com

muitas dificuldades técnicas sobretudo no início, desde sua instalação em setembro de 2004. Foi, justamente, com esse telescópio, Argus, que desenvolvemos a parte observacional desse trabalho.

No caso específico do OAM o telescópio utilizado e descrito abaixo foi desde sua instalação em 2004, nomeado “Argus” e desde então tem mantido uma regularidade bastante razoável em seu funcionamento durante estes últimos 12 anos, de 2004 a 2016.

O telescópio Argus repousa sobre uma plataforma “inteligente” Paramount modelo ME, como destacado na figura I.1, que permite que o seu apontamento e como consequência o do telescópio, seja realizado de forma automática via computador com um excelente retorno em termos de precisão. Essa plataforma materializa uma montagem equatorial tipo alemã (com contrapeso) como mostrado na figura abaixo. Outro aspecto importante dessa montagem, principalmente do ponto de vista da preparação da observação, é que quando desligada memoriza o apontamento evitando uma nova calagem (calibração) a cada noite.



Figura I.1 –À esquerda Telescópio Argus do projeto TnE instalado no Observatório Abrahão de Moraes em Valinhos, à direita e plataforma de controle Paramount ME.

No plano focal do telescópio Argus encontra-se instalada uma câmera CCD (“*Charge-Coupled Device*”) SBIG ST-7XE. Trata-se de um detector eletrônico de luz contendo uma matriz de 765x510 elementos fotossensíveis, “pixels” quadrados com 9 μm de lado. O aspecto externo dessa câmera pode ser visto na figura I.2 a seguir. Nessa mesma figura, a direita, vê-se em detalhe aspectos do “chip” e da placa de controle de uma câmera CCD genérica. O “chip”

é o componente da câmera que contém os elementos fotossensíveis correntemente chamados “pixels”.

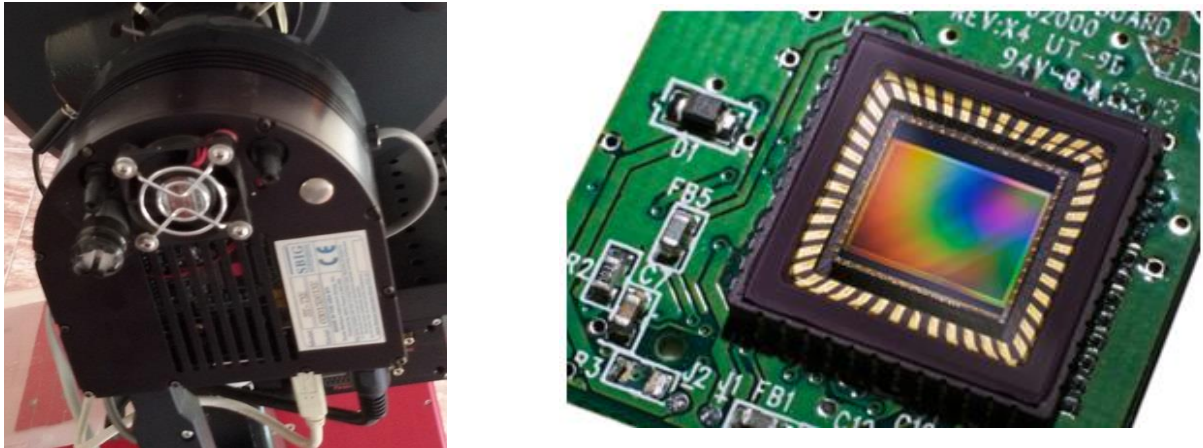


Figura I.2 – Câmera CCD do Argus e “chip” de uma câmera CCD genérica.

As câmeras CCD representam uma grande revolução nas observações astronômicas. Substituíram as placas fotográficas com um enorme ganho tanto pelo fato de disponibilizar os dados coletados já em forma numérica, prontos para a manipulação, quanto pela alta eficiência quântica, que representa o quanto da luz incidente é realmente aproveitada. Por exemplo, enquanto o olho humano aproveita somente 3% e a placa fotográfica um pouco mais, cerca de 4%, uma câmera CCD como essa do Argus, utiliza 60% dos fótons que recebe. Essa eficiência depende do comprimento de onda.

O Argus é um telescópio refletor do tipo Schmidt-Cassegrain, como representado na figura I.3 (foi adaptada, redesenhada a partir da figura extraída da página a seguir: https://en.wikipedia.org/wiki/Schmidt%E2%80%93Cassegrain_telescope#/media/File:Schmidt-Cassegrain-Telescope.svg), cuja configuração baseia-se em um espelho primário esférico côncavo que coleta a luz vinda do astro e a reflete para um espelho secundário hiperbólico convexo, que por sua vez, concentra a luz no plano focal do telescópio onde poderá encontrar o olho de um observador ou outro detector qualquer como uma câmera CCD. Para corrigir distorções óticas provocadas pela esfericidade do espelho primário utiliza-se ainda uma placa corretora na abertura do tubo (figura I.3). No caso do Argus, temos um telescópio de marca Celestron (C11) com um espelho primário (objetiva) de 280 mm de diâmetro e distância focal de 2800 mm. Essas características associadas àquelas da câmera CCD descrita anteriormente (SBIG ST-7XE contendo uma matriz de 765x510 pixels), resultam que cada pixel equivale a aproximadamente 1,6"/pixel, mais precisamente 1,585"/pixel, que é a escala de placa ou escala

espacial, fornecendo um campo de 13,5' por 20,0'. O valor 1,6"/pixel pode ser obtido medindo as distâncias angulares entre as estrelas de uma imagem, e depois podemos chegar facilmente no campo de visão. Basta multiplicarmos 1,6 pelo número de pixels da CCD, ou seja, 510x1,6"/pixel e 765 x 1,6"/pixel obtendo assim respectivamente um campo de visão de 13,5' por 20,3'.

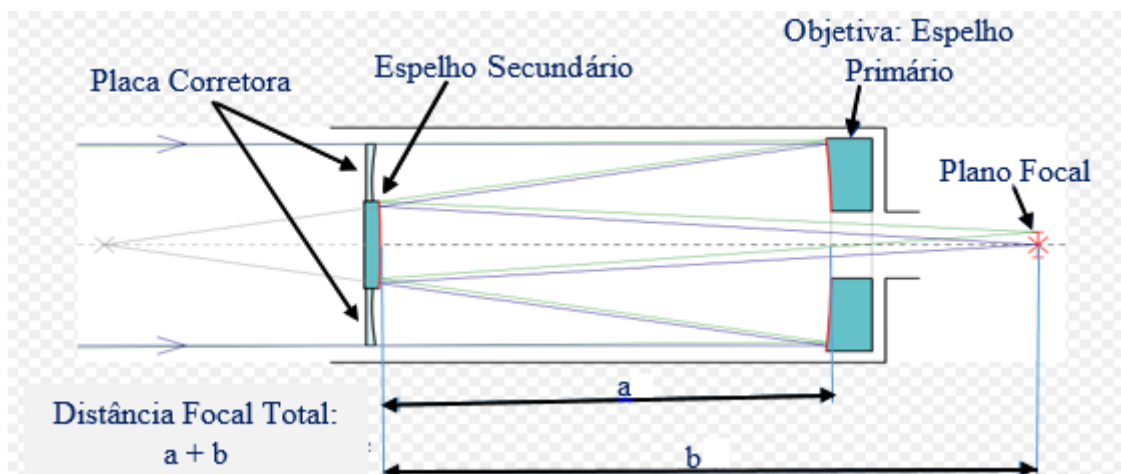


Figura I.3 – Esquema de telescópio com configuração Schmidt-Cassegrain.

Além da montagem computadorizada Paramount, câmera CCD e do tubo ótico, são utilizados softwares específicos que controlam o acesso e o uso à distância: *CCD Soft* version 5, para operação da câmera CCD, *TheSky6* para controle da operação do telescópio, *Orchestrate* para fazer o sincronismo entre o movimento da montagem e o disparo da câmera CCD. Utilizamos também o programa *T-Point*, que permite realizar uma boa calibração do apontamento do telescópio e por último, uma *Página de Acesso Remoto* via internet que viabiliza a operação remota do telescópio.

Os programas acima são utilizados no desenvolvimento da observação. Para o tratamento e análise, posteriores a observação não temos um programa específico e a escolha em geral, é realizada pelo próprio usuário. No caso desse trabalho de mestrado, nossa opção foi pelo software *SalsaJ* versão 2.3, por razões descritas mais adiante, embora existam outros programas equivalentes. Já na preparação do projeto e das observações, também por conta do usuário, aconselhamos a utilização dos programas “*Cartes du Ciel*” ou “*Stellarium*”. Ambos mostram um mapa do céu para qualquer horário e data que se queira. Fornecem as Coordenadas Equatoriais e Alta Zimutais para os principais astros. Possuem um sistema de busca simples e eficaz, são totalmente gratuitos e fáceis de instalar e usar. Aconselhamos o usuário explorar os dois inicialmente para ver com qual se identifica mais.

O Argus é operado remotamente através de uma página exclusiva da internet. Nessa página encontram-se todas as informações necessárias para a utilização do equipamento incluindo uma janela de “chat” para auxílio em tempo real por parte da equipe do OAM. Porém, é muito mais prático e rápido conversarmos oralmente e não pelo teclado, através do Skype em tempo real durante o uso do telescópio. Na grande maioria das vezes o usuário, alunos ou professores, não dispõe deste recurso ou simplesmente não conseguem usar.

A rotina do usuário para acessar o telescópio Argus consiste primeiramente na “inscrição” através da opção: *Solicitando o Uso do Telescópio Argus*, na página do mesmo: < <http://www.telescopiosnaescola.pro.br/argus/solicitacao.php> >. Nesta opção a escola fornece as datas e horários que tem interesse em usar o equipamento, alvos pretendidos, dados da escola, do professor e dos alunos. Se já tem alguma experiência observacional, etc. Após o uso é solicitado o envio de um relatório contendo fotos dos alunos acessando o Argus com as imagens que foram realizadas, número de alunos participantes, duração da atividade, críticas e sugestões.

Próximo à data pretendida, o usuário recebe um nome de usuário e senha que permitirá a ele acessar o telescópio Argus e utilizá-lo a partir da escola, sem a necessidade de se deslocar até o observatório.

Ao efetuar a observação são geradas e disponibilizadas imagens com formatos distintos: FIT (FLEXIBLE IMAGE TRANSPORT) e GIF (GRAPHICS INTERCHANGE FORMAT), sendo que a imagem FIT, mais completa em termos de informação da observação destina-se ao posterior trabalho de medidas, redução e análise o que requer programas de tratamento. Por outro lado, a imagem GIF, mais leve, destina-se a uma rápida visualização, não requer nenhum programa de tratamento. A imagem GIF permite uma rápida inspeção da observação auxiliando o usuário a decidir repetir ou não a observação.

CAPÍTULO II

II.1.1 – Lista dos alvos

Tendo em conta a falta de experiência dos usuários, além de propormos e executarmos diversas atividades, e elaboramos segundo vários critérios, uma lista não exaustiva de alvos. Como a observabilidade de um astro depende da latitude em que se encontra o telescópio, além da DE (Declinação) do astro e da época do ano, a lista elaborada por nós não é universal, mas restrita àqueles objetos observáveis com o telescópio Argus, cuja latitude é aproximadamente 23° Sul ($\phi \sim 23^\circ$ Sul).

Tanto nas atividades fotométricas quanto astrométricas uma primeira e fundamental preocupação foi elaborar uma lista que contenha alvos para qualquer época do ano, ou seja, com uma boa distribuição em AR (Ascensão Reta) permitindo a realização da atividade o ano todo.

Um segundo passo foi selecionar objetos com brilhos adequados de tal forma a evitar longos tempos de integração, facilitar a identificação do alvo no campo, poder ser observado mesmo em noites não muito boas, etc.

Para as atividades de variabilidade, os alvos mais adequados são aqueles de curto período devido à obtenção de resultados quase que de imediato. Entretanto, tendo em mente a diversidade de períodos e de causas de variabilidade, exploramos também alvos de médios e longos períodos. Claro que esses alvos são mais difíceis de acompanhar, mas não menos interessantes. Nesses casos, o usuário poderá eventualmente contar com observações complementares por nós mesmo realizadas e armazenadas num Banco de Dados.

Nas atividades de cor buscamos trabalhar com campos onde temos objetos de cores diferentes, em alguns casos aglomerados como “Caixinha de Joias”.

Em termos de posição, o que estamos propondo visa chamar a atenção para o movimento dos astros. Neste caso buscamos astros que se movimentam rapidamente, essencialmente objetos do Sistema Solar – planetas, asteroides, satélites e cometas. Claro que as épocas em que esses corpos são observáveis, ao contrário daquelas das estrelas, não se repetem de um ano para outro, suas posições variam muito. Isso significa que o interessado terá que elaborar uma lista de alvos para a época de observação desejada. No caso de cometas não tem nem sentido propor uma lista de alvos por se tratar de fenômenos transientes. Em todo caso, as observações de um cometa aqui apresentadas servirão de guia para outras.

Estrelas com movimentos próprios relativamente grandes também compõem nossa lista de alvos. A percepção e eventual medida do movimento dessas estrelas poderá ser realizada combinando-se as observações dos interessados com observações contidas no nosso Banco de Dados. Somente com intervalos de anos é que poderemos perceber nitidamente o movimento de uma estrela em relação às demais.

Na lista de estrelas variáveis oferecemos também estrelas de referência. Neste trabalho utilizamos na grande maioria apenas três dessas estrelas, mas em geral, aconselhamos pelo menos o dobro de estrelas de referência, pois nem todas possuem as características necessárias e muitas vezes podem ser variáveis além de problemas outros que escapam à nossa compreensão.

As tabelas abaixo, assim como nas demais, contém algumas das estrelas razoavelmente brilhantes desse tipo e que podem ser observadas com o telescópio Argus. Na primeira coluna das tabelas a seguir II.1, II.2 e II.3 temos o nome “popular” da estrela alvo, na segunda e terceira coluna temos as coordenadas esféricas (longitudinal – Ascensão Reta e latitudinal – Declinação) dos alvos. De uma forma simplificada para que alunos e professores possam entender facilmente, a Ascensão Reta (AR) é a separação angular sobre o equador celeste entre os meridianos que passam pelo astro e pelo ponto Vernal indo de 0° a 360° ou mais comumente de 0h a 24h. Já a Declinação (DE) corresponde à distância angular entre o paralelo que passa pelo astro e o equador celeste, indo de 0° no equador celeste e $+90^\circ$ no pólo Norte celeste e -90° no polo Sul celeste. Um recurso que ajuda alunos e professores a compreenderem Ascensão Reta e Declinação e fazendo uma analogia com Latitude e Longitude geográfica.

Na quarta coluna estão as magnitudes mínimas e máximas da estrela variável, a seguir o período, tipo de variável (melhor discutido posteriormente) e a época mais adequada para observação. O critério adotado para as abreviaturas das constelações nas tabelas e em todo trabalho é o da IAU (International Astronomical Union), por exemplo, Andrômeda (And). Todos os valores das três tabelas a seguir são aproximados, caso se queira maior precisão consultar a bibliografia correspondente. A tabela é dividida em blocos e além do alvo, em cada bloco temos informações das estrelas de referência utilizadas nesse trabalho. Os dados astrométricos dessas tabelas foram extraídos do catálogo UCAC4 (Zacharias et al. 2013) enquanto que os fotométricos foram extraídos do site da “American Association of Variable Star Observers” - AAVSO (<https://www.aavso.org/vsx/index.php?view=search.top>).

Os valores $V_{\min}$ - $V_{\max}$ são referentes às magnitudes aparentes (obtidas com o filtro V) no mínimo e no máximo da variabilidade. Lembrando que magnitude aparente é uma escala

relativa ao brilho das estrelas, onde os valores aumentam com a diminuição do brilho aparente, ou seja, é uma escala inversa e também logarítmica.

Esclarecemos que no presente trabalho citamos filtro V e filtro G. Isso ocorre por que na roda de filtros instalada no telescópio Argus está marcado como filtro V (visível). Nos dados fotométricos as magnitudes são mag.V, com exceção da atividade cor das estrelas. Já nos comandos do programa SalsaJ, aparece filtro G. Ao consultar as bandas que ambos os filtros deixam passar verificamos que são muito próximas, podendo ser considerados iguais para o presente trabalho, sem com isso prejudicar as atividades propostas.

II.1.2 – Estrelas variáveis de curto período

Estrelas variáveis de curto período nesse contexto, são aquelas cuja curva de luz pode ser construída com algumas horas de observação. Teoricamente todas as observações necessárias podem ser obtidas numa única noite, para estas variáveis de curto período. As estrelas aqui propostas são conhecidas como USPC (“Ultra-Short Period Cepheids”). Todas elas são cefeidas anãs das subclasses Delta Scuti e SX Phoenicis.

Tabela II. 1 - Estrelas variáveis de curto período propostas e observadas.

Alvos e Refs.	AR (h m s)	DE (° ' ")	$V_{\min}-V_{\max}$	T (h)	Tipo	Época Obs.
BS Tuc	01 08 04	-61 52 18	7,4 - 7,6	01,56	Delta Sct	set - jan
UCAC4 141-001095	01 08 40	-61 54 45	12,2	-	-	
UCAC4 141-001079	01 07 40	-61 52 20	12,6	-	-	
UCAC4 141-001087	01 08 01	-61 51 24	12,8	-	-	
AI Vel	08 14 05	-44 34 33	6,2 - 6,8	02,68	Delta Sct	fev - abr
UCAC4 228-024904	08 14 08	-44 35 24	10,2	-	-	
UCAC4 227-023888	08 13 44	-44 37 54	10,8	-	-	
UCAC4 227-023912	08 13 51	-44 41 10	11,5	-	-	
KZ Hya	10 50 54	-25 21 15	9,5 - 10,3	01,43	Delta Sct	mar - mai
UCAC4 323-064837	10 50 56	-25 28 51	12,3	-	-	
UCAC4 323-064839	10 50 58	-25 25 20	12,4	-	-	
UCAC4 324-062691	10 50 43	-25 21 26	10,1	-	-	
EH Lib	14 58 56	-00 56 53	9,4 - 10,1	02,12	Delta Sct	mai - jul

UCAC4 446-059085	14 58 34	-00 51 22	-	-	-	
UCAC4 446-059125	14 59 13	-00 54 05	-	-	-	
UCAC4 445-059293	14 58 34	-01 00 43	-	-	-	
Del Sct	18 42 16	-09 03 09	4,6 - 4,8	04,65	Delta Sct*	jul - set
UCAC4 405-085218	18 42 16	-09 07 43	9,2	-	-	
UCAC4 405-085079	18 42 02	-09 07 42	10,0	-	-	
UCAC4 405-085239	18 42 19	-09 03 43	10,6	-	-	
CY Aqr	22 37 48	01 32 04	10,4 - 11,1	01,47	Delta Sct	set - nov
UCAC4 458-126881	22 38 08	01 32 29	11,5	-	-	
UCAC4459-124117	22 37 45	01 37 45	13,8	-	-	
UCAC4458-126869	22 37 33	01 29 28	14,0	-	-	
DY Peg	23 08 51	17 12 56	10,0 - 10,6	01,75	Delta Sct	set - nov
UCAC4 536-149770	23 09 05	17 08 21	9,8	-	-	
UCAC4 536-149753	23 08 41	17 08 14	11,5	-	-	
UCAC4 536-149765	23 08 52	17 10 49	11,9	-	-	
SX Phe	23 46 33	-41 34 55	6,8 - 7,5	01,32	SX Phe*	set - dez
UCAC4242-184251	23 46 51	-41 37 29	12,0	-	-	
UCAC4 242-184244	23 46 30	-41 37 25	13,8	-	-	
UCAC4 242-184241	23 46 21	-41 38 17	13,8	-	-	

II.1.3 - Estrelas variáveis de médio período

Nesta categoria incluímos aquelas estrelas cujos períodos de variabilidade são maiores que 12 horas, exigindo assim na melhor das hipóteses duas noites inteiras de observações para uma curva de luz perceptível. Aqui, teremos estrelas com variações de poucos dias até cerca de três meses, construir curvas de luz para essas estrelas representa um esforço muito maior necessitando muitas noites de observação em sequência. Nesses casos, bem como nos seguintes, a escola poderá ser auxiliada com observações paralelas executadas pela equipe do Observatório e arquivadas num Banco de Dados.

Na tabela a seguir, a exemplo da anterior, fornecemos as características principais tanto da estrela alvo quanto das estrelas adotadas como referência nesse trabalho.

Tabela II. 2 - Estrelas variáveis de médio período proposta e observadas.

Alvos e Refs.	AR (h m s)	DE (° ' ")	V_{min}-V_{max}	T (dias)	Tipo	Época Obs.
Algol	03 08 10	40 57 20	2,1 - 3,3	2,9	Algol*	dez - jan
UCAC4 656-013600	03 07 49	41 03 44	09,1	-	-	
UCAC4 655-013575	03 08 43	40 48 27	10,9	-	-	
UCAC4 655-013460	03 07 46	40 49 38	12,7	-	-	
RV Tau	04 47 07	26 10 46	8,9 - 11,1	78,7	RV Tau*	jan - fev
UCAC4 582-012929	04 46 44	26 18 14	10,1	-	-	
UCAC4 581-012504	04 47 42	26 09 01	10,6	-	-	
UCAC4 581-012496	04 47 27	26 05 18	12,4	-	-	
TZ Men	05 30 14	-84 47 06	6,2 - 6,9	8,6	Algol	dez - fev
UCAC4 026-002055	05 30 26	-84 54 23	10,0	-	-	
UCAC4 026-002086	05 35 46	-84 56 34	10,7	-	-	
UCAC4 026-002045	05 27 21	-84 53 14	11,5	-	-	
Bet Dor	05 33 38	-62 29 23	3,4 - 4,1	9,8	Cef. Clás.	dez - fev
UCAC4 137-005824	05 33 23	-62 36 47	11,0	-	-	
UCAC4 138-005901	05 34 22	-62 25 22	11,6	-	-	
UCAC4 138-005855	05 33 03	-62 31 00	12,0	-	-	
T Mon	06 25 13	07 05 09	5,6 - 6,6	27,0	Cef. Clás.	jan - fev
UCAC4 227-023888	08 13 44	-44 37 54	10,8	-	-	
UCAC4 227-023912	08 13 51	-44 41 10	11,5	-	-	
UCAC4 228-024921	08 14 13	-44 34 02	12,4	-	-	
RS Pup	08 13 04	-34 34 43	6,5 - 7,7	41,4	Cef. Clás.	fev - abr
UCAC4 278-031671	08 13 25	-34 33 34	11,3	-	-	
UCAC4 277-030287	08 13 21	-34 36 48	11,4	-	-	
UCAC4 278-031702	08 13 30	-34 32 31	11,9	-	-	
1 Car	09 45 15	-62 30 28	3,3 - 4,2	35,6	Cef. Clás.	fev - abr
UCAC4 138-027105	09 45 36	-62 30 21	10,6	-	-	
UCAC4 138-026998	09 45 16	-62 24 22	10,8	-	-	
UCAC4 137-025968	09 45 06	-62 36 18	11,1	-	-	
UCAC4 137-025998	09 45 13	-62 36 20	11,2	-	-	

Bet Lyr	18 50 05	33 21 46	3,3 - 4,4	12,9	Be Lyr	ago
UCAC4 617-064595	18 50 07	33 23 07	10,6	-	-	
UCAC4 617-064611	18 50 12	33 16 32	10,9	-	-	
UCAC4 617-064655	18 50 24	33 12 55	11,2	-	-	
R Lyr	18 55 20	43 56 45	3,8 - 4,4	46,0	R Lyr*	ago
UCAC4 670-069777	18 54 57	43 57 58	11,7	-	-	
UCAC4 670-069864	18 55 46	43 58 11	12,5	-	-	
UCAC4 670-069779	18 55 00	43 53 00	12,8	-	-	
Kap Pav	18 56 57	-67 14 01	3,9 - 4,8	9,1	Cef. Tipo II	jul - set
UCAC4 114-126427	18 57 20	-67 12 55	11,9	-	-	
UCAC4 114-126384	18 56 21	-67 14 34	12,0	-	-	
UCAC4 114-126407	18 56 47	-67 12 27	12,6	-	-	
RR Lyr	19 25 28	42 47 04	7,1 - 8,1	0,6	RR Lyr*	ago - set
UCAC4 665-075117	19 25 05	42 53 06	10,0	-	-	
UCAC4 664-074503	19 25 05	42 41 31	10,2	-	-	
UCAC4 665-075203	19 25 32	42 51 13	11,5	-	-	
Eta Aql	19 52 28	01 00 20	3,5 - 4,4	7,2	Cef. Clás.	ago - set
UCAC4 455-102421	19 52 20	00 57 40	9,3	-	-	
UCAC4 456-103914	19 52 13	01 04 15	11,3	-	-	
UCAC4 455-102488	19 52 33	00 58 04	11,3	-	-	
T Vul	20 51 28	28 15 02	5,4 - 6,1	4,4	Cef. Clás.	set
UCAC4 592-119759	20 51 31	28 18 03	10,1	-	-	
UCAC4 592-119872	20 51 52	28 13 26	11,0	-	-	
UCAC4 592-119876	20 51 54	28 12 50	11,2	-	-	

II.1.4 - Estrelas variáveis de longo período

Aqui, consideramos aquelas estrelas variáveis com períodos de mais de três meses. Obter a curva de luz dessas estrelas demanda muito tempo de observação e muita paciência. Entretanto, é muito interessante incluí-las em trabalho de variabilidade, pois o mecanismo de variabilidade e o tipo de estrela são diferentes dos anteriores e dessa forma podemos tornar o quadro menos incompleto. Neste caso, a ideia não é o professor observar todo um ciclo com

seus alunos, mas sim, acrescentar pontos na base de dados, construída paralela e permanentemente, que poderão ser aproveitados para traçar uma curva de luz. A tabela a seguir fornece as mesmas informações que as anteriores, mas para esse tipo de variáveis.

Tabela II.3 - Estrelas variáveis de longo período propostas e observadas.

Alvos e Refs.	AR (h m s)	DE (° ' ")	V_{min}-V_{max}	T (dias)	Tipo	Época Obs.
Mira Cetus	02 19 21	-02 58 40	2,0 - 10,1	332	Mira Cetus*	out - jan
UCAC4 436-002925	02 19 29	-02 57 58	9,7	-	-	
UCAC4 436-002920	02 19 15	-02 56 30	13,7	-	-	
UCAC4 436-002923	02 19 25	-02 58 16	14,1	-	-	
S Ori	05 29 01	-04 41 33	7,2 - 13,1	434	Mira Cet	jan - abr
UCAC4 426-010045	05 29 13	-04 48 26	9,6	-	-	
UCAC4 428-010243	05 29 16	-04 34 55	9,9	-	-	
UCAC4 427-009937	05 28 58	-04 42 02	10,2	-	-	
U Ori	05 55 49	20 10 31	4,8 - 13,0	377	Mira Cet	jan - abr
UCAC4 551-020559	05 56 06	20 02 09	10,2	-	-	
UCAC4 551-020457	05 55 49	20 10 31	10,3	-	-	
UCAC4 551-020416	05 55 41	20 04 40	10,9	-	-	
S Lep	06 05 46	-24 11 44	6,0 - 7,6	97	S Lep*	jan - mai
UCAC4 329-010230	06 06 02	-24 17 38	11,0	-	-	
UCAC4 329-010204	06 05 41	-24 19 03	12,1	-	-	
UCAC4 329-010203	06 05 41	-24 15 02	12,1	-	-	
U Mon	07 30 48	-09 46 37	5,5 - 7,7	91	RV Tau	fev - mai
UCAC4 402-029934	07 30 23	-09 42 12	09,6	-	-	
UCAC4 401-030332	07 31 13	-09 52 47	11,2	-	-	
UCAC4 401-030259	07 31 01	-09 51 31	12,5	-	-	
R Lmi	09 47 34	34 30 43	6,3 - 13,2	372	Mira Cet	mar - abr
UCAC4 623-045567	09 45 50	34 33 56	11,1	-	-	
UCAC4 623-045558	09 45 23	34 24 22	11,6	-	-	
UCAC4 623-045572	09 45 57	34 25 05	12,7	-	-	
R Leo	09 47 34	11 25 44	4,4 - 11,3	310	Mira Cet	fev - mai

UCAC4 508-051423	09 47 16	11 25 41	09,5	-	-	
UCAC4 507-049486	09 47 20	11 22 36	09,9	-	-	
UCAC4 508-051416	09 47 10	11 33 42	12,1	-	-	
RS Sco	16 55 38	-45 06 11	6,0 - 13,0	319	Mira Cet	jun - ago
UCAC4 226-128246	16 55 07	-44 59 21	08,2	-	-	
UCAC4 225-126145	16 55 35	-45 04 09	10,2	-	-	
UCAC4 225-126023	16 55 16	-45 08 35	10,9	-	-	
RR Sco	16 56 38	-30 34 48	5,0 - 12,4	281	Mira Cet	fev - out
UCAC4 298-107424	16 56 51	-30 30 40	10,9	-	-	
UCAC4 298-107044	16 56 12	-30 26 58	12,0	-	-	
UCAC4 298-107232	16 56 28	-30 28 01	13,0	-	-	
RT Sco	17 03 33	-36 55 14	7,0 - 15,2	449	Mira Cet	jun - set
UCAC4 266-106846	17 03 19	-36 59 40	10,4	-	-	
UCAC4 266-106775	17 03 11	-36 59 30	10,8	-	-	
UCAC4 266-106921	17 03 26	-36 57 24	12,8	-	-	
R Peg	23 06 39	10 32 36	6,9 - 13,8	378	Mira Cet	nov - jan
UCAC4 504-144912	23 06 28	10 37 37	11,1	-	-	
UCAC4 504-144915	23 06 30	10 36 24	12,1	-	-	
UCAC4 504 144916	23 06 32	10 39 28	12,2	-	-	
UCAC4 503-148521	23 06 29	10 27 03	14,0	-	-	
W Peg	23 19 51	26 16 44	7,6 - 13,8	346	Mira Cet	out - nov
UCAC4 581-131515	23 20 00	26 11 55	10,9	-	-	
UCAC4 582-129485	23 20 04	26 18 43	11,9	-	-	
UCAC4 582-129476	23 19 57	26 17 37	13,2	-	-	

*Estrela protótipo.

II.1.5 - Cor das Estrelas

Temos aqui, dois tipos de alvos. Por um lado, propomos observações individuais de estrelas com filtros bem distintos: B (Blue) e R (Red). Para essa atividade, procuramos selecionar alvos com índices de cor B-G (Blue-Green), e em alguns casos B-R, bastante acentuados para facilitar a percepção das diferenças de brilho com ambos os filtros.

Filtros são dispositivos óticos que selecionam uma faixa de frequência específica do espectro eletromagnético (uma cor) deixando-a passar com maior intensidade, bloqueando em maior ou menor grau todas as outras. Já o índice de cor é a diferença das magnitudes obtidas com filtros diferentes para um mesmo alvo.

Na tabela II.4 a seguir, fornecemos a lista de estrelas e algumas de suas principais características. Na primeira coluna temos o nome popular do alvo, nas duas colunas seguintes suas coordenadas Ascensão Reta (AR) e Declinação (DE), nas terceira e quarta colunas as magnitudes B e G, e a seguir a época do ano mais propícia para suas observações. Esses dados foram extraídos do catálogo UCAC4 (Zacharias et al. 2013).

Tabela II.4 – Estrelas selecionadas para a atividade: Cor das Estrelas.

Alvos	AR (h m s)	DE (° ' ")	B	G	Época Obs.
Mira Cet	02 19 21	- 02 58 40	7,63	6,53	out - jan
Alp Tau	04 35 55	+16 30 34	2,40	0,86	fev - mar
Be Ori	05 14 33	-08 12 06	0,10	0,13	jan - abr
Zet Ori	05 40 46	-01 56 33	1,59	1,79	jan - abr
Alp Ori	05 55 10	+07 24 25	2,27	0,42	jan - abr
Eta CMa	07 24 06	-29 18 11	2,37	2,45	fev - mai
Zet Pup	08 03 35	-40 00 11	1,98	2,25	fev - mai
Eta Car	10 45 04	-59 41 04	6,82	6,21	fev - jun
Gam Cru	12 31 10	-57 06 48	3,23	1,64	abr - set
B Cen	14 03 49	-60 22 22	0,38	0,60	mar - go
Alp Cen A	14 39 37	-60 50 02	0.72	0.01	mar - ago
Alp Cen B	14 39 35	-60 50 14	2.21	1.33	
Alp Sco	16 29 25	-26 25 56	2,75	0,91	jun - ago
Albireo A	19 30 43	27 57 35	4,17	3,09	jul - out
Albireo B	19 30 45	27 57 55	5,01	5,11	

II.1.6 - Objetos rápidos

Os objetos rápidos com os quais podemos trabalhar do Sistema Solar são: asteroides, planetas e cometas. Também facilmente poderemos trabalhar com Ceres, o único planeta anão facilmente acessível a pequenos telescópios. O conceito planeta anão foi criado pela IAU em 2006. Planeta anão é um objeto celeste que orbita o Sol, tem massa suficiente para ter intensidade gravitacional que permita mantê-lo como um corpo rígido, não domina

gravitacionalmente a região que orbita ao redor do Sol e não pode ser satélite (Perryman M., 2009, página 567). Ceres assim como os principais asteroides explorados aqui, orbitam no Cinturão Principal de Asteroides, região localizada entre Marte e Júpiter (Ducan John, 2006, página 174).

Algumas estrelas, com grandes movimentos próprios também são interessantes, sendo que nesses casos o usuário irá notar o movimento comparando suas próprias observações com outras de nosso Banco de Dados.

Na tabela II.5 a seguir temos os objetos do Sistema Solar observados nessa atividade, onde fornecemos somente a magnitude média de cada objeto. As coordenadas bem como época melhor para observar os alvos variam muito rapidamente devido aos seus movimentos e, portanto, não vimos sentido em apresentá-las. Neste caso, o interessado deverá buscar as coordenadas para época desejada em sites especializados como aquele do “Jet Propulsion Laboratory” da Agência Espacial Americana (NASA), <http://ssd.jpl.nasa.gov/horizons.cgi#top> ou programas como “Stellarium”, “Cartes du ciel”, etc. A magnitude fornecida aqui deve ser levada em conta com cautela, pois os brilhos desses objetos variam e a título indicativo apenas, fornecemos as magnitudes médias, uma simples média aritmética entre valores máximos e mínimos extraídos do programa “Cartes du ciel” version 3.10-2854 2014/03/29 12:28:56, um software facilmente utilizado por alunos ou professores. Caso se queira maior precisão ou detalhes ir em <http://ssd.jpl.nasa.gov/horizons.cgi#top> sendo neste último mais difícil a consulta. No caso dos cometas, nem mesmo o brilho faz sentido para observações futuras. Apesar, de certa forma, da “inutilidade” dessa tabela para observações futuras, as atividades realizadas com esses objetos, ao contrário, serão extremamente úteis e servirão como guia.

Tabela II.5 – Lista de alvos do Sistema Solar para a atividade: Objetos Rápidos.

Alvos	Mag. (média)*
Astraea	12,0
Ceres	8,5
Flora	10,7
Hebe	10,5
Hygiea	10,6
Iris	9,5
Juno	10,9
Pallas	9,2
Vesta	7,4

* Mag.(média): a magnitude aparente média.

A tabela II.6, a seguir, fornece os dados das estrelas com grandes movimentos próprios. Neste caso, ao contrário dos objetos do Sistema Solar, esses dados poderão sim ser utilizados nas observações futuras. Na primeira coluna temos o identificador do alvo, em geral um nome popular, nas quatro colunas seguintes os parâmetros astrométricos desses alvos. Sendo que destes os dois novos apresentados aqui são: $\mu_{\alpha\cos\delta}$ que é o deslocamento em AR em milissegundos de arco por ano (mas/ano) e μ_{δ} sendo o deslocamento angular em DE também em milissegundos de arco por ano (mas/ano). Dados extraídos do catálogo UCAC4 (Zacharias et al. 2013), na sexta coluna a magnitude V (Visível) extraída também do UCAC4 e finalmente a época do ano mais propícia para observação.

*Tabela II.6 - Estrelas de grandes movimentos próprios selecionadas para a atividade:
Objetos Rápidos.*

Alvo	AR (h m s)	DE (° ' ")	$\mu_{\alpha\cos\delta}$ (mas/ano)	μ_{δ} (mas/ano)	V	Época Obs.
Gleise 1	00 05 24	-37 21 27	5.635	-2.338	8,7	set - jan
Kapteyn	05 11 41	-45 01 06	6.505	-5.731	8,9	jan - abr
Wolf 359	10 56 29	07 00 52	-3.842	-2.725	13,5	abr - jun
HD 95735	11 03 20	35 58 12	-580	-4.766	7,5	abr - mai
HD 103095	11 52 59	37 43 07	4.003	-5.815	6,5	abr - mai
Alp Cen A	14 39 37	-60 50 02	-3.679	481	0,0	mar - ago
Alp Cen B	14 39 35	-60 50 15	-3.614	803	1,3	mar - ago
Barnard	17 57 49	04 41 36	-799	10.328	9,5	mai - set
61 Cyg A	21 06 54	38 44 58	4.168	3.269	5,2	set - nov
61 Cyg B	21 06 55	38 44 30	4.109	3.141	6,0	set - nov
Eps Ind	22 03 22	-56 47 10	3.962	-2.537	4,7	set - jan
HD 217987	23 05 52	-35 51 11	6.768	1.328	7,4	out - jan

CAPÍTULO III

III.1 - A natureza da luz

Quase todo o nosso conhecimento astronômico baseia-se de alguma forma na observação do céu que nada mais é do que a coleta da luz oriunda das diversas estruturas existentes no Universo, como por exemplo, nebulosas, galáxias, quasares e aglomerados. Sendo que em alguns casos a ausência de luz também fornece informações importantes. A palavra luz é usada de diversas maneiras. Às vezes dizemos “luz” quando nos referimos à parte visível do espectro eletromagnético. Outras vezes dizemos “luz visível” para nos referir a essa mesma região do espectro e neste caso a palavra “luz” tem um sentido muito mais amplo incorporando todo o espectro eletromagnético. Nesse texto, não fugiremos a regra, mas buscaremos sempre que necessário, melhor especificar do que se está falando e eventualmente acrescentar alguma ressalva para evitar possíveis confusões. No caso do Caderno de Atividades será melhor explicado, pois o público alvo que são alunos e professores podem ter um menor conhecimento de astronomia e as exigências são muito maiores e lá tentaremos evitar as ambiguidades.

Assim, a luz visível corresponde a um pequeno intervalo de todo o espectro eletromagnético indo aproximadamente do vermelho 400 THz até o violeta 790 THz. O restante do espectro não é observável pelo olho humano.

Além da luz visível, muitas outras bandas de frequência têm sido exploradas dando grandes contribuições para o estudo do Universo: rádio, infravermelho, etc. Também além da luz visível ou não, temos contado com informações importantes obtidas através da análise de meteoritos coletados e amostras diversas trazidas da Lua.

Deste a antiguidade a luz tem sido foco das atenções, Tito Lucrécio Caro (99 a.C a 55 a.C.), filósofo, acreditava que a luz solar assim como o seu calor era formado por pequenas partículas. Mais tarde, Isaac Newton (1642 a 1727) matemático e físico inglês, propôs entre outras coisas, uma teoria sobre a cor e a natureza da luz visível. Em seu trabalho decompôs e mostrou que a luz solar era uma superposição de cores e propôs que a luz era constituída de pequenos corpúsculos (partículas) que se movimentavam sempre em linha reta (“Teoria corpuscular da luz”).

Em oposição, Christian Huygens (1629 a 1695) físico, matemático e astrônomo neerlandês contemporâneo de Newton, propôs uma teoria ondulatória para a luz. Hoje, com o

estabelecimento da Física Quântica, nos defrontamos com a dualidade partícula-onda quando falamos da natureza da luz.

Michael Faraday (1791 a 1867) físico e químico inglês conhecido por inúmeros trabalhos científicos relevantes, contribuindo experimentalmente nas áreas de eletricidade e magnetismo que posteriormente contribuíram para compreender a natureza da luz. Já Orsted foi quem descobriu a inter-relação entre campo elétrico e magnético culminando posteriormente com a síntese teórica do eletromagnetismo de James Clerk Maxwell (1831 a 1879) onde, entre tantas outras, conclui-se que a luz é uma onda eletromagnética.

A onda eletromagnética resulta da oscilação de campos elétricos e magnéticos perpendiculares entre si em movimento retilíneo, com velocidade de aproximadamente 300 mil km/s no vácuo. O fato, entre outros, da luz se deslocar com a mesma velocidade independentemente do observador levou tempos depois à teoria da relatividade de Einstein.

Como toda onda, a onda eletromagnética caracteriza-se pelos parâmetros interligados: frequência, comprimento de onda e velocidade. No caso particular da luz visível, essa é também caracterizada por sua cor que no fundo traduz sua frequência. O que define a cor que normalmente percebemos é a frequência da onda eletromagnética, a frequência da luz visível.

Na figura a seguir (Figura III.1) mostramos todo o espectro eletromagnético desde os raios gama, menor comprimento de onda (maior frequência) até as ondas de rádio, maior comprimento de onda (menor frequência). A faixa do visível corresponde ao violeta, anil, azul, verde, amarelo, alaranjado e vermelho (Carvalho T. – InfoEscola).

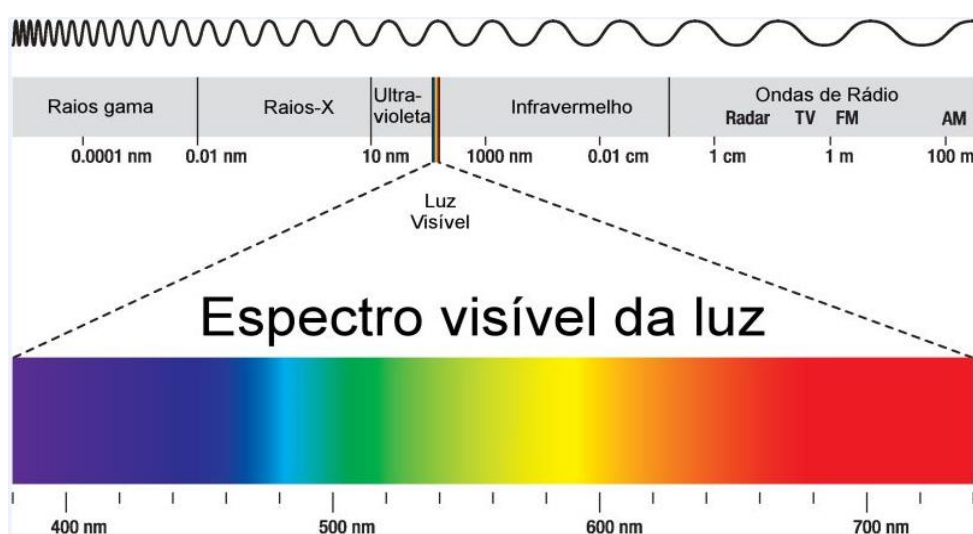


Figura III.1 – Espectro eletromagnético (Carvalho T. – InfoEscola).

III.2 – Filtros

Filtros são dispositivos que nos permitem selecionar o comprimento de onda, mais precisamente o intervalo de comprimento de onda que queremos barrar ou observar. Por exemplo, um filtro dito “vermelho” será aquele que deixa passar o intervalo de frequência de onda correspondente a luz vermelha, bloqueando todas as demais. O mesmo vale para todos os outros filtros.

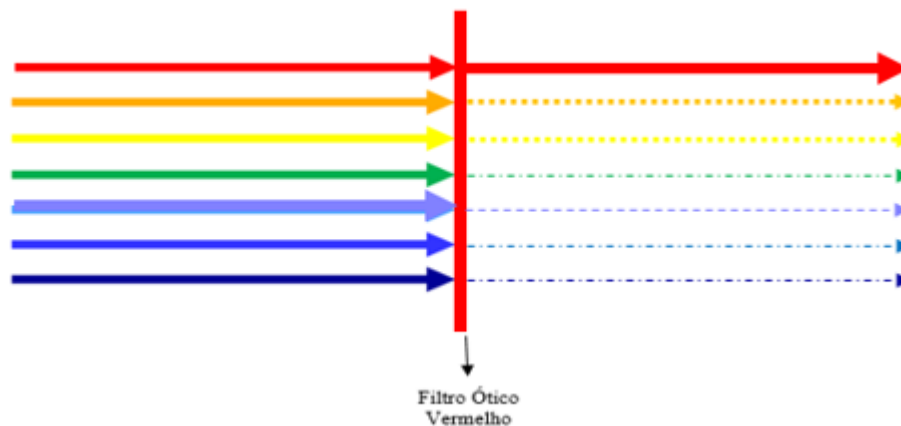


Figura III.2 – Representação esquemática de um filtro óptico vermelho visto de perfil.

No caso acima, apenas a frequência de onda de aproximadamente 480 a 400 THz (cor vermelha) atravessa quase totalmente o filtro, já a cor alaranjada 525 a 505 T Hz atravessa muito pouco e as demais cores (530 a 790 THz) são quase que totalmente bloqueadas.

A atmosfera constitui-se em um filtro natural que bloqueia a maior parte do espectro eletromagnético, mas é mais transparente a luz visível. Graças a isso que a Astronomia se desenvolveu nesse intervalo de frequência e que é ainda hoje o mais utilizado.

Entre tantos, um dos fenômenos que chamam nossa atenção no céu noturno, são as cores das estrelas. Com poucos instantes de observação, já é possível notar estrelas avermelhadas, amareladas, azuladas, etc.

Não se trata aqui, de um fenômeno atmosférico. A cor que percebemos está intimamente relacionada com a temperatura da atmosfera da estrela observada. As estrelas vermelhas são mais frias enquanto que as azuladas são mais quentes. Na tabela a seguir, podemos ver uma relação entre as cores e as temperaturas, bem como uma estrela representante de cada categoria (Karttunen et al. 2007, p.210).

Tabela III.1 – Temperatura atmosférica estelar em função de sua cor.

Cor da Estrela	Temperatura Superficial (K)	Exemplo
Azul	maior do que 33.000	Zeta Orionis
Branco-azulada	10.000 a 33.000	Rigel
Branco	7.500 a 10.000	Deneb
Branco-amarelada	6.000 a 7.500	Fomalhaut
Amarelo	5.200 a 6.000	Alpha Centauri
Laranja	3.700 a 5.200	Arcturus
Vermelho	2.000 a 3.700	Antares

A relação entre a cor e temperatura é bem definida, para a maioria das estrelas, pela conhecida Lei de Wien (Karttunen et al. 2007, p.104). Para seus estudos utilizou um forno com um pequeno orifício em uma de suas paredes, que deixava escapar uma fração mínima da radiação interna. Dessa forma simulou um corpo ideal que absorve e emite toda radiação incidente, um corpo em equilíbrio térmico (Karttunen et al. 2007, p.103). Por absorver toda radiação tal corpo ideal é chamado de *corpo negro*. Wien percebeu que embora as paredes internas do forno emitissem ondas eletromagnéticas em todas as frequências a intensidade não era constante e dependia do comprimento de onda. Além disso, constatou que essa radiação se intensificava e que o pico de radiação desloca para os comprimentos de onda menores (maior frequência) a medida que a temperatura aumentava, como mostrado na figura III.3 extraído e adaptado de: <https://www.slideshare.net/newtondasilva/aula-5-introduco-quntica>.

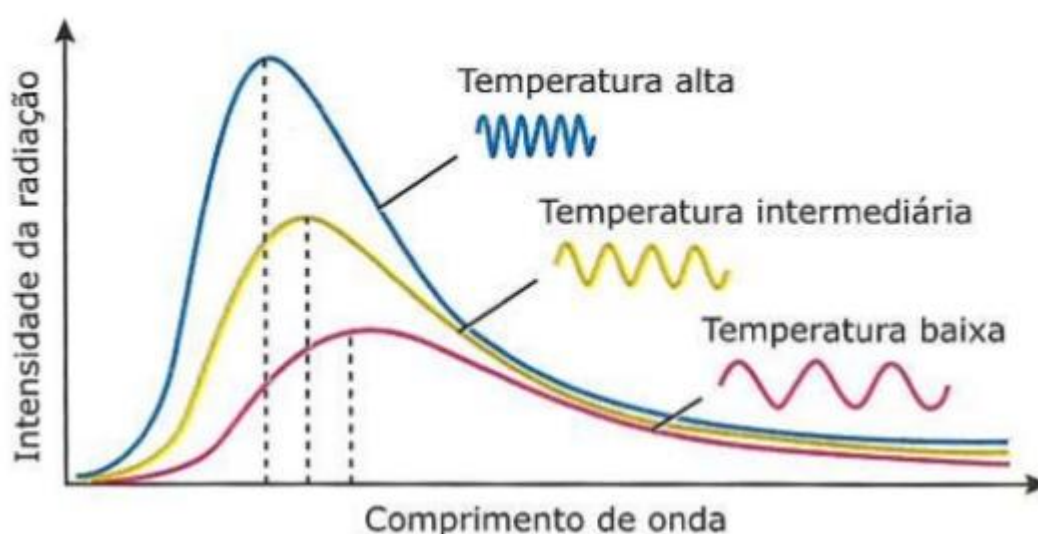


Figura III.3 – Gráfico da Lei de Wien, intensidade da radiação x comprimento de onda correspondente a máxima emissão.

O gráfico da intensidade da emissão em função do comprimento de onda tem uma forma característica como mostrado anteriormente na Figura III.3. Como se pode ver, temperaturas mais altas resultam em picos mais altos para menores comprimentos de onda (maiores frequências). O que vemos aqui corresponde grosseiramente àquilo que podemos facilmente experimentar ao aquecermos, por exemplo, uma barra de ferro. Inicialmente à temperatura ambiente, como outro corpo qualquer, estará emitindo com maior intensidade no infravermelho, ao ser aquecida esse pico será no vermelho e posteriormente no azul.

Com boa aproximação uma estrela emite energia como se fosse um corpo negro, ou seja, a energia emitida por uma estrela segue a Lei de Wien, que justamente relaciona o pico da emissão à temperatura de tal forma que o produto da temperatura absoluta T pelo comprimento de onda do pico $\lambda_{\text{máx.}}$ seja constante:

$$T \cdot \lambda_{\text{máx.}} = 2,9 \times 10^{-3} \text{ m.K} \quad \textbf{Lei de Wien}$$

III.3 - Atividade Cor das Estrelas

Para trabalhar as cores das estrelas com os alunos definimos duas atividades. Uma forma é a observação das estrelas com pelo menos dois filtros distintos visando mostrar que uma estrela pode ser brilhante ou a mais brilhante de um campo estelar quando observada com um filtro e menos brilhante ou mais “fraca” quando observada com outro. Para isso, selecionamos campos onde temos pelo menos uma estrela com cor visualmente bem caracterizada.

No caso de se focalizar apenas uma estrela, a ideia é simplesmente mostrar ao público alvo que o fluxo aumenta ou diminui dependendo do filtro utilizado. Em alguns casos pode-se também, como sugerido, trabalhar com campos que apresentam duas ou mais estrelas com cores distintas o que torna a experiência mais rica. Nesses casos, pode-se introduzir a ideia de índice de cor apesar da complicação com o uso da magnitude.

Uma outra forma de trabalhar as cores é observar um mesmo objeto extenso, como aglomerados estelares e nebulosas, com filtros diferentes para uma posterior adição e produção de belas imagens como costumamos encontrar em livros e mídia em geral. Naturalmente essa atividade deve ser seguida pela devida explicação teórica como sugerido mais adiante.

Os objetivos dessa atividade se resumem em: definir o que é o brilho estelar, como é gerado, como é medido e discutir as diferenças de brilho. Chamar a atenção para o fato das estrelas apresentarem cores distintas, discutir como obter as cores utilizando filtros adequados, caracterizar a cor de uma estrela, compreender o porquê das cores, entender o que são falsas

cores, tomar consciência das diferenças entre as belas imagens da mídia e aquelas utilizadas em trabalhos de pesquisa. No caso da pesquisa o objetivo é obter medidas com a melhor qualidade possível, menor erro ou desvio. Já para ensino e divulgação de Astronomia o principal objetivo é fascinar, despertar o interesse pelo estudo de ciências e explorar isso didaticamente da melhor maneira possível.

Para o desenvolvimento da atividade, a alteração do brilho em função da cor fica mais evidente observando-se alvos brilhantes com cores diferentes com vários filtros. No caso do telescópio Argus, temos disponível e utilizamos os filtros: U (ultravioleta), B (azul), G (verde), R (vermelho) e I (infravermelho), cujas características são fornecidas na Tabela III.2 a seguir e foram extraídas do *Manual da Roda de Filtros S-BIG*. Escolhemos como alvos, estrelas vermelhas ou azuis de tal forma que a alteração de brilho seja acentuada facilitando a percepção da relação cor brilho por parte dos alunos. Não sugerimos aquelas famosas estrelas com magnitudes muito baixas (Antares, Aldebarã, Rigel, etc.) para evitar trabalhar com imagens saturadas, embora, a saturação não necessariamente impede a percepção do efeito que queremos evidenciar, mas compromete a determinação das magnitudes e índices de cor. O trabalho com estrelas mais fracas permite devido ao maior tempo de integração, ter um campo mais rico e com mais estrelas de referência e eventualmente, obter as magnitudes e índices de cor. Na tabela a seguir mostramos os filtros com suas respectivas características:

Tabela III.2 – Filtros U, B, G, R e I utilizada no Telescópio Argus.

Filtro	ν - (THz)	λ (nm)	Cor
Ultravioleta (U)	730	350	não acessível aos olhos
Azul (B)	640	430	Azul
Verde (G)	570	550	Verde
Vermelho (R)	440	700	Vermelho
Infravermelho (I)	200	900	não acessível aos olhos

A título de exemplo ilustramos a seguir nas páginas 43 e 44, nossa proposta de trabalho com um dos alvos fornecidos na tabela II.4 da página 34, trata-se de Antares ou Alp Sco. Como dito, procuramos organizar uma lista de alvos que permita a realização da experiência em qualquer época do ano e em horários convenientes para se trabalhar com crianças na primeira parte da noite (18:00 as 24:00). Também procuramos trabalhar com alvos relativamente brilhantes que exigem pouco tempo de integração e podem ser observados mesmo em condições adversas: céu relativamente ruim (nuvens), céu claro devido a Lua ou poluição luminosa, etc.

O objetivo aqui é mostrar na prática como um filtro funciona e como pode nos ajudar a caracterizar a cor de uma estrela. Com o filtro seleciona-se o intervalo de frequência que será observado e aquele que será bloqueado. Por exemplo, uma estrela vermelha ao ser observada com filtro vermelho fica mais brilhante (maior número de contagem ou fluxo) do que quando observada com o filtro azul (menor número de contagem). Esse é o caso, por exemplo, da estrela Alpha do Escorpião (Antares) mostrada na figura III.4, que é vermelha e aqui foi observada com os filtros B e R.

É muito fácil notar e medir a variação da intensidade de luz ou do fluxo observado com cada um dos filtros. Fluxo é a velocidade com que um determinado volume flui por unidade de tempo. Por exemplo, fluxo de água onde 1.000 m³ atravessam uma secção transversal em 1 hora, fluxo = 1.000 m³/h.

Na figura III.4 vemos à esquerda o resultado da observação de Antares com o filtro B (Azul), com tempo de integração de 0,1 segundo. Em seguida à direita, vemos a mesma estrela observada com o mesmo tempo de integração, mas agora com um filtro R (vermelho). Neste caso, após verificar a maior intensidade de brilho na observação com o filtro vermelho, intuitivamente conclui-se que a estrela observada é uma estrela vermelha e pela Lei de Wien e Tabela III.1 que é uma estrela relativamente fria. Claro que neste caso as diferenças são muito evidentes, pois a estrela é muito avermelhada. Nos casos mais sutis, embora as diferenças sejam menores e a observação a olho nu não seja suficiente para atribuir uma cor a estrela, essa mesma estratégia pode ser utilizada com sucesso com as estrelas amarelas, alaranjadas, brancas, etc. A diferença dos brilhos aparentes medidos com um e com outro filtro, ou seja, o índice de cor nos dá uma informação quantitativa através do fluxo ou número de contagem na CCD, das cores das estrelas e, portanto, de suas temperaturas, estágios evolutivos, etc.

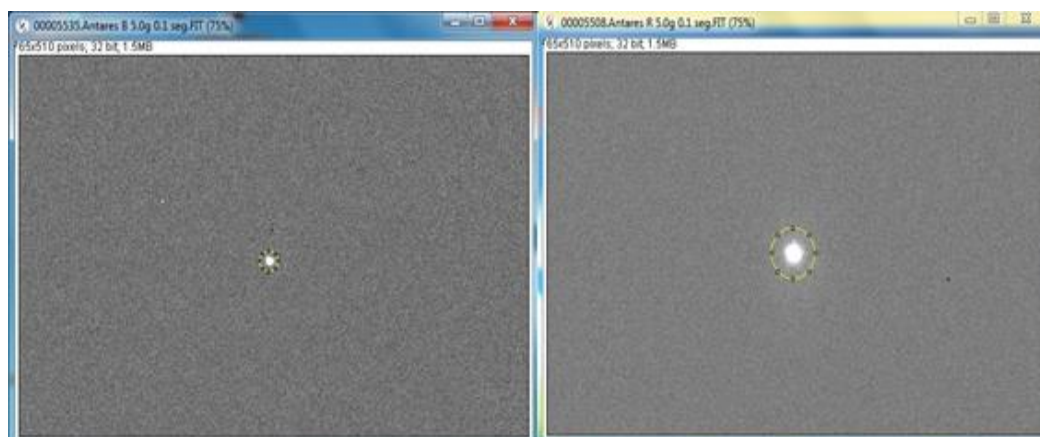


Figura III.4 – Imagens de Antares obtidas com filtro B à esquerda e filtro R à direita, ambas com 0,1s de exposição.

A atividade com as cores pode ser complementada com a construção de imagens coloridas de nebulosas ou outros objetos extensos como apresentado mais adiante no Anexo I no subtítulo A.4 - Construção de uma imagem colorida, página 101. Além disso, ela pode e deve ir mais longe com uma segunda parte mais elaborada, visando a determinação de índices de cor de algumas estrelas. Infelizmente, no âmbito desta dissertação não foi possível executar essa segunda parte que exige a determinação das magnitudes de uma mesma estrela quando observadas com filtros diferentes. Realizamos observações nesse sentido em todos os filtros (U, B, G, R, I), mas o tratamento e redução serão realizados posteriormente e descritos no Caderno de Atividades de tal forma que o leigo terá condições de realizá-la.

Esta atividade prática explora diretamente os conceitos físicos de cor, temperatura, fluxo ou intensidade, filtros, etc. Quando o professor explora esta atividade após a aula teórica, irá reforçar os conhecimentos teóricos que os alunos adquiriram.

CAPÍTULO IV

IV.1.1 - Estrelas Variáveis

Em uma linguagem simplificada para traduzir em poucas palavras o que é uma estrela, podemos dizer: trata-se de uma grande esfera gasosa, muito quente para os padrões de temperatura com os quais lidamos no dia a dia. Tanto o aquecimento da própria estrela quanto seu brilho que nos permite observá-la, são consequências de reações termonucleares que ocorrem em seu núcleo. Uma estrela típica como o Sol, tem um raio 695.700 km, temperatura em seu núcleo de $1,6 \times 10^7$ K e em sua atmosfera de $5,8 \times 10^3$ K.

Não faz muito tempo que o Homem tomou consciência do que eram feitas as estrelas (final do sec. XIX) e menos tempo ainda para entender seu mecanismo de geração de energia e sua evolução (meados sec. XX). As estrelas evoluem, isto é, “nascem” e com o passar do tempo se transformam e depois de muitos anos, milhões a bilhões, “morrem”.

Por causas internas como consequência dessa evolução ou externas devido à interação dessas com outras estruturas, o brilho das estrelas pode variar e o estudo dessa variação de brilho nos fornece chaves para uma melhor compreensão da evolução estelar, para determinação de distâncias e para a descoberta de exoplanetas além de tantos outros aspectos do estudo do Universo.

Tanto sua importância para a Astronomia quanto a curiosidade que pode despertar é que nos motiva para a proposta de atividades com estrelas variáveis. Essa atividade deve aproximar muito as crianças daquilo que fazem muitos cientistas que empregam muito de seu tempo na busca de estrelas cujo brilho varie, na medida de parâmetros que caracterizem essas variações e na interpretação desses dados.

IV.1.2 - Variabilidade

Há muito tempo o Homem tem consciência de que os brilhos de muitas estrelas estão longe de serem constante. Na história da Astronomia podemos encontrar casos famosos de estrelas cujos brilhos variam: na Grécia Antiga por exemplo temos a estrela Algol, que apesar da mística grega da perfeição nessa época, não passou despercebida e por seu comportamento relativamente estranho, recebeu o nome de “al Ghoul” que significa, demônio em árabe.

Outro caso muito famoso que citamos a título de exemplo, refere-se a hoje, a *nebulosa do caranguejo*, que corresponde aos restos de uma Supernova, que atingiu um brilho tal que pôde ser observada pelos chineses mesmo durante o dia no ano de 1054.

O número de estrelas variáveis conhecidas hoje é muito grande, e deverá chegar a dezenas de milhões no início da próxima década com os resultados da missão espacial Gaia (Gaia Collaboration, 2016a, 2016b).

IV.1.3 - Tipos de estrelas variáveis

As variáveis são normalmente divididas em três principais grupos: eclipsantes, pulsantes e eruptivas (Karttunen H. et al. 2.007).

Variáveis pulsantes: a variação do brilho ocorre devido a expansões e contrações das camadas mais externas da estrela. São variáveis gigante ou supergigantes que alcançaram um estágio de instabilidade em sua evolução.

Estas estrelas aumentam e diminuem de diâmetro ciclicamente. Ao longo de sua evolução estelar, numa das fases finais irá se tornar uma pulsante. Além das reações termo nucleares que ocorrem no núcleo também começam a ocorrer nas suas camadas mais externas, mas ainda no interior da mesma. Isso leva a uma nova geração de energia que faz o gás mais aquecido se expandir, aumentando o tamanho da estrela. Como consequência ao se expandir o gás começa a esfriar freando a expansão e fazendo a contração do diâmetro da mesma. Novamente a estrela diminui seu diâmetro e todo o processo recomeça. Uma estrela maior é claro possui uma superfície esférica maior onde mais luz é emitida para o espaço. Para exemplificar citamos uma pulsante cefeida de longo período Mira Cetus. Quando se expande seu brilho aumenta para magnitude aparente 2 aproximadamente, quando se contrai faz o processo inverso fazendo seu brilho diminuir até magnitude aparente 10.

As variáveis eclipsantes são sistemas duplos onde o plano da órbita da estrela secundária cruza a linha de visão do observador provocando um eclipse. Isso faz o brilho do sistema mudar com o tempo, neste caso a variação de brilho não é da própria estrela, mas devido a um fator externo: o eclipse pela secundária. A estrela deste tipo mais famosa é Algol. Nos demais tipos de variáveis a mudança de brilho ocorre devido a fatores da própria estrela.

O período de variabilidade é por sua vez o período que a estrela secundária demora em orbitar a estrela principal. As variáveis eclipsantes têm períodos da ordem de dias (Roy, A.E. et al. 1.989, página 126). Quando uma estrela orbita a outra, mas o seu plano orbital não cruza a linha de visão do observador não teremos eclipse. Se neste caso as duas estrelas puderem ser

observadas separadamente num telescópio recebem o nome de dupla visual. Este termo é usado para designar um par de estrelas associadas gravitacionalmente que podem ser observadas ao telescópio como duas estrelas (Oliveira Filho K. S. et al. 2.000, página 188).

Variáveis cefeidas: entre as mais importantes variáveis pulsantes estão as cefeidas. Assim chamadas por causa da estrela δ Cefeus, a primeira deste tipo a ser reconhecida, tornando-se o protótipo deste tipo de variável. Sua curva de luz é bem característica apresentando um rápido aumento de brilho seguido de uma rápida queda. As cefeidas mostram uma crucial conexão entre período e a luminosidade (Zeilik M. et al. 1998, página 355). Apresentam uma relação bastante simples entre o seu período de variabilidade e sua luminosidade. Essa relação foi descoberta no início do sec. XX por Henrietta Leavitt quando estudava estrelas variáveis nas Nuvens de Magalhães. Como o período em geral pode ser muito bem determinado através das observações, com essa relação podemos obter a luminosidade e a magnitude absoluta e com isso a distância deste tipo de variável. Como podemos observar esse tipo de estrela mesmo em outras galáxias, essa relação torna-se um grande trunfo na determinação de distâncias fora da Via Láctea. O período de pulsação depende da densidade média, do tamanho e da cor da estrela. As mais azuis possuem maior luminosidade, portanto para determinar a distância este fator (cor) deve ser levado em conta (Zeilik M. et al. 1998, página 355).

Atualmente identificam-se dois tipos de variáveis cefeidas: cefeidas clássicas, também chamadas de população I, cefeidas tipo I, que foram as primeiras descobertas e utilizadas por Henrietta Leavitt. São mais novas, massivas, luminosas e com metalicidade mais elevada. Seus períodos variam de 1 a 50 dias. Cefeidas de população II, cefeidas W Virginis ou cefeidas tipo II, com características parecidas com as clássicas, mas mais velhas que as do tipo I, menos massivas, menos luminosas, com metalicidade menor e períodos que podem atingir meses.

Variáveis RR Lyra: outro tipo de variável, com mecanismo parecido com os da cefeidas. Sua variação de brilho é menor do que aquele das cefeidas clássicas, na grande maioria menores do que uma magnitude, assim como seus períodos são menores, menos de um dia. São estrelas velhas, ou seja, de população II comuns nos aglomerados globulares. A exemplo das cefeidas, é possível determinar suas distâncias a partir do período de variação de seu brilho.

Variáveis Mira: também são estrelas pulsantes que possuem longos períodos de aproximadamente de 100 a 500 dias, têm amplitudes de cerca de 6 magnitudes. São supergigantes vermelhas e a estrela protótipo deste tipo (cefeida de longo período) é Mira Cetus, que possui período e amplitude em torno de 330 dias e 9 magnitudes respectivamente. Mira Cetus ou Mira A tem uma estrela secundária Mira B, que é uma anã branca. Isso faz com que a

variabilidade de Mira Cetus não seja totalmente regular possuindo pequenas variações, isso também pode ocorrer com outras estrelas deste tipo.

Variáveis RV Tauri: são variáveis pulsantes e possuem períodos relacionados com suas luminosidades. São estrelas de População II e às vezes são classificadas no mesmo grupo das Cefeidas tipo II ou W Vir. Sua variabilidade é de 30 a 150 dias, apresentando pequenas irregularidades. A amplitude de sua variabilidade pode chegar a quatro magnitudes. A estrela protótipo deste tipo é a RV Tauri que possui oscilações de brilho de pouco mais de 3 magnitudes, em um período de cerca de 80 dias.

Variáveis eruptivas: são normalmente estrelas de fraco brilho lançando massa. São na grande maioria sistemas duplos muito próximos onde ocorre transferência de massa de uma estrela para outra. Aqui temos também um tipo que é denominado de variáveis rotacionais, onde a variação de brilho ocorre devido a não uniformidade da distribuição de temperatura em sua superfície. Este tipo de estrela pode ser muito comum, o nosso Sol, por exemplo, é uma fraca estrela variável rotacional. O mais destacado grupo de estrelas variáveis rotacionais são as estrelas magnéticas. Temos como exemplo a estrela α^2 Canum Venaticorum, elas possuem fortes campos magnéticos e podem resultar em manchas escuras na sua superfície. O período das variáveis rotacionais vai de 1 a 25 dias, já a amplitude é inferior a 0,1 magnitude. Também neste grupo temos as estrelas variáveis eruptivas AM Her e as DQ Hercules.

Este tipo não possui pulsações uniformes. O aumento repentino da luminosidade ocorre por que material é ejetado para o espaço. Atualmente são subclassificadas em eruptivas e cataclísmicas. Nas eruptivas como o nome já diz, suas variações de luminosidade ocorrem por causa de repentinas erupções na sua cromosfera (superfície). Elas normalmente estão cercadas por gás ou matéria interestelar que interagem com as erupções. Um exemplo deste tipo é a estrela R Coronae Borealis (Karttunen H. et al. 2007, página 283).

As erupções das variáveis cataclísmicas ocorrem devido a reações nucleares no interior ou na superfície da estrela. Estas explosões podem ser tão violentas que chegam a destruir toda a estrela. Aqui estão incluídas as Novas, Novas Anãs e Supernovas.

Novas e Novas Anãs: são estrelas duplas muito próximas onde ocorre um grande aumento de brilho provocado pela interação de matéria entre elas. Frequentemente uma estrela é de sequência principal e a outra uma Anã Branca que estão cercadas por um anel de gás. Esta estrela principal adentra o Lóbulo de Roche da Anã Branca e matéria de uma influência a outra. Quando massa suficiente influi na superfície da Anã Branca ocorre a ignição explosiva do hidrogênio e jatos de gás são lançados aumentando rapidamente a luminosidade da Anã Branca. O gás ejetado se expande e a temperatura lentamente cai assim como sua luminosidade.

Entretanto, a interação física não cessa e a Anã Branca vai ganhando matéria para a próxima explosão (Karttunen H. et al. 2007).

Um dos primeiros tipos de eruptivas conhecidas foram as estrelas Novas. Sendo classificadas em vários subtipos: Nova Ordinária, Nova Recorrente e Nova Periódica. As estrelas Novas Anãs são do subtipo Nova Periódica e a diferença é que têm erupções mais frequentes do que as eruptivas e algumas características especiais. Sendo atualmente separadas em três subgrupos. O número de Novas Anãs é muito maior do que as de Nova que por sua vez é maior do que as Supernovas. Por exemplo, para se ter uma ideia o número estimado de Novas na galáxia de Andrômeda é 25 a 30 por ano.

As “outbursts” são todas Novas rápidas. Com 1 ou 2 dias para atingir o máximo brilho, ficando mais brilhante em 7 a 18 magnitudes acima do seu normal. Seguindo uma diminuição de brilho que pode demorar meses ou anos.

Para se ter uma ideia de quantas observações é preciso para obter uma boa curva de luz, citamos como exemplo uma estrela Nova padrão como a Nova Cygni de 1975 ou V1500 Cygni onde foram feitas centenas de observações.

Supernovas: são estrelas que explodem, apresentando a maior variação de luminosidade. Em alguns dias a sua magnitude aparente pode mudar mais de 20 unidades, isto significa que sua luminosidade pode aumentar de um fator de 100 milhões de vezes. Após o máximo ocorre um lento decréscimo da magnitude durante vários anos. O que sobra pode se tornar uma estrela de Nêutrons ou um Buraco Negro, (Karttunen H. et al. 2007).

As Supernovas são classificadas em dois tipos: Supernovas do tipo I e Supernovas do tipo II. As do tipo I são subdivididas em Ia, Ib e Ic, esta classificação se dá de acordo com sua composição química. Elas também se diferenciam pela curva de luz, as do tipo I diminuem de brilho de modo mais regular, quase exponencial. Já as do tipo II decrescem de forma menos regular e sua luminosidade máxima é menor. As do tipo II possuem várias subdivisões basicamente de acordo com a curva de luz. A Supernova de Shelton ou SN 1987 que explodiu na Grande Nuvem de Magalhães é do tipo II e por ser recente pôde ser estudada com mais detalhes.

Citamos, como exemplo, Supernovas observadas na nossa galáxia: Supernova observada pelos chineses no ano de 1054 que originou a nebulosa do Caranguejo, Supernova de Tycho Brahe em 1572 e a Supernova de Kepler em 1604.

Flares: as flares ou UV Ceti são estrelas anãs vermelhas jovens e geralmente encontradas em aglomerados de estrelas jovens ou em sistemas múltiplos. Acontece em intervalos irregulares súbitas explosões produzindo fortes clarões, os chamados flare outbursts,

na superfície das estrelas sendo similares as ocorridas no Sol. Os flares são explicados como perturbações na superfície das estrelas por fortes campos magnéticos. Um flare normalmente provoca um aumento de brilho de 4 ou 5 magnitudes, podendo ocorrer várias vezes por dia na mesma estrela. O flare (aumento de emissão no ótico) é acompanhado de um aumento na emissão de ondas de rádio assim como ocorre no Sol, onde aliás, se detectou pela primeira vez um flare seguido de ondas de rádio.

IV. 1.4 - As cefeidas: relação período luminosidade

Como assinalado acima, as variáveis cefeidas constituem uma chave preciosa a disposição dos astrônomos para a determinação das distâncias. Existe uma relação relativamente simples entre o período de variabilidade e a luminosidade dessas estrelas. Quanto maior a luminosidade maior é o período de variação como mostrado no gráfico da figura IV.1. Essa relação depende do comprimento de onda da observação e também do tipo de cefeida. Para atividades com alunos, o mais simples e suficiente é considerarmos a relação período - luminosidade como sendo independente do comprimento de onda.

A seguir, podemos ver o gráfico período versus luminosidade das cefeidas. Com as informações do gráfico e a partir do período e da magnitude aparente que são obtidos observacionalmente, chegamos na distância da estrela. O processo é descrito a seguir:

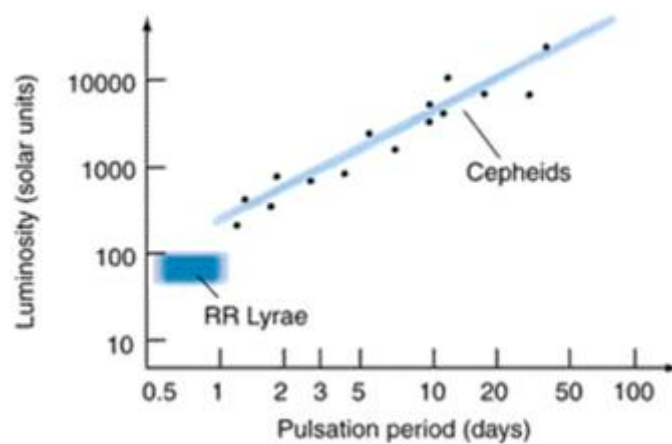


Figura IV.1 – Relação período luminosidade para variáveis cefeidas e RR Lyrae (Chaisson and McMillan 1999).

$$M = a \cdot \log(P) - b$$

onde, **M** representa a magnitude absoluta, **P** o período de variabilidade em dias, **a** e **b** são parâmetros que dependem do tipo de cefeida que se está considerando e do filtro que está sendo utilizado.

O período e a magnitude aparente são obtidos observacionalmente como grosseiramente realizamos em nossa atividade. De posse desse podemos obter a magnitude absoluta através da expressão acima. Com a magnitude aparente observada e a magnitude absoluta calculada teremos o “módulo de distância” definido pela diferença entre as magnitudes aparentes e absolutas, que nos fornecerá, portanto, a distância do objeto observado.

$$m - M = 5 \cdot \log(d) - 5$$

Sendo que **m** representa a magnitude aparente observada, **M** a magnitude absoluta obtida da relação período-luminosidade e **d** a distância em parsec.

Parsec (pc) é uma unidade de medida de distância em astronomia. Um parsec equivale a distância na qual um astro possui paralaxe de 1" o que corresponde a 3,26 anos luz. Uma das facilidades em se usar o parsec é que a distância (d) nesta unidade é facilmente obtida a partir da paralaxe (π), pois: $d \text{ (pc)} = 1/\pi$. Explicando o que é paralaxe que citamos anteriormente, é o deslocamento angular de um objeto (mais próximo), em relação a outros (mais distantes) quando observados de pontos diferentes.

IV.2.1 - Atividade Estrelas Variáveis

Como muitas outras grandezas variáveis, as mudanças de brilho das estrelas são caracterizadas por seus períodos e amplitudes. Tanto em um caso quanto no outro, esses parâmetros se estendem por uma gama muito grande de valores. No caso do período, por exemplo, podemos ir de segundos ou menos até anos, no caso da amplitude (que caracteriza a variação de magnitude) podemos ir de frações até dezenas de magnitudes.

As estrelas variáveis também podem ser agrupadas, como veremos mais adiante, segundo esses parâmetros, principalmente o período. Aliás, no contexto da atividade proposta, o período como veremos, tem um peso muito grande na maior ou menor dificuldade para desenvolvê-la, sobretudo ao buscarmos a observação de um ciclo completo.

Nossa intenção aqui é que o aluno descubra que os brilhos de muitas estrelas não são constantes, que a busca da explicação por tais variações passa pelo estudo da própria variabilidade (período e amplitude), compreensão de alguns dos mecanismos que provocam variação de brilho e também, pela consciência fundamental do que é uma estrela. Acreditamos que a descoberta da variação de brilho de uma estrela, seja por si só bastante atraente e motivadora, fato que pode e deve ser explorado e pesquisado com os alunos. Entretanto a obtenção, através de observações, da medida do brilho (magnitude) e a percepção de sua variação, deve ser ainda mais motivadora. Finalmente, incluímos nessa atividade, além da observação, a construção da própria curva de luz e determinação de período, quando for o caso, e amplitude, além de uma análise das características da própria curva.

Trata-se a nosso ver, de um campo riquíssimo a ser explorado por professores e alunos. Acreditamos que através de uma atividade como essa, muito se aprende a respeito do trabalho dos cientistas, do que significa a palavra “observação” para um astrônomo, a respeito dos cuidados no manuseio de dados, da análise que nos leva a explicação. Certamente, dependendo da faixa etária e do nível de escolaridade, o professor poderá aprofundar mais ou menos suas discussões.

Basicamente, essa atividade consiste em observar repetidamente uma ou algumas estrelas variáveis de forma a poder construir sua curva de luz, gráfico do fluxo e/ou magnitude em função do tempo. Para isso usamos com menor frequência papel milimetrado e com maior frequência o Microsoft Office Excel. Em seguida, essa curva de luz deve ser explorada visando a determinação do período da variabilidade e da amplitude. O formato da curva bem como o período e amplitude poderão ser usados, por exemplo, para classificar a estrela segundo sua variabilidade e discutir o mecanismo causador dessa variação de brilho. Dependendo do tipo de variável, seus parâmetros podem ainda ser explorados na obtenção de outras grandezas astronômicas.

Nos exemplos a seguir, procuramos chamar a atenção do professor para vários detalhes do campo de observação que ajudam ou prejudicam a construção da curva de luz: saturação do alvo, número de estrelas de referência, qualidade em termos de estabilidade de brilho dessas estrelas de referência, etc. Como muitas vezes não temos informações a respeito do comportamento do brilho da estrela ou da região do campo onde se encontra optamos por trabalhar com 3 ou 4 estrelas de referência. Essa estratégia nos permite realizar uma escolha da melhor curva de luz entre as três obtidas. Entretanto, com a experiência adquirida com este trabalho, podemos dizer que seria melhor um número maior de estrelas de referência, digamos no mínimo 6 permitindo, após eliminações, trabalhar com pelo menos 2 ou 3.

Procuramos trabalhar com um número diversificado de tipos de variáveis justamente para ilustrar o panorama real e para despertar a curiosidade em relação aos diversos tipos de curva de luz.

Essa atividade foi simplificada ao máximo uma vez que o objetivo é a consciência e detecção da variabilidade do brilho estelar, eventual determinação do período e amplitude, e a compreensão de alguns mecanismos que possam explicar a variabilidade, além é claro, do próprio conceito de estrela. O objetivo não é a realização de um trabalho fotométrico preciso. Dessa forma dispensamos uma série de cuidados levados em conta em trabalhos fotométricos, como por exemplo, “flat field”, “bias”, etc. Já o “dark” foi aqui realizado para todas as imagens. O trabalho pode ser realizado, em princípio, utilizando-se o fluxo ou a magnitude. Acreditamos que o conceito de fluxo seja muito mais palpável do que aquele de magnitude para o nosso público alvo. Entretanto, o fluxo pode variar muito por vários motivos: instabilidade atmosférica, muda de detector para detector e também da própria variabilidade estelar. Neste caso a magnitude parece ser mais interessante e em geral, fornece uma curva de luz mais “comportada” do que aquela do fluxo. Pois, ao calcularmos a magnitude usando a fórmula de Pogson em relação a uma estrela de referência não variável estes fatores serão corrigidos. Tomamos a liberdade de ao falar com os alunos, utilizar preferencialmente o termo brilho em vez de magnitude aparente, entretanto, estamos conscientes que se trata de uma questão muito importante e que exige mais reflexões tendo em vista a linguagem a ser utilizada no Caderno de Atividades.

Embora, nessa dissertação estejamos trabalhando com o conceito de magnitude, estamos preocupados e buscando alternativas para o trabalho com alunos. A ordem inversa na magnitude, mesmo em níveis mais avançados de escolaridade tem se mostrado um grande problema. Pretendemos para o futuro Caderno de Atividades analisarmos a possibilidade de criar uma nova escala de classificação para o brilho das estrelas que seja direta e mais fácil de compreender.

A quase totalidade dos alvos propostos foram observados, entretanto, não foi possível cobrir todo um período de variação para muito deles. Nessas observações testamos vários aspectos importantes na execução da tarefa e procuramos aqui, alertar o usuário das dificuldades em cada caso.

Um desses aspectos diz respeito à identificação da estrela alvo no campo. Outro, à riqueza de estrelas no campo, a identificação de estrelas de referência e assim por diante. A magnitude da estrela alvo pode ser obtida pela equação de **Pogson**: $(m_A - m_{Ref}) = -5/2 \log_{10}(F_A/F_{Ref})$. Onde m_A é a magnitude do alvo que se quer determinar, m_{Ref} é a magnitude

da estrela de referência que é conhecida e deve ser constante, F_A é o fluxo do alvo, e F_{Ref} o fluxo da estrela de referência. Todo o processo descrito para a variável de curto período é igualmente válido para todas as outras variáveis que foram propostas no presente trabalho. A partir desta experiência prática e também de acompanhar as atividades do Telescópio Argus no projeto TnE, ao longo de 12 anos e ver as dificuldades e facilidades que os usuários (professores e alunos) tiveram, acreditamos que alguns passos serão mais difíceis e outros mais fáceis.

Normalmente a parte mais fácil é a aquisição de imagens, pois neste momento os usuários recebem uma ajuda da equipe do observatório, facilitando em muito. Existe a possibilidade de usar o equipamento antecipadamente só para aprender a operar o mesmo. Também o uso de imagens ou dados de um Banco de Dados facilita esta etapa. Por último a observação dos astros é vista pelos usuários como a parte mais incentivadora da astronomia despertando o interesse e consequentemente facilitando o uso do mesmo.

Normalmente, a facilidade com que o usuário já manipula o computador e internet ajudará em muitos aspectos. Desde aprender o uso de softwares como Stellarium e Carte du Ciel, consultas a catálogos estelares, etc., até a construção de tabelas e gráficos. Acreditamos que com poucas orientações é possível dar as condições necessárias para que o usuário realize todas as operações descritas anteriormente. Por último, o que a prática nestes 12 anos tem mostrado que o mais difícil é a análise e a redução das imagens. Extrair as informações que se quer das observações e posterior exploração científico-didática, a principal deficiência desta última etapa é a falta de um programa de fácil utilização para o usuário, um que tudo ou quase tudo seja realizado apenas com o click do mouse.

A título de exemplo, no que diz respeito as estrelas variáveis discutimos detalhadamente a seguir um exemplo de cada grupo: SX Phe (curto período), T Vul (médio período) e Mira Cetus (longo período). Várias etapas mostradas a seguir como reconhecimento do campo e do alvo, obtenção das imagens, tabelas, gráficos e discussão das dificuldades e facilidades servem como exemplo também para as outras atividades como “Objetos rápidos” e “A Cor das estrelas”.

IV.2.2 - SX Phe curto período

O período de variabilidade deste alvo é de 79 minutos e variabilidade de 6,8 a 7,5 magnitudes (AAVSO), em todo este trabalho quando citamos apenas magnitude estamos nos referindo a magnitude aparente obtida com o filtro V (Visível). Foram realizadas 18 observações num intervalo de quase 5 horas, cobrindo, portanto, mais de 3 ciclos completos.

Todas as observações foram realizadas com um tempo de integração de 60 segundos. As medidas dos fluxos do alvo e das estrelas de referência, assinaladas na figura IV.2, foram obtidos através do programa SalsaJ. Posteriormente, utilizando dados das magnitudes do catálogo UCAC4 (Zacharias et al. 2013). Calculamos assim a magnitude do alvo em relação a magnitude das estrelas de referência usando para isso a fórmula de Pogson.

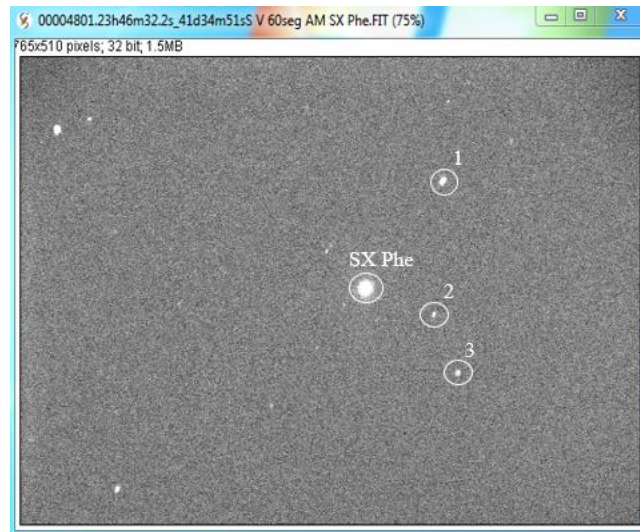


Figura IV.2 - Imagem do campo da cefeida SX Phe. Os círculos 1, 2 e 3 correspondem às estrelas adotadas como referência.

As estrelas acima, o alvo e as 3 estrelas de referências, foram identificados através do mapa virtual Aladin:

(<http://aladin.ustrasbg.fr/AladinLite/?target=23%2046%2033%2041%2034%2055&fov=0.37&survey=P%2FDSS2%2Fcolor>).

Todos os outros campos observados neste trabalho foram identificados deste mesmo modo.

Alvo SX Phe - UCAC4 243-194062, AR = 23h 46m 33s e DE = -41° 34' 55".

Estrela de referência 1 - UCAC4 242-184251, $V_1 = 12,0$; AR = 23h 46m 51s e DE = -41° 37' 29".

Estrela de referência 2 - UCAC4 242-184244, $V_2 = 13,8$; AR = 23h 46m 30s e DE = -41° 37' 25".

Estrela de referência 3 - UCAC4 242-184241, $V_3 = 13,8$; AR = 23h 46m 21s e DE = -41° 38' 17".

Na tabela IV.1 apresentamos as medidas de fluxo do alvo e de cada uma das estrelas de referências e também o intervalo de tempo transcorrido a partir da primeira observação até a última. Já na tabela IV.2 temos as magnitudes obtidas para a estrela alvo relativa a cada uma das estrelas de referência bem como a média desses 3 valores e os instantes correspondentes. O $T = 0$ corresponde ao instante da primeira observação.

Tabela IV. 1 – Dados observacionais medidos para as estrelas SX Phe e referências.

Tempo (min.)	Fluxo* SX Phe	Fluxo* Estrela Ref. 1	Fluxo* Estrela Ref. 2	Fluxo* Estrela Ref. 3
0	1.457.378	23.915	4.320	5.559
5	1.408.481	24.720	5.541	4.673
20	778.387	12.734	2.043	2.301
22	1.480.304	25.523	3.802	4.011
38	2.060.143	25.657	5.353	4.141
51	2.210.103	25.037	4.856	4.282
63	1.626.782	23.545	3.878	4.930
76	1.609.204	26.637	5.129	5.290
87	1.551.020	27.616	5.093	5.566
100	1.642.599	28.548	5.357	5.824
112	2.239.960	28.341	4.925	4.433
124	2.607.050	28.537	5.156	5.520
137	2.018.529	28.945	5.077	5.719
149	1.807.857	29.647	5.674	5.855
163	1.720.205	30.204	4.994	5.184
205	2.351.383	30.741	5.385	5.518
234	1.960.633	31.533	5.464	6.758
288	2.658.628	33.187	6.210	5.886

*o fluxo ou o número de contagens da câmera CCD não tem unidade sendo uma medida adimensional.

Tabela IV.2 – Magnitudes do alvo relativas a cada estrela de referência e magnitude média.

Tempo (min.)	Mag. SX Phe Ref. 1	Mag. SX Phe Ref. 2	Mag. SX Phe Ref. 3	Mag. (média)
0	7,49	7,46	7,76	7,57
5	7,56	7,77	7,76	7,65
20	7,48	7,33	7,49	7,43
22	7,54	7,30	7,39	7,41
38	7,19	7,32	7,07	7,19
51	7,09	7,13	7,03	7,08
63	7,35	7,22	7,51	7,36
76	7,50	7,54	7,60	7,55
87	7,58	7,57	7,70	7,62
100	7,55	7,56	7,69	7,60
112	7,21	7,14	7,05	7,13
124	7,05	7,02	7,13	7,06
137	7,34	7,28	7,44	7,35
149	7,49	7,52	7,59	7,53
163	7,56	7,44	7,51	7,50
205	7,24	7,18	7,24	7,22
234	7,47	7,39	7,65	7,50
288	7,19	7,20	7,17	7,19

Primeiramente, procedemos a uma análise do comportamento temporal do fluxo de cada uma das estrelas observadas. Analisar o fluxo nos parece mais natural, mais intuitivo e deveria ser preferido, entretanto, o fluxo está sujeito a variações outras além daquelas que estamos procurando. Essas outras variações podem ser compensadas utilizando-se as diferenças entre os fluxos da estrela alvo e das estrelas de referência. No caso da diferença entre os fluxos das estrelas de referência, eles devem ser constantes ou próximos de um valor fixo, pois, as estrelas de referência têm, ou deveriam ter, fluxo constante sendo, portanto, a diferença constate, se a diferença dos fluxos varia significa que muito provavelmente a transparência do céu variou. Entretanto, nem sempre os resultados são satisfatórios, a análise dos gráficos que obtemos nos mostram isso, e muitas vezes os fluxos variam de forma bizarra sem uma explicação clara. Note, por exemplo, nos quatro gráficos a seguir figuras IV.3, IV.4, IV.5 e IV.6 o terceiro ponto deixa a tendência geral em todos os casos. Isso significa uma diminuição do fluxo para o campo todo, é o que pode ocorrer devido, por exemplo, a passagem de nuvens. E claro, essa variação desapareceria trabalhando-se com as diferenças entre os fluxos da estrela alvo e de referência.

Já no caso do quarto ponto, a situação é distinta. Para o alvo e referência 1 e 3 o ponto segue uma tendência geral, já, para a referência 2 isso não é verdade.

Devido a essas variações “aleatórias” que pudemos notar em quase todos os campos, optamos por trabalhar com as magnitudes supostas constantes para as estrelas de referência. Certamente, a variação no fluxo das estrelas de referência irá interferir no resultado final, mas pareceu-nos que a análise fica mais clara. Em todo caso, esse é um problema que deve ser superado para o Caderno de Atividades, usando um número maior de estrelas de referência.

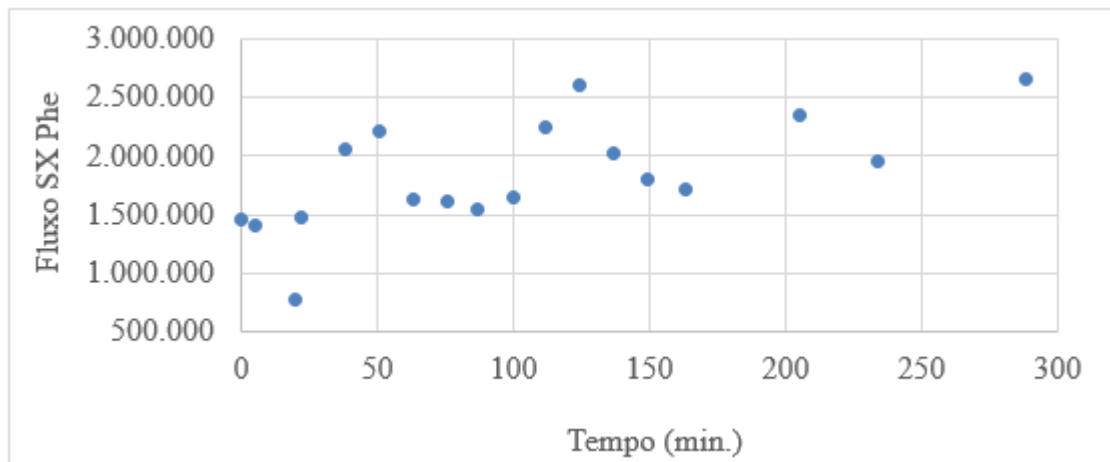


Figura IV.3 – SX Phe: *fluxo x tempo (min.)*.

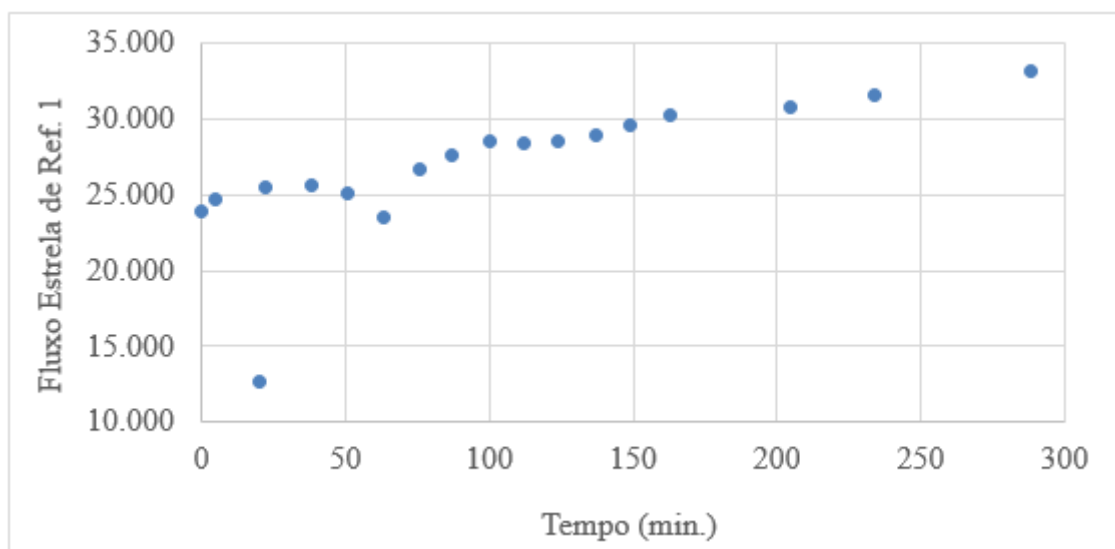


Figura IV.4 – Referência 1: *fluxo x tempo (min.)*.

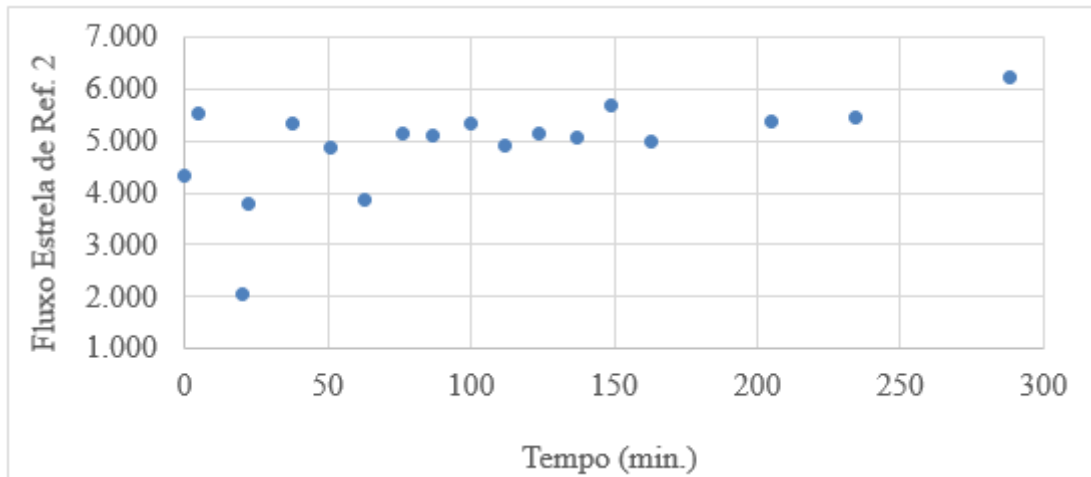


Figura IV.5 – Referência 2: *fluxo x tempo (min.)*.

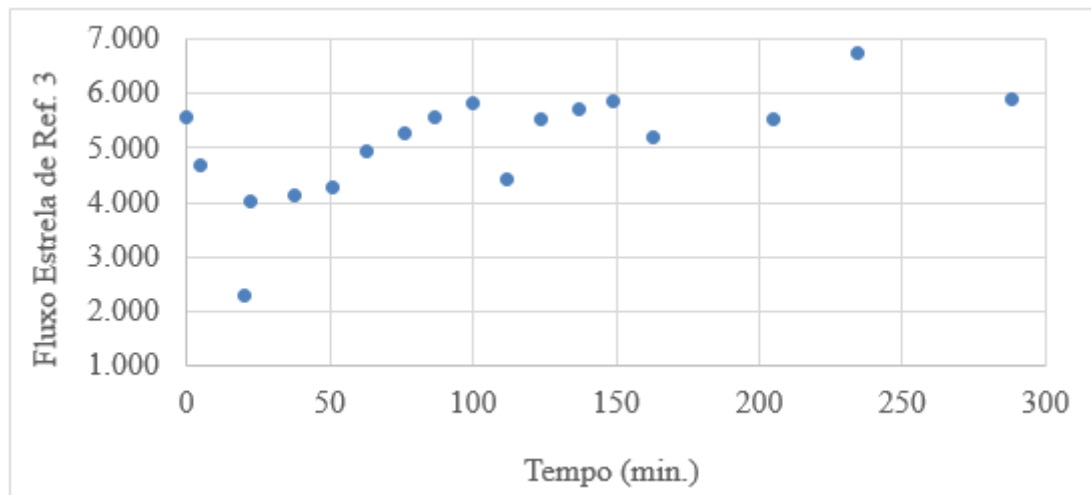


Figura IV.6 – Referência 3: *fluxo x tempo (min.)*.

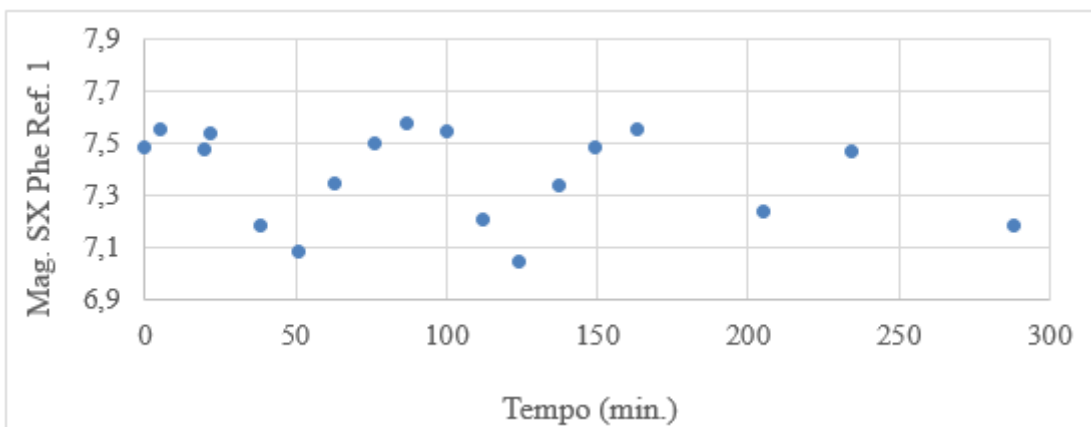


Figura IV.7 – Magnitude de SX Phe obtida com a estrelas de referência 1 x tempo (min.).

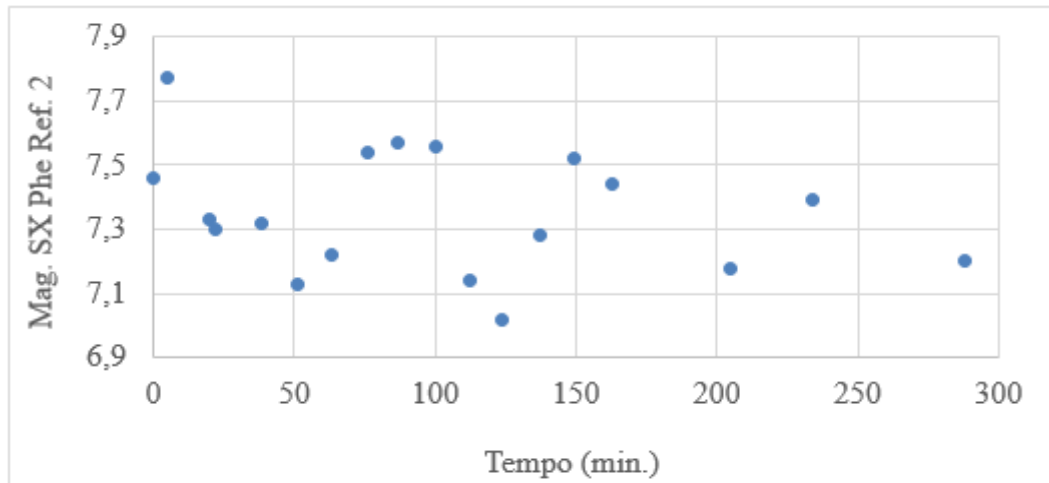


Figura IV.8 – Magnitude de SX Phe obtida com a estrela de referência 2 x tempo (min.).

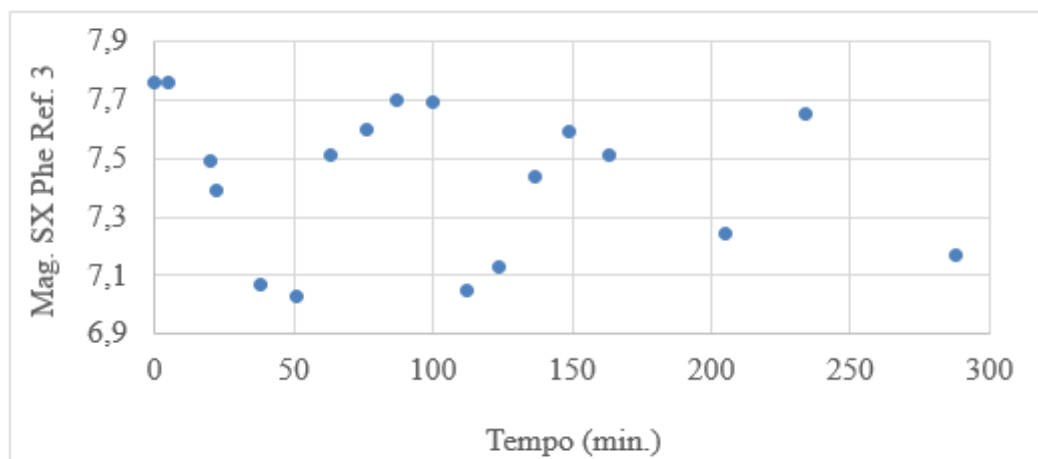


Figura IV.9 - Magnitude de SX Phe obtida com a estrela de referência 3 x tempo (min.).

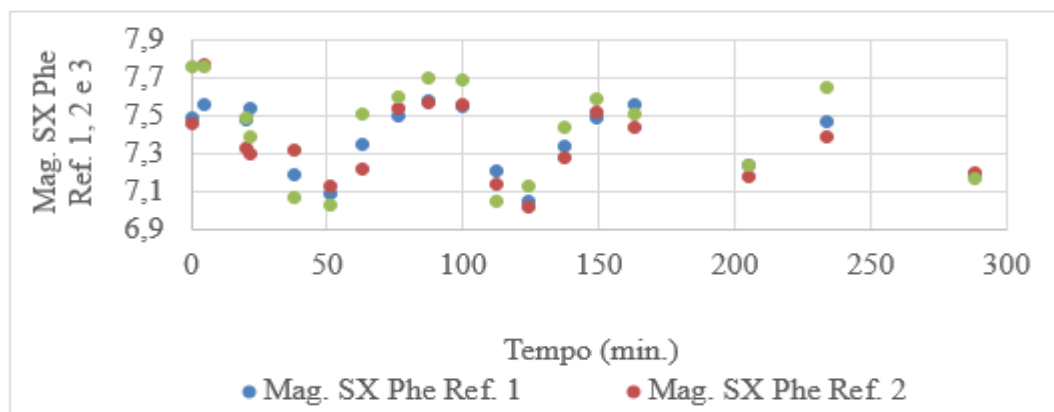


Figura IV.10 – Magnitude de SX Phe obtida com cada estrela de referência x tempo (min.).

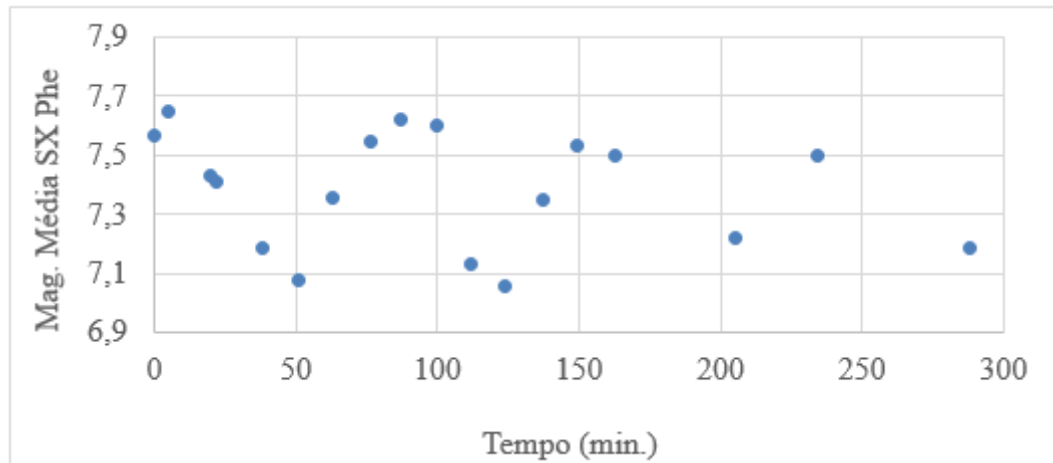
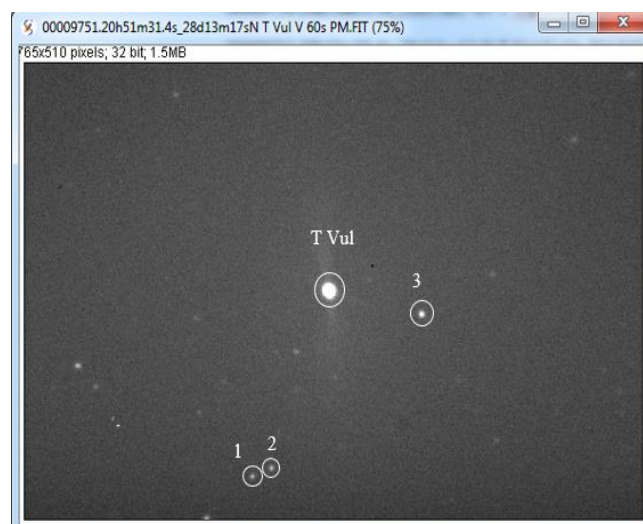


Figura IV.11 - Magnitude média de SX Phe obtida das três estrelas de referência x tempo (min.).

IV.2.3 - T Vul médio período

O período de variabilidade deste alvo é de pouco mais de 4 dias (4,44 dias) e variabilidade 5,4 a 6,1 magnitudes (magnitude aparente obtida com filtro V). Foram realizadas 16 observações num intervalo de 9 dias, cobrindo 2 ciclos com tempo de integração de 60 segundos para todas as imagens. Na figura IV.12 a seguir, temos o campo desse alvo, onde a exemplo do anterior, estão identificados o alvo T Vul e três estrelas utilizadas como referência.



*Figura IV.12 - Imagem do campo da variável de médio período T Vul.
Os círculos 1, 2 e 3 correspondem as estrelas de referência.*

Alvo T Vul - UCAC4 592-119745, AR = 20h 51m 28s e DE = +28° 15' 02".

Estrela de referência 1 - UCAC4 592-119876, $V_1 = 11,1$; AR = 20h 51m 54s e DE = +28° 12' 50".

Estrela de referência 2 - UCAC4 592-119872, $V_2 = 11,0$; AR = 20h 51m 52s e DE = +28° 13' 26".

Estrela de referência 3 - UCAC4 592-119759, $V_3 = 10,1$; AR = 20h 51m 31s e DE = +28° 18' 03".

A exemplo do alvo anterior apresentamos nas tabelas IV.3 e IV.4 os fluxos e magnitudes com os instantes correspondentes tomando a primeira observação como origem ($T = 0$).

Tabela IV.3 – Dados observacionais medidos para as estrelas T Vul e referências.

Tempo (dias)	Fluxo T Vul	Fluxo Ref. 1	Fluxo Ref. 2	Fluxo Ref. 3
0,00	779.668	2.865	4.157	17.720
0,05	708.721	2.731	3.164	16.758
0,97	204.498	230	1.303	4.925
1,01	335.650	2.597	5.233	9.107
1,83	461.401	2.727	2.730	13.948
1,99	636.053	3.410	4.794	19.371
2,87	1.287.271	2.361	2.488	23.073
3,05	1.503.088	6.882	5.090	25.154
3,88	939.533	4228	4.342	18.780
3,97	978.484	8.288	8.018	20.684
4,04	999.974	4.277	4.320	20.644
4,85	710.931	1.623	4.302	18.235
5,86	610.271	1.684	1.898	18.031
6,90	811.528	900	3.544	19.264
7,87	1.087.654	1.748	3.002	20.296
9,02	220.338	2.068	2.865	5.695

Tabela IV.4 – Magnitudes de T Vul relativas a cada estrela de referência e magnitude média.

Tempo (dias)	Mag. T Vul Ref. 1	Mag. T Vul Ref. 2	Mag. T Vul Ref. 3	Mag. (média)
0,00	5,05	5,35	6,00	5,47
0,05	5,10	5,15	6,04	5,43
0,97	3,77	5,54	6,06	5,12
1,01	5,86	6,51	6,19	6,19
1,83	5,57	5,46	6,31	5,78

1,99	5,46	5,72	6,32	5,84
2,87	4,30	4,25	5,74	4,76
3,05	5,29	4,85	5,67	5,27
3,88	5,27	5,19	5,86	5,44
3,97	5,96	5,81	5,92	5,90
4,04	5,22	5,12	5,90	5,41
4,85	4,54	5,48	6,13	5,38
5,86	4,74	4,76	6,29	5,26
6,90	3,75	5,13	6,05	4,98
7,87	4,16	4,63	5,79	4,86
9,02	6,07	6,32	6,14	6,18

Os gráficos das figuras IV.13 a IV.16 nos mostram o comportamento dos fluxos do alvo T Vul e das estrelas de referências 1, 2 e 3 em função do tempo. Esses gráficos confirmam a grande dificuldade de se trabalhar com os fluxos, pois as estrelas de referência mostram variações inesperadas e não em sintonia umas com as outras. Uma possibilidade é que essas estrelas tomadas como referências sejam variáveis não identificadas, mas devem também existir possibilidades técnicas ou observacionais que desconhecemos.

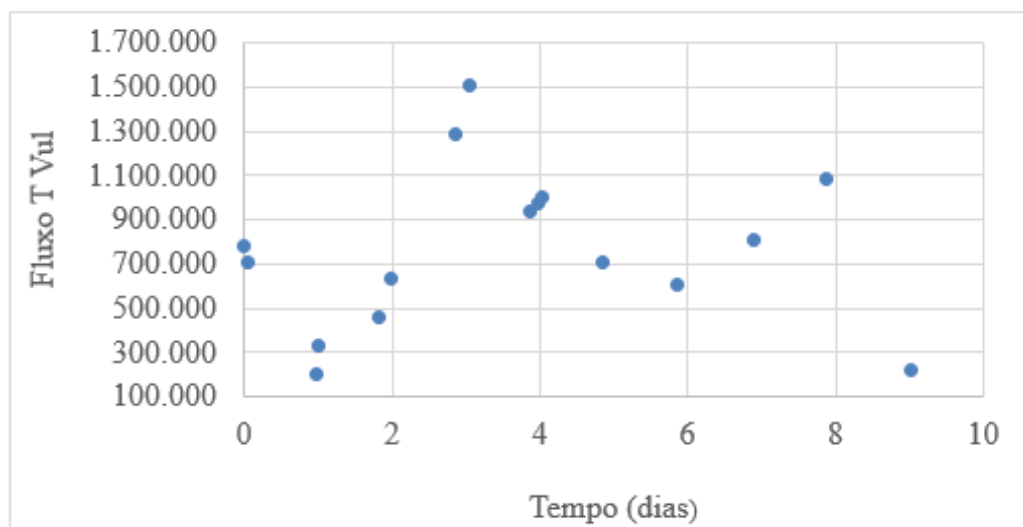


Figura IV.13 – T Vul: fluxo x tempo (dias).

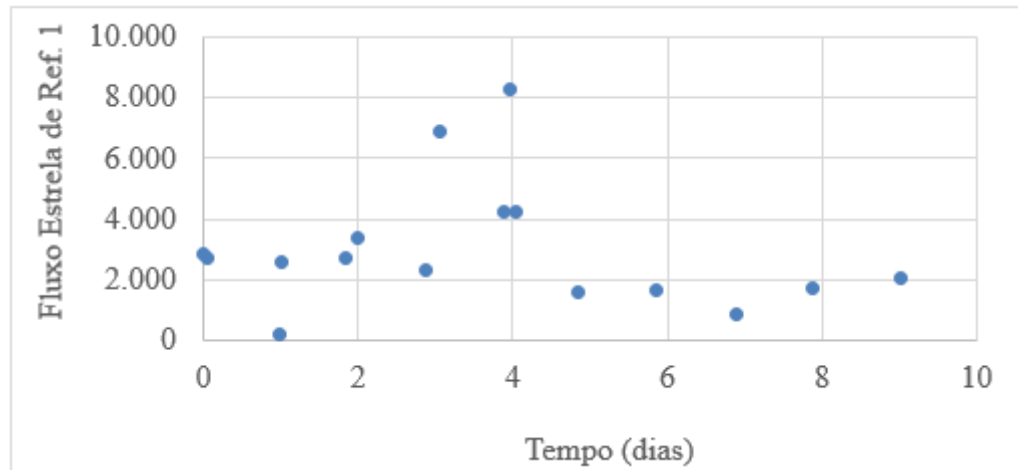


Figura IV.14 - Referência 1: *fluxo x tempo (dias)*.

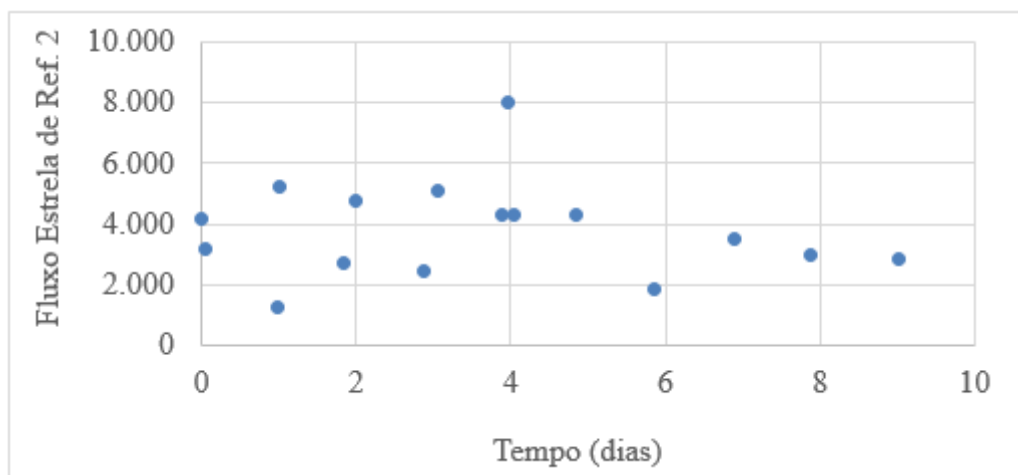


Figura IV.15 – Referência 2: *fluxo x tempo (dias)*.

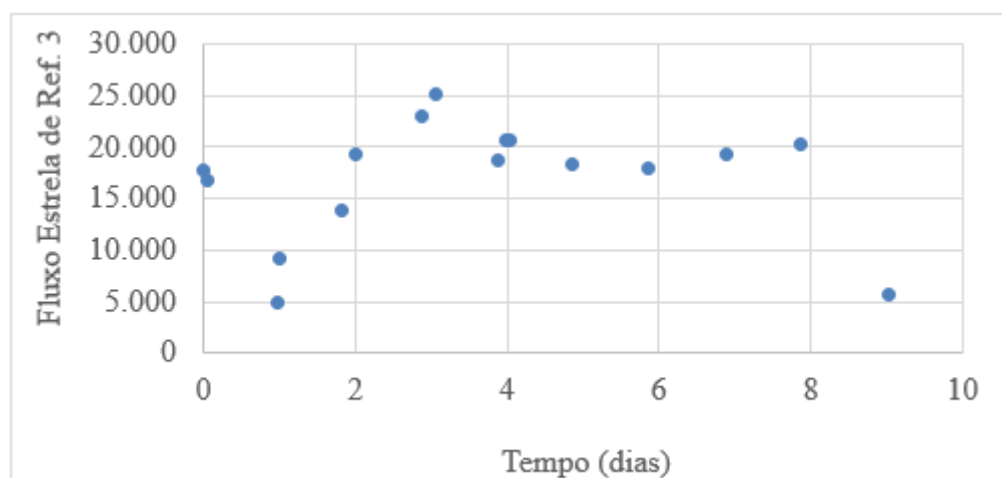


Figura IV.16 – Referência 3: *fluxo x tempo (dias)*.

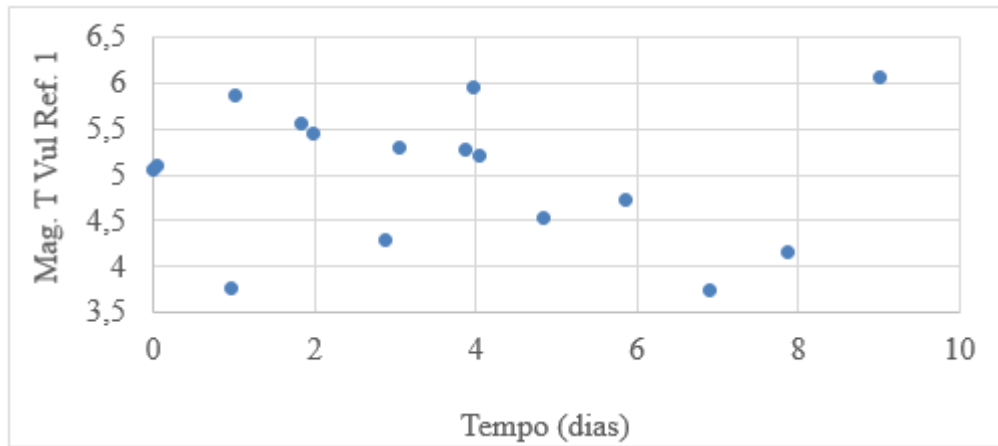


Figura IV.17 – Magnitude de T Vul obtida com a estrela de referência 1 x tempo (dias).

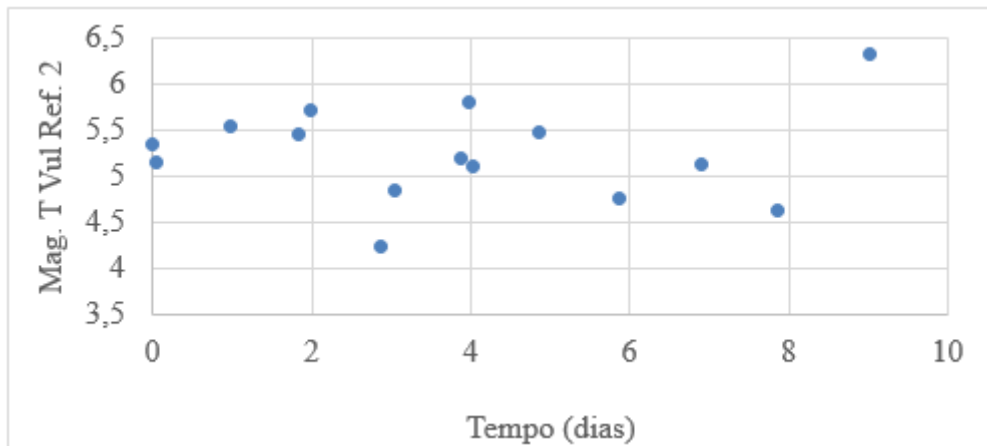


Figura IV.18 – Magnitude de T Vul obtida com a estrela de referência 2 x tempo (dias).

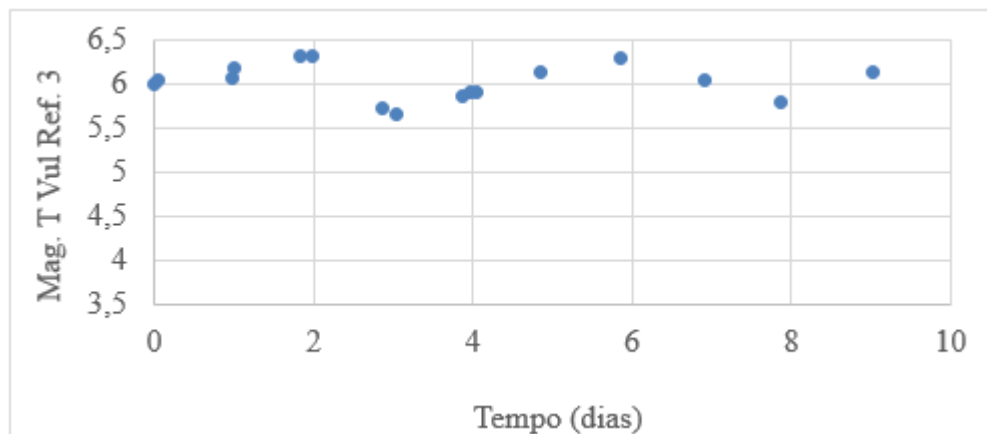


Figura IV.19 – Magnitude de T Vul obtida com a estrela de referência 3 x tempo (dias).

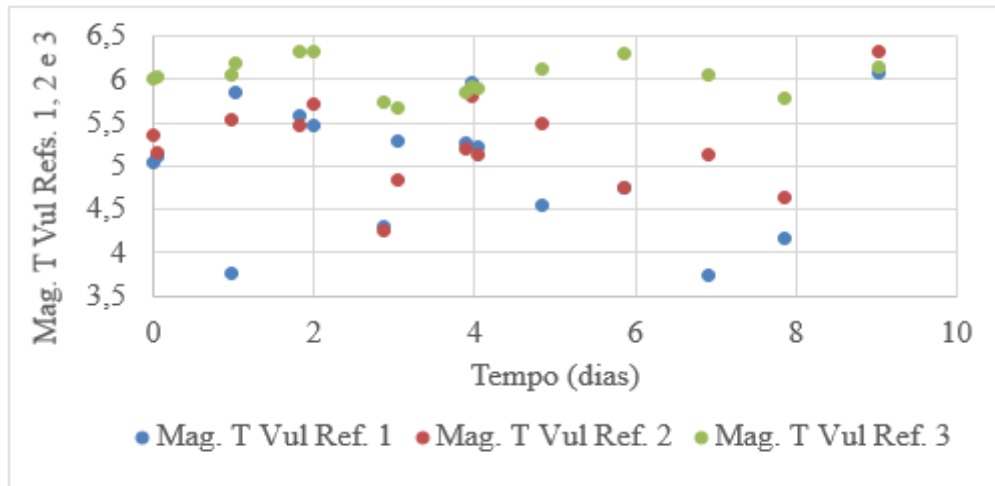


Figura IV.20 – Magnitude de T Vul obtida com cada estrela de referência x tempo (dias).

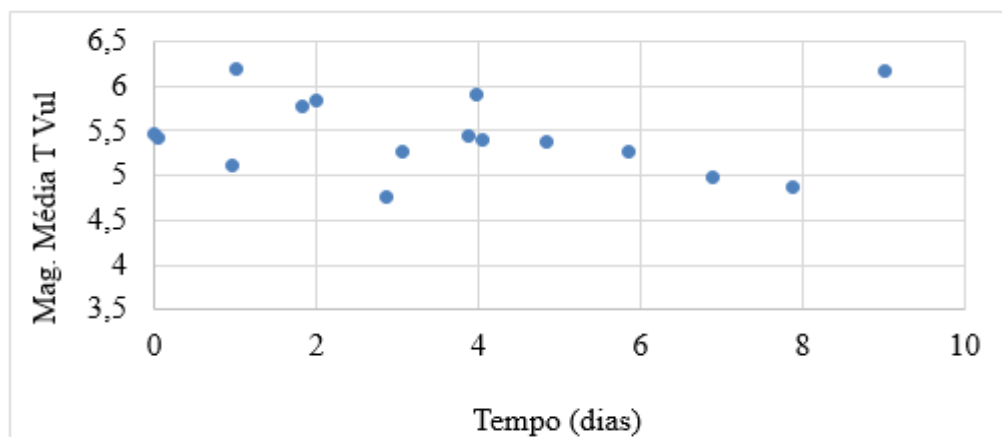


Figura IV.21 – Magnitude média de T Vul obtida das três estrelas de referência x tempo (dias).

É clara a necessidade de usarmos mais estrelas de referência. A curva de luz obtida com a referência 3 é mais consistente do que as demais que apresentam oscilações aparentemente espúrias.

IV.2.4 - Mira Cetus longo período

Esta estrela é uma variável gigante vermelha do tipo cefeida aumentando e diminuindo de diâmetro ciclicamente. O período de variabilidade de Mira Cetus é cerca de 332 dias com a magnitude variando aproximadamente de 2,0 a 10,1. Foram realizadas 23 observações com diversos tempos de integração num intervalo de 380 dias, cobrindo pouco mais de 1 ciclo. A

exemplo dos alvos anteriores, o momento da primeira observação foi adotado como o instante zero. O tempo de pose variado deve-se ao fato de que ao longo do ano a magnitude de Mira Cetus variou muito. Isso nos obrigou a diminuir o tempo de integração quando Mira Cetus estava nas proximidades do máximo brilho para evitar saturação do alvo, em outros momentos tivemos que aumentar o tempo de pose quando Mira estava no menor brilho, detectando o alvo que estava fraco e com o maior número possível de estrelas de referência. Assim quando fosse realizada a análise poderíamos selecionar as melhores estrelas de referência. Dificilmente, um grupo de alunos poderia coletar dados suficientes para construir uma curva de luz para uma estrela com período tão longo. Mesmo assim, ainda é possível desenvolver um projeto com esses objetos contando com observações paralelas realizadas pela equipe do observatório Abrahão de Moraes presentes num Banco de Dados. Poderia também ser realizada combinando dados obtidos por mais de um grupo. Na figura IV.22 a seguir temos o campo de Mira Cetus onde o alvo e as estrelas de referência adotadas encontram-se devidamente identificadas.



Figura IV.22 - Imagem do campo da variável de longo período Mira Cetus. Os círculos 1, 2 e 3 correspondem as estrelas de referências.

Alvo Mira Cetus - UCAC4 436-002922, AR = 02h 19min 21s e DEC = -02° 58' 40".

Estrela de referência 1 - UCAC4 436-002925, $V_1 = 9,7$, AR = 02h 19m 29s e DEC = -02° 57' 58".

Estrela de referência 2 - UCAC4 436-002923, $V_2 = 14,1$, AR = 02h 19m 26s e DEC = -02° 58' 16".

Estrela de referência 3 - UCAC4 436-002920, $V_3 = 13,7$, AR = 02h 19m 15s e DEC = -02° 56' 30".

Na tabelas IV.5 a seguir, temos os fluxos da estrela alvo e das estrelas de referências medidos e os instantes correspondentes tomando como origem o instante da primeira observação ($T = 0$). Já na tabela IV.6 temos as magnitudes calculadas relativas a cada uma das estrelas de referências. Infelizmente, como se pode notar nas tabelas, as estrelas de referência 2 e 3, mais fracas, deixaram de ser observadas em muitas noites certamente devido a má qualidade do céu.

Tabela IV.5 – Dados observacionais medidos para as estrelas Mira Cetus e referências.

Tempo (dias)	Fluxo Mira Cetus	Fluxo Ref. 1	Fluxo Ref. 2	Fluxo Ref. 3
0	1.219.004	199.032	2.833	-
6	835.279	172.422	1.950	2.937
7	601.543	134.406	1.536	2.421
21	1.047.465	383.399	4.623	8.365
28	292.070	130.260	2.215	2.397
30	190.799	85.431	1.244	1.679
43	299.805	199.504	2.218	3.535
137	639.931	99.966	- *	1.918
145	1.543.896	85.833	1.533	1.234
178	729.412	2.285	-	-
182	521.084	1.733	-	-
183	440.945	1.235	-	-
184	290.241	1.120	-	-
198	1.572.550	6.453	-	-
267	154.774	3.547	-	-
280	328.156	1.2094	-	-
294	125.218	7.638	-	-
309	52.623	5.847	-	-
364	528.318	355.330	3.088	7.402
370	242.980	179.792	1.107	3.814
378	132.974	111.356	302	2.194
385	137.016	110.929	1.512	1.571

*espaço sem valor numérico é por que as condições atmosféricas não eram boas e estas estrelas de referência não apareceram nas imagens.

Tabela IV.6 - Magnitude de Mira Cetus relativa a cada estrela de referência e magnitude média.

Tempo (dias)	Mag. Mira Ref. 1	Mag. Mira Ref. 2	Mag. Mira Ref. 3	Mag. (média)
0	7,7	7,5	-	7,6
6	7,9	7,5	7,6	7,7
7	8,1	7,6	7,7	7,8
21	8,6	8,2	8,5	8,4
28	8,8	8,8	8,5	8,7
30	8,8	8,6	8,6	8,7
43	9,3	8,8	8,9	9,0
137	7,7	- **	7,4	7,5
145	6,6	6,6	6,0	6,4
178	3,4	-	-	3,4
182	3,5	-	-	3,5
183	3,3	-	-	3,3
184	3,7	-	-	3,7
198	3,8	-	-	3,8
267	5,6	-	-	5,6
280	6,1	-	-	6,1
294	6,7	-	-	6,7
309	7,3	-	-	7,3
364	9,3	8,5	9,1	9,0
370	9,4	8,3	9,2	8,9
378	9,5	7,5	9,2	8,8
385	9,5	9,2	8,9	9,2

Nas figuras IV.23 até IV.26 a seguir, vemos o comportamento dos fluxos medidos para a estrela alvo e para as estrelas de referência 1, 2 e 3. Note nas figuras IV.25 e IV.26 estão faltando várias estrelas de referência devido a má qualidade do céu. A partir das duas tabelas anteriores construímos então, os gráficos dos fluxos e das magnitudes em função do tempo.

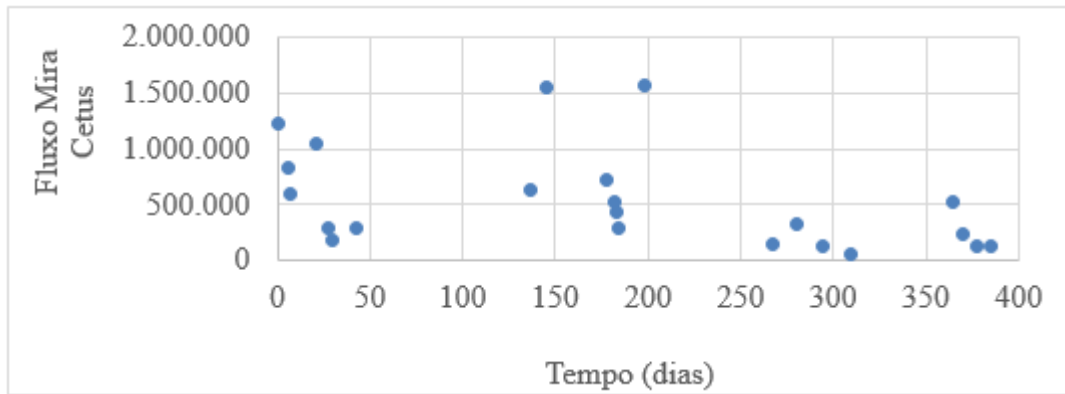


Figura IV.23 - Mira Cetus: *fluxo x tempo (dias)*.

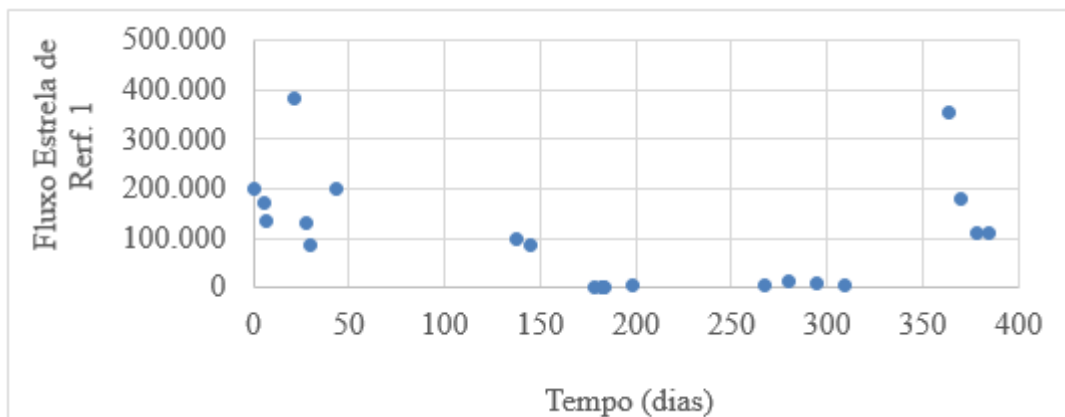


Figura IV.24 - Referência 1: *fluxo x tempo (dias)*.

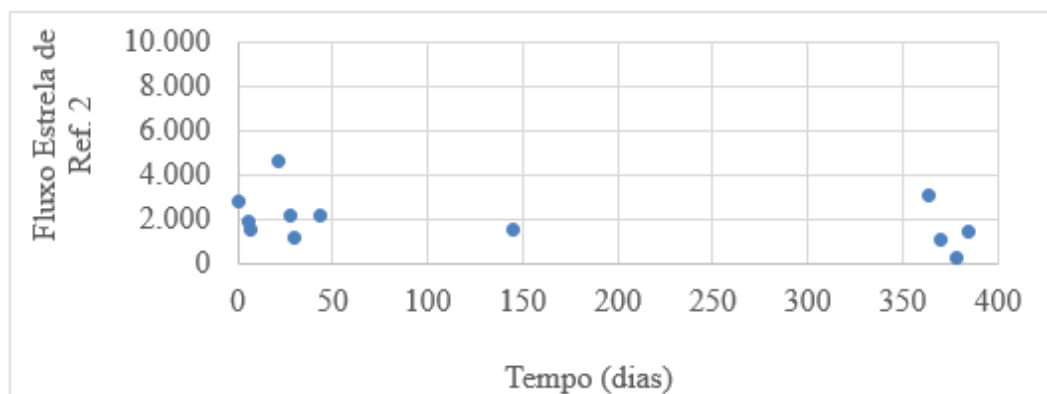


Figura IV.25 - Referência 2: *fluxo x tempo (dias)*.

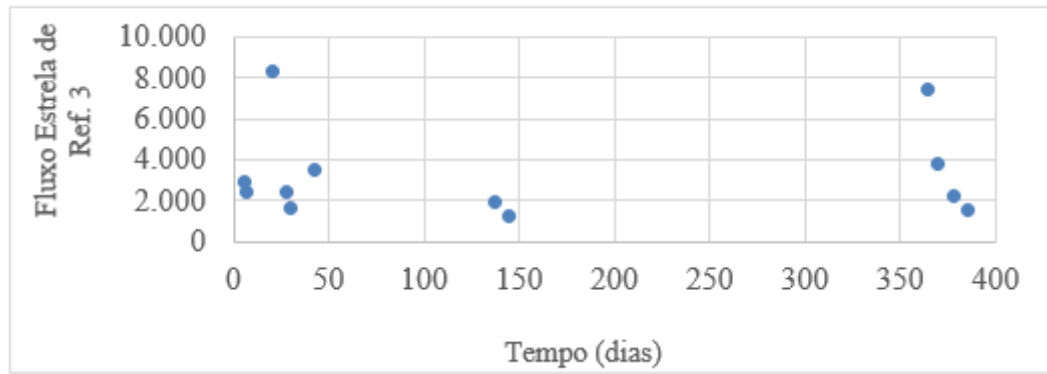


Figura IV.26 - Referência 3: fluxo x tempo (dias).

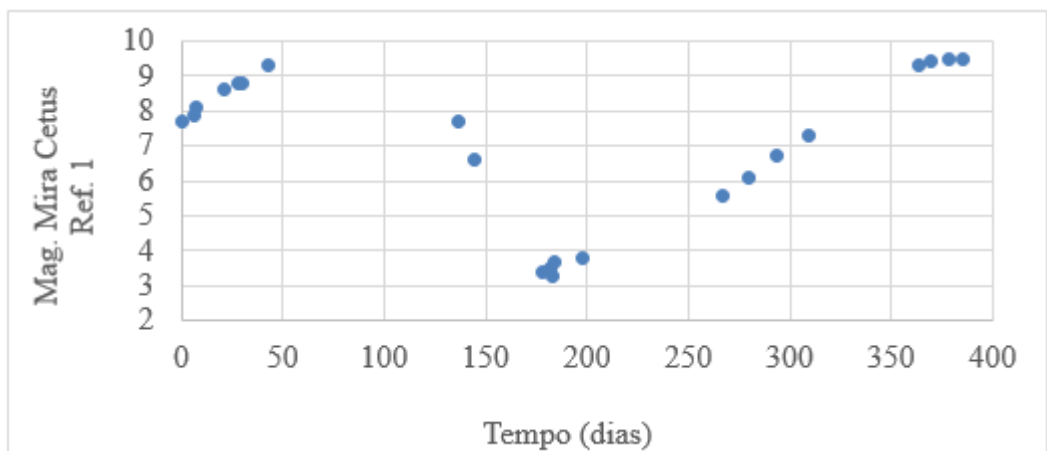


Figura IV.27 - Magnitude de Mira Cetus obtida com a estrela de referência 1 x tempo (dias).

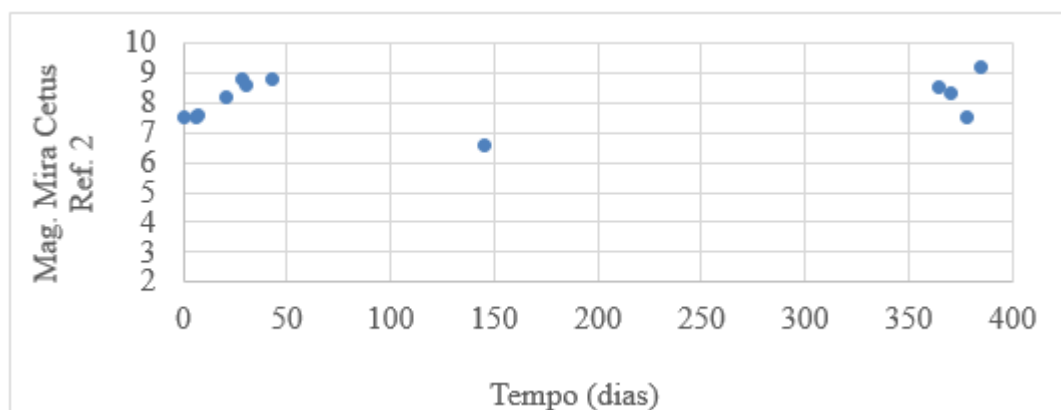


Figura IV.28 - Magnitude de Mira Cetus obtida com a estrela de referência 2 x tempo (dias).

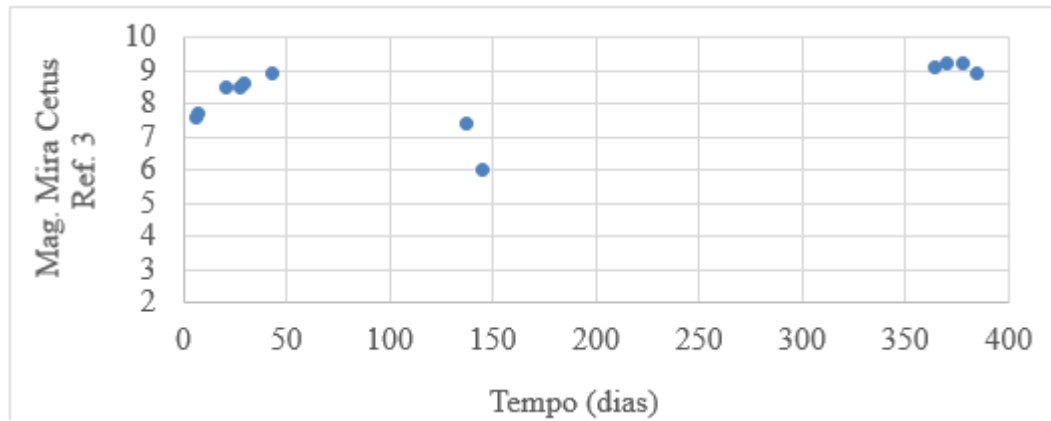


Figura IV.29 - Magnitude de Mira Cetus obtida com a estrela de referência 3 x tempo (dias).

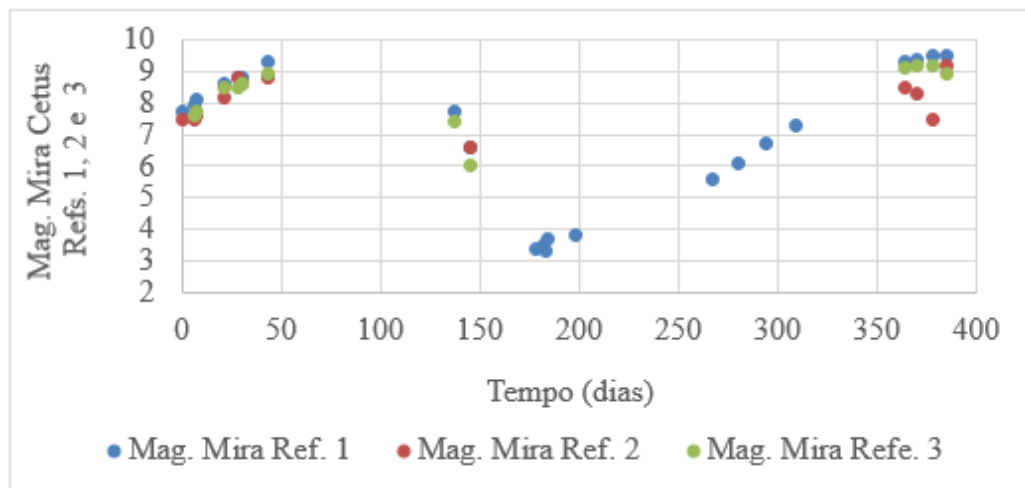


Figura IV.30 - Magnitude de Mira Cetus obtida com cada estrela de referência x tempo (dias).

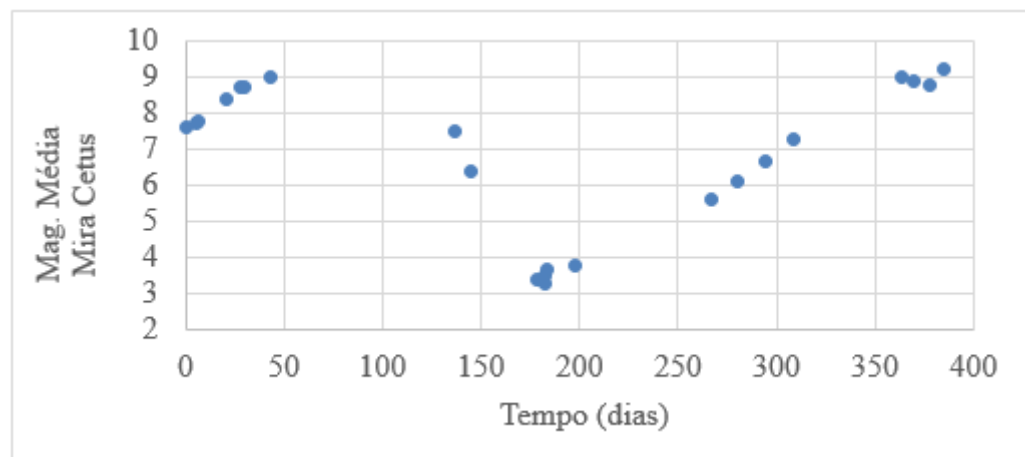


Figura IV.31 - Magnitude média de Mira Cetus obtida a partir das três estrelas de referência x tempo (dias).

IV.3 - Conclusões sobre a atividade Estrelas Variáveis

Após esta experiência prática (as observações) e teórica (tratamentos dos dados até obtenção dos gráficos) concluímos que a atividade até aqui se mostrou viável em todos os seus aspectos. Foi possível obter um gráfico onde professores e alunos possam notar visualmente o período e a amplitude de variabilidade, este é um dos nossos objetivos.

Também ficou claro não ser necessário a realização das imagens de calibração (Flat Field e Bias), pois aqui isso não foi feito e obtivemos uma razoável curva de luz, dentro do nosso objetivo. Já o Dark foi realizado e subtraído para todas as imagens de forma automática através do programa que controla a câmera CCD, o programa *CCD Soft versão 5*, pois ao contrário teríamos muitos espúrios que comprometeriam a qualidade da imagem. Os espúrios são interferências elétricas que produzem falsas “estrelas” e ao fazer o Dark e subtrair eliminamos a quase totalidade deste espúrios. A realização na prática de todas as etapas permitiu concluirmos que não foi só fazer, mas sim descobrir como fazer.

Ao realizarmos as etapas anteriores ficou claro que a demanda de tempo foi maior do que o esperado. Dificilmente um professor ou aluno irá fazer todas as partes da atividade de variabilidade, poderá fazer muito facilmente uma ou outra. Para que isso seja possível reforçamos a necessidade de um Banco de Dados. Assim, se o professor quiser ele só observa e adquire as imagens, ou usa as imagens de arquivo faz a análise e obtém os dados. Também pode observar para obter as imagens e usar o Banco de Dados para complementar suas observações.

CAPÍTULO V

V.1.1 - Objetos rápidos e movimento aparente dos astros

O movimento de um astro qualquer resulta da superposição de seu movimento com aquele do observador. Alguns movimentos do observador são muito bem conhecidos hoje em dia e podem facilmente, ser subtraídos dessa composição ou de alguma forma compensados quando as referências são também por eles afetadas.

De qualquer forma, o movimento espacial dos astros pode ser separado em duas componentes: uma na direção da linha de visada, direção radial, que faz com que o astro se afaste ou se aproxime do observador e outra na direção transversal que provoca alterações na direção onde vemos o astro, ou seja, em sua posição na esfera celeste.

Nas atividades propostas aqui, estamos nos referindo justamente ao movimento na direção transversal, ou seja, àquele que podemos alcançar através da medida da variação temporal da posição do alvo. Quando se trata do deslocamento anual de uma estrela esse movimento é chamado movimento próprio. Já, para os objetos do Sistema Solar, esse movimento não tem um nome especial e decidimos adotar também neste caso, o termo “movimento próprio” ou simplesmente “movimento na esfera celeste”. O movimento na direção radial é obtido através de observações espectroscópicas e está fora do contexto desse trabalho.

V.1.2 - Movimento Próprio

No caso das estrelas, seus movimentos espaciais podem ser considerados retilíneos e uniformes de forma que quando projetados na esfera celeste definem grandes círculos. Assim, o movimento próprio estelar nada mais é do que o deslocamento angular $\Delta\theta$ de uma dada estrela sobre esse grande círculo por unidade de tempo, como mostrado na figura a seguir:

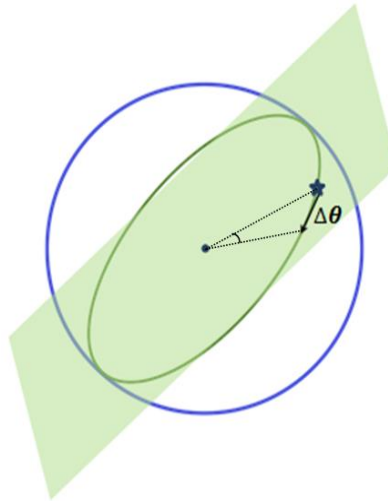


Figura V.1 – Deslocamento angular $\Delta\theta$ na esfera celeste devido ao movimento espacial tangencial de uma estrela, segundo um grande círculo.

Já no caso dos astros do Sistema Solar, a aproximação de movimento retilíneo e uniforme está longe de ser válida, mas mesmo assim, para aquilo que se quer aqui, esses movimentos podem, sem qualquer prejuízo conceitual, serem tratados como os movimentos estelares. Também iremos aqui sempre calcular o movimento em relação ao observador, portanto geocêntrico. Por este motivo não iremos levar em conta o movimento da Terra.

O movimento próprio em geral é representado pela letra grega μ e relaciona-se com a velocidade transversal (componente perpendicular àquela na direção radial – velocidade radial) pela equação simples dada abaixo:

$$\mu = V_T / (4,74.d)$$

onde, μ é o movimento próprio em "/ano, V_T é a velocidade transversal em km/s e d a distância em parsec (pc). O parâmetro 4,74 é que nos permite trabalhar com essas unidades diretamente nesta equação.

Nesta relação, percebe-se que o movimento próprio depende diretamente da velocidade na direção transversal e inversamente da distância astro-observador. Isso significa que estatisticamente as estrelas mais distantes apresentam movimentos próprios menores, ou seja, suas posições variam menos que aquelas das estrelas mais próximas.

Os movimentos próprios estelares são em geral muito pequenos, pois todas as estrelas, com exceção do Sol, encontram-se muito distantes. É muito difícil ter uma boa estatística das estrelas com grandes movimentos próprios. Uma estatística bem desatualizada (Green 1985)

nos diz que teríamos pouco mais de 50 estrelas com $\mu > 2''/\text{ano}$ e pouco mais de 300 com $\mu > 1''/\text{ano}$. Sendo que, a estrela de Barnard é aquela com maior movimento próprio conhecida $\mu \sim 10''/\text{ano}$. Mesmo que esteja desatualizada e que esses números tenham se alterado, certamente o quadro continua mais ou menos o mesmo. Com o segundo “release” do Gaia (satélite astrométrico) poderemos ter números mais confiáveis e sobretudo mais estáveis. Gaia é uma missão espacial da Agência Espacial Europeia (ESA), sucessora da missão Hipparcos. O nome GAIA vem do acrônimo: Global Astrometric Interferometer for Astrophysics.

Já para os objetos do Sistema Solar, esse movimento é muito maior, pois se encontram relativamente próximos do observador na Terra. É exatamente por essa razão que há muito tempo alguns desses corpos chamaram a atenção do Homem. Enquanto para percebermos o movimento próprio estelar necessitamos de muitos anos e de medidas precisas de suas posições, por isso consideradas fixas no passado. A Lua, por exemplo, a olho nu mesmo, é questão de horas. Em duas horas percebe-se com certa facilidade o deslocamento da Lua em relação as estrelas. Também, pode-se com certa facilidade perceber os movimentos dos planetas visíveis a olho nu, mas, para isso, é fundamental um pouco de paciência, neste caso precisaremos de algumas dezenas de dias. Esse movimento muito mais rápido dos corpos do Sistema Solar em relação àquele das estrelas é que permite descobrir novos objetos como asteroides e cometas.

V.2 – Objetivos

Nessa atividade o que se pretende é levar o aluno a perceber que os corpos celestes não são fixos, e nem se movimentam todos em conjunto, como um único bloco. Perceber que existem movimentos independentemente da rotação da Terra por exemplo. Também, faz parte dos objetivos, a estimativa do deslocamento angular, “movimento próprio”, e a consciência de que este depende da distância. Eventualmente, desde que se conheça a distância e dependendo do grau de escolaridade, pode-se ir além, estimando a velocidade transversal que de certa forma nos fornece uma ordem de grandeza do movimento espacial do astro. Além disso, os participantes, poderão compreender como se faz para descobrir astros do Sistema Solar. É através do “movimento próprio” que podem ser descobertos asteroides e cometas. Essa possibilidade de alunos e professores poderem fotografar através de um telescópio uma região do céu várias vezes e depois comparar com uma imagem antiga da mesma região detectando o movimento próprio e assim descobrindo cometas e asteroides tem como objetivo despertar a curiosidade e incentivar o aluno a se interessar pelo aprendizado. Essa atividade nos leva ainda

a refletir e discutir sobre um tema, em geral bastante ignorado, mas essencial que é o conceito, a definição e materialização de um sistema de referência.

V.3.1 - Atividade: Objetos Rápidos

Podemos trabalhar de várias maneiras com objetos rápidos dependendo do que queremos realçar e do nível de profundidade que queremos atingir. Uma primeira possibilidade, menos exigente em termos de escolaridade consiste em observar determinados campos, onde de antemão sabemos existir objetos rápidos: estrelas com grandes movimentos próprios ou objetos do Sistema Solar. Claro, no caso de estrelas teremos que ter imagens separadas por vários anos e obrigatoriamente, teremos que passar por observações realizadas no passado. Com a intenção de viabilizar essa atividade com estrelas, decidimos observar com o Argus, algumas estrelas com grandes movimentos próprios, como é o caso da estrela de Barnard e guardar essas imagens para eventuais usuários que poderão então compará-las com suas próprias observações.

O raciocínio aqui é o mesmo, tanto para objetos do Sistema Solar quanto estrelas, o que muda é simplesmente o intervalo de tempo entre uma imagem e outra, indo de horas ou menos, até anos. O objetivo é que o aluno identifique através da comparação de duas imagens do mesmo campo, o objeto que se moveu em relação aos demais.

Na figura V.2 temos duas imagens separadas por pouco mais de 3 horas e observadas com 60 segundos de tempo de integração. Nessas imagens temos o planeta anão Ceres e podemos visualmente perceber o seu movimento em relação a algumas estrelas ao seu redor. Certamente, neste caso, é facilmente perceptível pela rapidez e também, pelo brilho. Essa atividade pode ser realizada, com grau de dificuldade maior, tomando campos mais ricos e com objetos rápidos mais fracos.



Figura V.2 – Ceres observado em instantes separados por aproximadamente 3 h.

Naturalmente, que na realização dessa atividade esses objetos não seriam destacados nas imagens passadas aos alunos como na figura acima.

A simples percepção do deslocamento de um objeto em relação aos demais já nos permite além da detecção discutir, por exemplo, o conceito e a necessidade de referências no estudo de movimentos. Aqui, inclusive, cabe uma discussão bastante rica a respeito de existirem referências fixas ou não, e de suas implicações. Discutir a necessidade de observações da posição do astro em instantes distintos para se chegar ao movimento e a relação desses com a distância. Também, pode-se discutir a decomposição do movimento espacial de um astro em movimentos nas direções radial e transversal.

Nas figuras V.3 abaixo temos o mesmo cenário, mas agora com duas observações do campo contendo a estrela de Barnard indicada pelas setas amarelas. O intervalo de tempo entre as duas imagens a seguir foi de 6 meses aproximadamente, e foram obtidas com tempo de pose de 90 segundos.

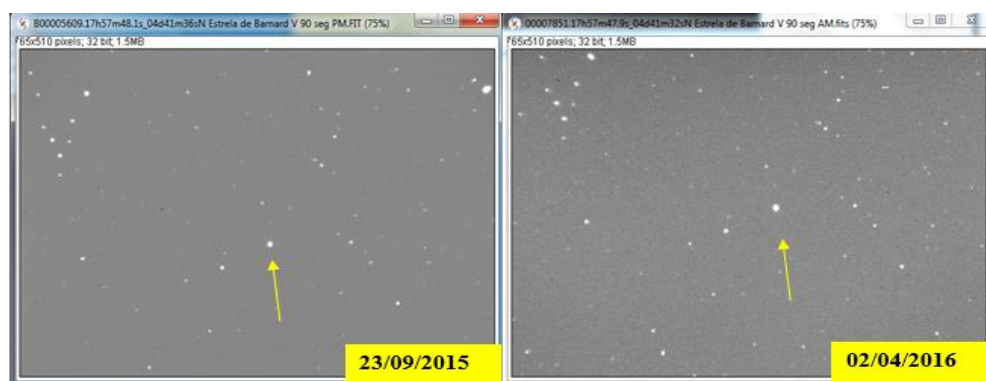


Figura V.3 – Campos contendo a estrela de Barnard.

A maior dificuldade em identificar o objeto rápido nessas imagens em relação às aquelas de Ceres, é nítida, mesmo sendo essas separadas por um intervalo de tempo muito maior. O movimento estelar na esfera celeste é muito menor. Aqui, já podemos refletir sobre quanto tempo precisaríamos para ter um deslocamento da estrela de Barnard no céu equivalente àquele de Ceres alcançado em apenas 3 horas. Outra questão que surge neste caso é que se a estrela de Barnard não é fixa, por que o seriam as demais estrelas? Aquelas por exemplo tomadas como referência no caso de Ceres. Existem referências fixas? Levando em conta o movimento próprio da estrela de Barnard, nessa figura ela teria se deslocado em relação às demais estrelas de aproximadamente 3 – 4 pixels. Para que alunos percebam o deslocamento visualmente teríamos que ter imagens separadas por mais tempo, 3 a 4 anos. Por essa razão, iremos manter na Base de Dados do Observatório, algumas observações dessa e das demais estrelas com grandes movimentos próprios realizados ao longo dos anos.

Apesar do pouco tempo, utilizando a estratégia descrita a seguir, será possível estimar o deslocamento angular dessa estrela de uma imagem para a outra.

V.3.2 - Estimando o deslocamento angular de Ceres

O procedimento adotado aqui para Ceres será o mesmo para qualquer objeto. O trabalho básico aqui é transformar uma medida linear que podemos fazer com o programa SalsaJ ou ainda outro qualquer, em medida angular. De posse do intervalo de tempo separando as duas observações podemos estimar então a velocidade angular do alvo. O conhecimento da distância nos permite ir mais longe e determinar sua velocidade transversal. É essencial para tal que conheçamos a “escala de placa”, ou seja, a correspondência entre a medida linear em pixels ou milímetros em unidades angulares, no caso do Argus a escala de placa é de 1,6"/pixel, mais precisamente 1,585"/pixel. A “escala de placa” pode ser obtida medindo-se numa imagem a distância angular entre duas estrelas com coordenadas conhecidas. Também podemos utilizar aquela escala padrão fornecida no manual da câmera CCD ou através de fórmulas o que será melhor detalhado no Caderno de Atividades que propomos. A decisão cabe ao professor em função do nível de seus alunos e também do que esteja buscando com a atividade.

Para medirmos o deslocamento de um objeto rápido na esfera celeste de maneira simplificada, trabalharemos com pelo menos duas observações do mesmo objeto, aproximadamente no mesmo campo. De posse dessas duas observações separadas por intervalos de tempo suficientemente longos para detectarmos o movimento, minutos, horas,

dias, anos dependendo do objeto, o procedimento envolve a utilização do SalsaJ ou outro programa de tratamento de imagem que se queira, e algum cálculo relativamente simples.

Na figura V.4 a seguir, retomamos as observações de Ceres já apresentada. Não é difícil perceber que as duas imagens a seguir não possuem a mesma orientação. Basta reparar as posições de Ceres e Ref. 1 nas duas imagens. Assim o primeiro passo para prosseguir e medir o deslocamento de Ceres é orientar essas imagens.

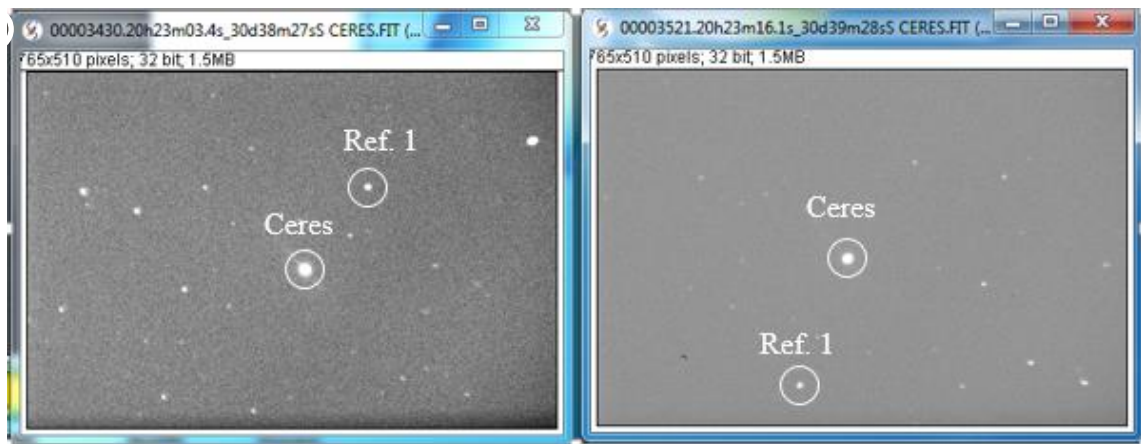


Figura V.4 – Imagens brutas de Ceres, sem a mesma orientação, obtidas em instantes separados por aproximadamente 3 h.

Para tal, podemos atuar na imagem da esquerda utilizando o comando do SalsaJ “PROCESSAR – RODAR – RODAR 90 GRAUS À DIREITA”. Após essa operação teremos o cenário apresentado na figura V.5 abaixo.

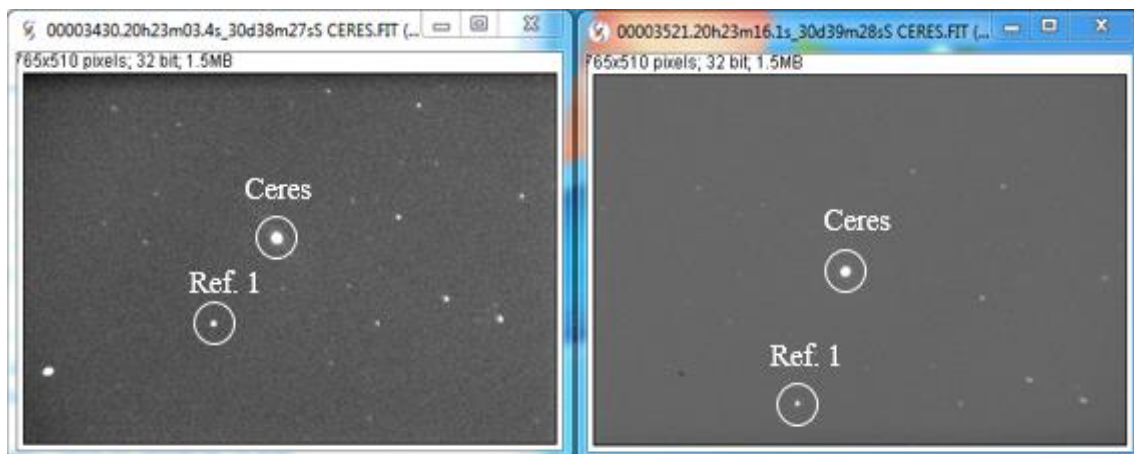


Figura V.5 - Imagem (esquerda) rotacionada visando dar a ambas a mesma orientação.

Note na figura anterior, que embora a orientação seja a mesma a estrela brilhante no canto inferior esquerdo na primeira imagem, não é vista na segunda. Isso representa que essas imagens estão deslocadas na direção que chamaremos de “direção x”. Também, não é difícil perceber que a estrela de referência 1 na imagem da direita está muito mais próxima a borda inferior do campo do que aquela da esquerda. Isso significa uma translação na direção perpendicular à “x” que chamaremos de direção “y”.

Neste momento, fica mais fácil perceber o movimento de Ceres. Agora, temos duas imagens com a mesma orientação, mas transladadas uma em relação a outra. Em outras palavras, as coordenadas (x,y) de uma dada estrela em uma das imagens não são as mesmas na outra imagem.

Este desalinhamento das duas imagens afeta tanto, as coordenadas das estrelas de referência quanto o alvo, no caso Ceres. Mas as diferenças entre as coordenadas de uma dada estrela de referência e o alvo não mudam a menos do movimento do alvo. Ou seja, se não houvesse o deslocamento do alvo, a distância alvo estrela de referência seria a mesma nas duas imagens. Como veremos, essa distância não se mantém e sua variação corresponde ao deslocamento do alvo em pixels que poderá ser convertido em unidades angulares utilizando a “escala de placa” 1,6"/pixel. Essa estratégia para medir o deslocamento angular do alvo, que pode ser aplicada a outros alvos, chamaremos: *estratégia por estrela de referência*.

Por outro lado, podemos pensar em superpor uma imagem a outra e transladar uma delas ou ambas, até que as estrelas coincidam (*estratégia por superposição*).

V.3.3 - Ceres: estratégia por estrela de referência

O primeiro passo neste caso, consiste em calcular as distâncias alvo-referência nas direções “x” e “y” em cada uma das observações a partir de suas coordenadas.

Sendo as coordenadas da estrela tomada como referência na primeira observação (x_{1R} , y_{1R}) e do alvo (x_{1A} , y_{1A}), as distâncias mencionadas serão então dadas por:

$$\Delta x_1 = x_{1R} - x_{1A} \text{ e } \Delta y_1 = y_{1R} - y_{1A}$$

Da mesma forma, teremos as distâncias alvo-referência nas direções “x” e “y” na segunda observação, imagem da direita:

$$\Delta x_2 = x_{2R} - x_{2A} \text{ e } \Delta y_2 = y_{2R} - y_{2A}$$

As diferenças entre essas distâncias, eliminará o deslocamento entre as imagens e nos revelará o movimento do alvo em cada direção.

$$\Delta x_{RA} = \Delta x_2 - \Delta x_1 \text{ e } \Delta y_{RA} = \Delta y_2 - \Delta y_1$$

Finalmente, o deslocamento total do alvo em pixel, neste caso Ceres, Δ_{Ceres} , será obtido por:

$$\Delta_{Ceres} = (\Delta x_{RA}^2 + \Delta y_{RA}^2)^{1/2}$$

V.3.4 - Operações detalhadas para o planeta anão Ceres

Para obter as coordenadas tanto da estrela de referência quanto de Ceres, ou outro objeto qualquer, podemos utilizar o programa SalsaJ de duas maneiras. A primeira delas, mais simples e intuitiva, seria simplesmente colocar o “mouse” no centro da imagem e ler na tela as coordenadas (x,y). Claro, essa medida é bastante subjetiva e, portanto, pouco precisa. Mas, poderá ser repetida inúmeras vezes e mesmo por “observadores diferentes”. A outra possibilidade é utilizar o comando: ANALISAR - FOTOMETRIA. Ao executar este comando será traçado um círculo amarelo ao redor da imagem, “janela”, e aos pixels no interior dessa “janela” será ajustada uma função (gaussiana), que nos fornecerá as coordenadas (x,y) do fotocentro.

Assim, temos para a estrela de referência na imagem da esquerda (Figura V.5), que é a primeira imagem, os seguintes valores: $x_{1R} = 273$ (271), $y_{1R} = 345$ (343). Na imagem 2 temos: $x_{2R} = 292$ (293) e $y_{2R} = 453$ (453).

Para o alvo Ceres obtivemos nas duas imagens: $x_{1A} = 364$ (362), $y_{1A} = 226$ (228) e $x_{2A} = 361$ (361), $y_{2A} = 271$ (270).

$$\Delta x_1 = x_{1R} - x_{1A} = 273 - 364 = -91 \text{ e } \Delta y_1 = y_{1R} - y_{1A} = 345 - 226 = 119$$

$$\Delta x_2 = x_{2R} - x_{2A} = 292 - 360 = -68 \text{ e } \Delta y_2 = y_{2R} - y_{2A} = 453 - 271 = 182$$

$$\Delta x_{RA} = \Delta x_2 - \Delta x_1 = -68 - (-91) = 23 \text{ e } \Delta y_{RA} = \Delta y_2 - \Delta y_1 = 182 - 119 = 63$$

$$\Delta_{Ceres} = (\Delta x_{RA}^2 + \Delta y_{RA}^2)^{1/2} = (23^2 + 63^2)^{1/2} = 67,1 \text{ pixels. Fazendo: } 67,1 \times 1,6''/\text{pixel} = 107,3''$$

Utilizando as coordenadas obtidas com o “mouse” o deslocamento de Ceres é de: 71,8 pixels x 1,6''/pixel = 114,9''.

V.3.5 - Ceres: Estratégia por superposição das imagens

Aqui, a estratégia talvez seja até mais intuitiva, mas um pouco mais trabalhosa. Com o SalsaJ podemos superpor as duas imagens, obrigatoriamente o programa só aceita a superposição de imagens com nomes de cores distintas. Em seguida, basta deslocarmos uma

delas até a coincidência das estrelas. A partir daí, podemos utilizar o recurso deste programa para obter a distância em pixels entre as duas imagens de Ceres ou de algum outro objeto rápido que se esteja estudando. Esse deslocamento deverá então ser convertido em unidades angulares utilizando-se como no caso precedente, a *escala de placa* ou *escala espacial* fornecida que é de aproximadamente 1,6"/pixel.

Aqui, o primeiro passo supondo que as imagens já possuam a mesma orientação, é empilhar uma sobre a outra utilizando o programa SalsaJ. Para isso, deve-se executar o comando IMAGEM – CORES – FUSÃO RGB uma nova janela abrirá, marque a opção KEEP SOURCE IMAGES (é para manter as imagens originais abertas), em seguida dê OK. Em seguida, veremos as duas imagens superpostas, mas claramente não coincidentes. Para sobrepor-las exatamente devemos então, ir ao comando PLUGINS – ALINHAR OS PLANOS RGB. Na janela que se abre, utilizar as setas ou comandos UP, DOWN, LEFT e RIGHT, para alinhar as imagens, veja a figura abaixo.

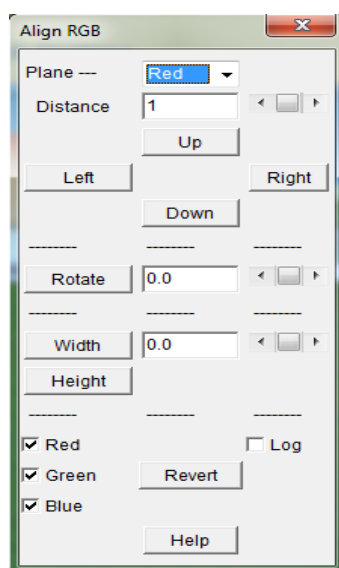


Figura V.6 – Comandos para alinhamento das imagens.

Na imagem resultante veremos duas imagens de Ceres e a distância entre elas corresponde ao seu deslocamento no intervalo de tempo que separa as duas observações. Para determiná-la utilizamos o comando SECÇÃO RECTILINEA (figura V.7) e o mouse. Clicar no centro de uma estrela ou alvo e arrastar o mouse até o centro da outra. O resultado é apresentado na tela LENGHT = 71,47 pixels (valor aproximado) como mostrado na próxima figura.

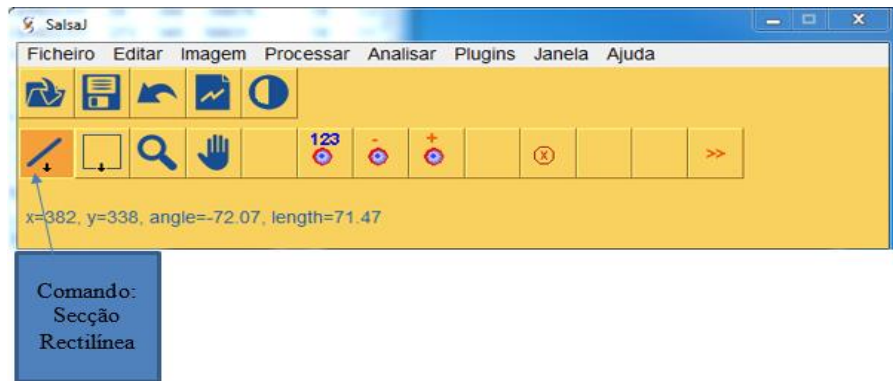


Figura V.7 – Comando do SalsaJ que permite a medida da distância entre as duas imagens de Ceres.



Figura V.8 - Resultado da superposição dos dois campos observados com Ceres deslocado devido ao seu movimento.

O deslocamento de Ceres determinado dessa forma foi de aproximadamente 71,5 pixels que em termos angulares resulta em:

$$\Delta_{\text{Ceres}} = 71,5 \text{ (pixel)} \times 1,6''/\text{pixel} = 114,4''$$

Assim, se levarmos em conta o intervalo aproximado de 3 horas entre as observações podemos estimar a velocidade de Ceres na esfera celeste em relação ao observador na superfície da Terra em:

Velocidade angular de Ceres = $38,3''/h$ (método da gaussiana ou estrela de referência)

Velocidade angular de Ceres = $38,1''/h$ (método do mouse ou secção rectilínea)

Velocidade angular de Ceres = $35,6''/h$ (superposição).

As diferenças nos resultados obtidos com as três estratégias são mais do que esperadas e relativamente pequenas diante da simplicidade com que obtivemos os deslocamentos. Aquela que utiliza o comando ANALISAR - FOTOMETRIA do SalsaJ é mais precisa e confiável.

A precisão aqui obtida, de uma forma ou de outra, é mais do que suficiente para mostrar os movimentos, compará-los com os movimentos próprios estelares (em geral abaixo de $1''/ano$) e levar o aluno a realizar medidas, manipular imagens e dados. Na estratégia 1 (estrelas de referência), com “mouse” ou não, é interessante utilizar outras estrelas de referência para depois obter uma média dos resultados ganhando em precisão e confiabilidade. Na estratégia 2 (superposição), pode-se obter diferentes medidas da separação entre as duas imagens do alvo por diferentes alunos e depois discutir os resultados.

Acreditamos ser esta uma experiência além de muito rica, bastante atraente e motivadora. É interessantíssimo o aluno perceber que alunos diferentes, ou mesmo, o mesmo aluno em ocasiões diferentes, obtêm valores diferentes para a mesma grandeza.

V.4.1 - Estimando o movimento próprio da estrela de Barnard por estrela de referência

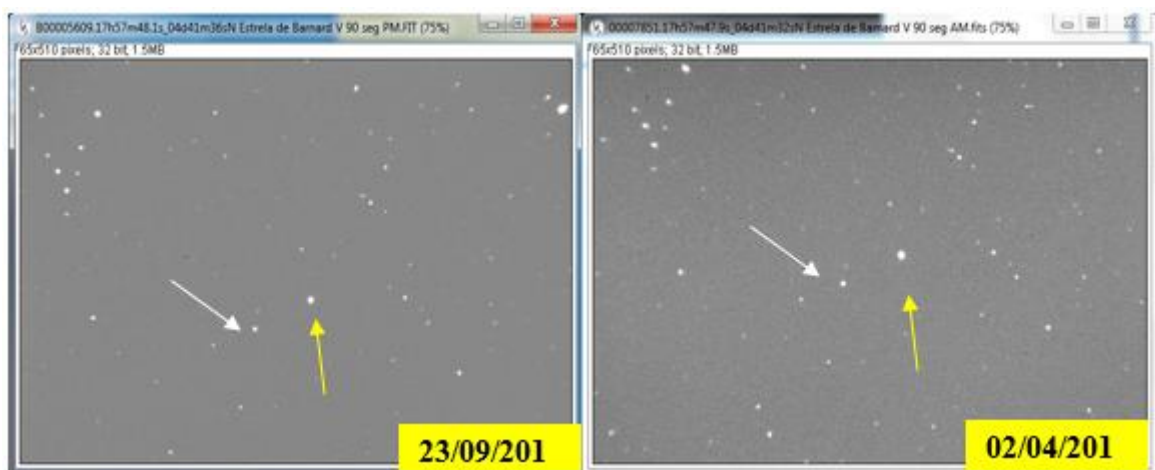


Figura V.9 – Campos contendo a estrela de Barnard (indicada pela seta amarela) e a estrela de referência (seta branca).

O movimento próprio das estrelas é muito pequeno, para se ter uma ideia a estrela de Barnard se deslocou 229" num intervalo de 22 anos, o que equivale a 10,4"/ano (Chaisson E., página 420). Sendo que está é a que possui o maior movimento próprio dentre todas as estrelas.

V.4.2 - Estrela de Barnard: estratégia por estrela de referência

O primeiro passo neste caso, novamente consiste em calcular as distâncias alvo-referência nas direções “x” e “y” em cada uma das observações a partir de suas coordenadas que foram aqui obtidas utilizando o “mouse” como descrito acima. Na figura V.9, vemos a estrela de Barnard indicada pela seta amarela e uma estrela de referência indicada pela seta branca.

Sendo as coordenadas da estrela tomada como referência na primeira observação (x_{1R} , y_{1R}) e do alvo (x_{1A} , y_{1A}), as distâncias mencionadas serão então dadas por:

$$\Delta x_1 = x_{1R} - x_{1A} \text{ e } \Delta y_1 = y_{1R} - y_{1A}$$

Da mesma forma, teremos as distâncias alvo-referência nas direções “x” e “y” na segunda observação, imagem da direita:

$$\Delta x_2 = x_{2R} - x_{2A} \text{ e } \Delta y_2 = y_{2R} - y_{2A}$$

As diferenças entre essas distâncias, eliminará o deslocamento entre as imagens e nos revelará o movimento do alvo em cada direção.

$$\Delta x_{RA} = \Delta x_2 - \Delta x_1 \text{ e } \Delta y_{RA} = \Delta y_2 - \Delta y_1$$

Finalmente, o deslocamento total do alvo em pixel, neste caso da estrela de Barnard, Δ_{Barnard} , será obtido por:

$$\Delta_{\text{Barnard}} = (\Delta x_{RA}^2 + \Delta y_{RA}^2)^{1/2}$$

Essas operações são detalhadas a seguir para o caso da estrela de Barnard:

Nas imagens já com mesma orientação as coordenadas (x,y) da estrela assinalada como referência são: na imagem da esquerda, imagem 1, $x_{1R} = 169$ e $y_{1R} = 439$. Na imagem 2 obtemos $x_{2R} = 226$ e $y_{2R} = 419$.

Para a estrela de Barnard temos $x_{1A} = 206$ e $y_{1A} = 362$, $x_{2A} = 262$ e $y_{2A} = 338$.

$$\Delta x_1 = x_{1R} - x_{1A} = 169 - 206 = -37 \text{ e } \Delta y_1 = y_{1R} - y_{1A} = 439 - 362 = 77$$

$$\Delta x_2 = x_{2R} - x_{2A} = 226 - 262 = -36 \text{ e } \Delta y_2 = y_{2R} - y_{2A} = 419 - 338 = 81$$

Agora podemos então calcular os deslocamentos nas direções “x” e “y”.

$$\Delta x_{RA} = \Delta x_2 - \Delta x_1 = -36 - (-37) = 1 \text{ e } \Delta y_{RA} = \Delta y_2 - \Delta y_1 = 81 - 77 = 4$$

E finalmente, o deslocamento total em pixels será:

$$\Delta_{\text{Barnard}} = (\Delta x_{\text{RA}}^2 + \Delta y_{\text{RA}}^2)^{1/2} = 4,1 \text{ pixels} = 4,1 \text{ pixels} \times 1,6''/\text{pixel} = 6,6''$$

Como o intervalo de tempo que separa as duas observações é de 192 dias, teremos um movimento angular (movimento próprio) para a estrela de Barnard de: **$(6,6''/192 \text{ (dias)}) \times 365 \text{ (dias)} = 12,5''/\text{ano}$** .

V.5 - Cometas

Os cometas sempre fascinaram e deslumbraram os seres humanos chamando grandemente a atenção do público em geral. Por este motivo nada mais lógico que havendo oportunidade inseri-los neste projeto. Como se trata de fenômenos transientes, durante o período do mestrado não foi possível observar cometas adequados para ilustrar essa atividade. Sendo assim, utilizamos observações do cometa Machholz C/2004 Q2 realizadas em 28 de dezembro de 2004, disponíveis em nosso Banco de Dados.

Lembramos que só poderemos trabalhar com alvos que apresentem movimento próprio e brilho suficiente para serem detectados e isso depende do equipamento usado. O intervalo entre as observações dependerá do movimento próprio do cometa, mas geralmente cometas brilhantes que passam próximos da Terra uma ou duas noites serão suficientes para medir seu movimento.

A seguir, figura V.10, vemos duas observações desse cometa, quando apresentava magnitude V (magnitude obtida com filtro V) ao redor de 3,5. Estas imagens permitem através de um simples olhar perceber o deslocamento do cometa em relação as estrelas. Essas imagens foram obtidas com um tempo de integração de 12 segundos e com filtro V.

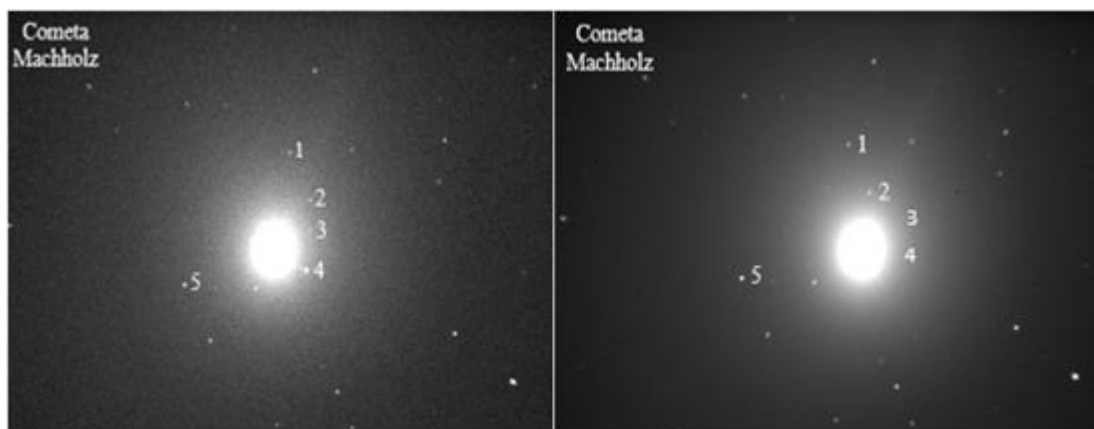


Figura V.10 – Observações do cometa Machholz C/2004 Q2, separadas aproximadamente por 11 minutos.

É possível perceber o deslocamento visualmente, note que as estrelas 3 e 4 da primeira imagem não aparecem na segunda isso por que o cometa se deslocou ocultando-as. Já o cometa está mais próximo da estrela 2 na segunda imagem (direita) do que na primeira (imagem da esquerda). Além de podermos perceber o movimento próprio visualmente também podemos medir esta mudança de posição em pixels ou em segundos de arco como fizemos anteriormente com Ceres e a estrela de Barnard.

Para estimarmos o deslocamento angular desse cometa podemos tomar como referência a estrela número nº 5 (Ref. 5). Os dados da estrela de referência nº 5 são: AR = 03h 58m 14s, DE = 03° 04' 41", UCAC4 466-005582 e mag. V = 13,3. Assim, usando o comando do SalsaJ - ANALISAR - FOTOMETRIA, obtemos na imagem da esquerda as coordenadas (378,285) para o cometa e (255,328) para a estrela Ref. 5. Na segunda imagem obtemos respectivamente (427,286), e (264,320). Usando a estratégia por estrela de referência apresentada nas páginas 81 e 86. Iremos obter os valores:

$X1R = 255$, $Y1R = 328$, $X1A = 378$, $Y1A = 285$ e $X2R = 264$, $Y2R = 320$, $X2A = 427$, $Y2A = 286$.

Fazendo as contas indicadas iremos obter: $\Delta_{\text{cometa}} = 41,0$ pixels ou $41,0 \text{ pixels} \times 1,6''/\text{pixels} = 65,6''$.

CAPÍTULO VI

VI.1 - As atividades propostas às escolas

Por diversas razões não foi possível ao longo do período relativo ao desenvolvimento desse trabalho de mestrado, a realização efetiva com alunos, das atividades propostas. Como veremos a seguir, pudemos realizar apenas uma atividade diretamente com alunos que na realidade complementa aquelas aqui propostas.

Após discussões com professores e coordenadores de 2 escolas, uma pública, Escola Estadual Professor Cyro de Barros Rezende de Valinhos, e outra privada, Escola de Educação Infantil Príncipe da Paz de Vinhedo, ficou definido que trabalharíamos a parte “teórica” da atividade de variabilidade com um único alvo. Esse trabalho com os alunos deve servir como sugestão de exploração das observações de estrelas variáveis. Participaram das atividades um total de 218 alunos.

Na Escola Professor Cyro de Barros foi possível trabalhar com 204 alunos distribuídos em vários níveis de escolaridade: 6º ano; 9º ano; 1º ano do ensino médio; 3º ano do ensino médio. Essa atividade foi primeiramente apresentada para duas coordenadoras e quinze professores em uma reunião pedagógica HTPC (Horário de Trabalho Pedagógico Coletivo). Nesta escola, foram três encontros com cada turma. Na Escola Príncipe da Paz foram apenas 14 alunos do 9º e a atividade realizada em um único encontro que ocorreu após discussão com a coordenadora pedagógica.

No caso da primeira escola, devido a maior disponibilidade, no primeiro encontro foram oferecidas diversas explicações relacionadas com a atividade a ser desenvolvida: estrela, variação de brilho, amplitude, período, etc. No caso da segunda escola, foi apenas um encontro e neste caso, as explicações ocorreram de forma mais resumida e a atividade foi desenvolvida de forma mais rápida. Tanto a experiência adquirida no trabalho realizado na primeira escola, quanto o comportamento mais adequado dos alunos da segunda escola (privada) compensaram em parte a pouca disponibilidade de tempo.

Por parte dos alunos, a atividade consistiu em traçar a mão, a curva de luz (curva de variabilidade do brilho estelar) de uma dada estrela, a partir dos dados por nós fornecidos em forma de tabela (tabelas VI.1 e VI.2). Juntamente com os dados foi fornecido também papel milimetrado. Cabia aos alunos, colocar os pontos no gráfico, traçar uma curva passando aproximadamente por esses pontos e posteriormente, estimar a amplitude e período da variação.

Escolhemos para desenvolvimento dessa atividade a estrela SX Phe: cefeida de curto período e com bom histórico observacional no âmbito desse trabalho de mestrado com detalhes apresentados no Capítulo IV.

Segue abaixo a tabela (tabela VI.1) dos valores fornecida aos alunos do Ensino Fundamental. Por serem alunos mais novos e com nível de escolaridade menor, optamos por trabalhar com números inteiros, multiplicando então a magnitude aparente por 100. Já para os alunos do Ensino Médio, a tabela (tabela VI.2) fornecia a magnitude conforme determinada (Capítulo IV). Em ambas as tabelas, o instante $T = 0$, representa o instante da primeira observação enquanto que os demais correspondem ao intervalo de tempo a partir dessa primeira observação. Fizemos a opção de utilizar a palavra brilho em vez de magnitude. Essa é uma questão a ser ainda melhor refletida e acreditamos que um maior número de atividades com alunos e contato com professores ajudará numa melhor escolha para o futuro Caderno de Atividades. Também, tendo em vista a grande dificuldade dos alunos, de todos os níveis, para construir o gráfico, resolvemos trabalhar com um número menor de pontos.

Tabela VI.1 – Dados do brilho (magnitude aparente $\times 100$) da variável SX Phe e respectivos instantes utilizados no Ensino Fundamental.

Tempo (minutos)	(Brilho)
0	749
20	748
38	719
63	735
87	758
100	755
124	705
137	734

Tabela VI.2 – Dados do brilho (magnitude aparente) da variável SX Phe e respectivos instantes utilizados no Ensino Médio.

Tempo (minutos)	Brilho
0	7,49
20	7,48
38	7,19
63	7,35
87	7,58
100	7,55
124	7,05
137	7,34

Essa proposta revelou-se bastante interessante para os alunos que talvez por falta de prática apresentassem dificuldades por nós inimagináveis em assinalar os pontos corretamente. A solução foi simplificarmos ao máximo e fazermos juntos, passo a passo. Somente após todos terem terminado uma determinada etapa iniciávamos a seguinte.

Uma vez construída a curva de luz (figura a seguir a título de exemplo) os alunos passaram então a estimar o período e a amplitude da variação do brilho. Fez parte dessa simplificação além da redução dos pontos a escolha daqueles próximos aos máximos e mínimos.

No gráfico a seguir, podemos ver a título de exemplo o gráfico construído por um aluno do Ensino Fundamental e os valores estimados de período e brilho.

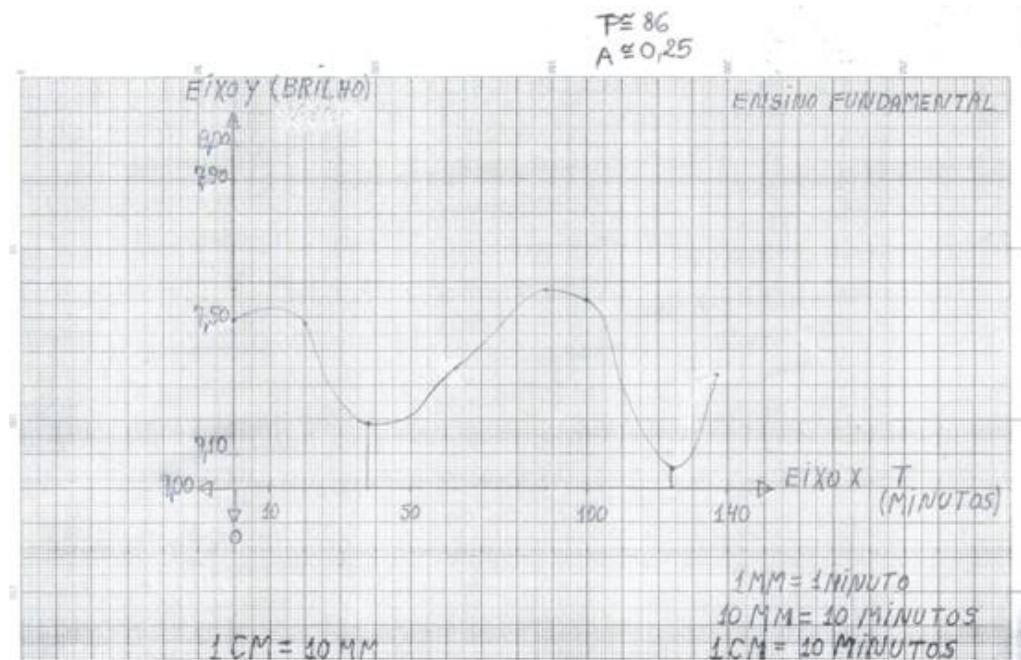


Figura VI.1 - Gráfico obtido por um aluno e valores de período e amplitude estimados.

Pudemos, no caso da escola pública, fazer uma análise dos resultados obtidos com os próprios alunos. Diante dos resultados, discutimos a atenção necessária na hora de construir os gráficos e de fazer a estimativa. Rediscutimos os conceitos de amplitude e período e discutimos o conceito de média, de valor mais provável, critérios de eliminação de dados e também, elementos de Astronomia como o mecanismo responsável pela variação de brilho, a utilização neste caso, dos resultados em período para estimativa da distância, etc.

Para ilustrar essa discussão a seguir apresentamos, figuras VI.2 a VI.5, os resultados das estimativas de período e amplitude realizadas pelos alunos do Ensino Médio. A linha horizontal azul representa o valor médio obtido sem qualquer eliminação. No eixo Y temos os valores de períodos e amplitudes estimados pelos alunos. No eixo X temos os alunos sendo que cada um é identificado por um número.

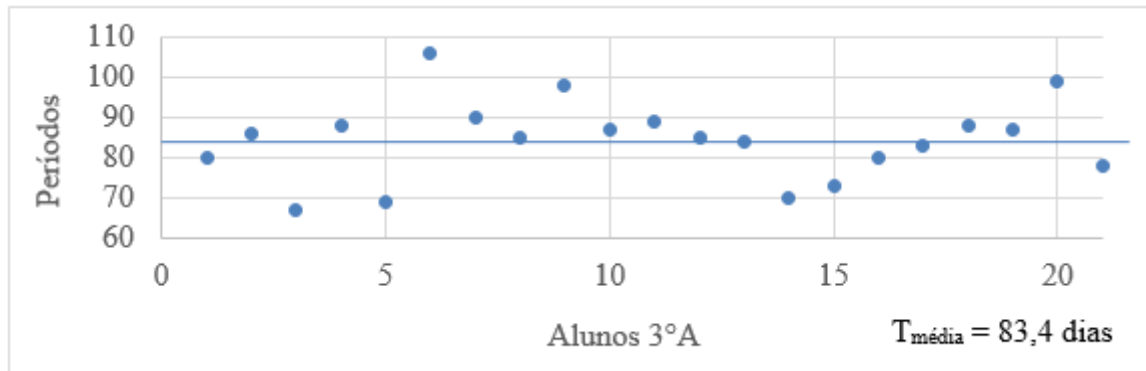


Figura VI.2 – Distribuição dos períodos estimados pelos alunos do 3º A do Ensino Médio.

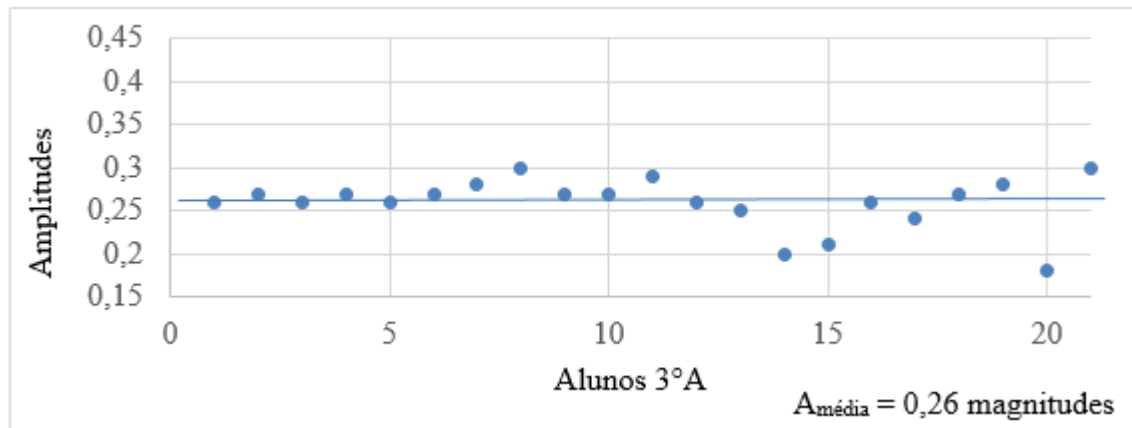


Figura VI.3 – Distribuição das amplitudes estimadas pelos alunos do 3º A do Ensino Médio.

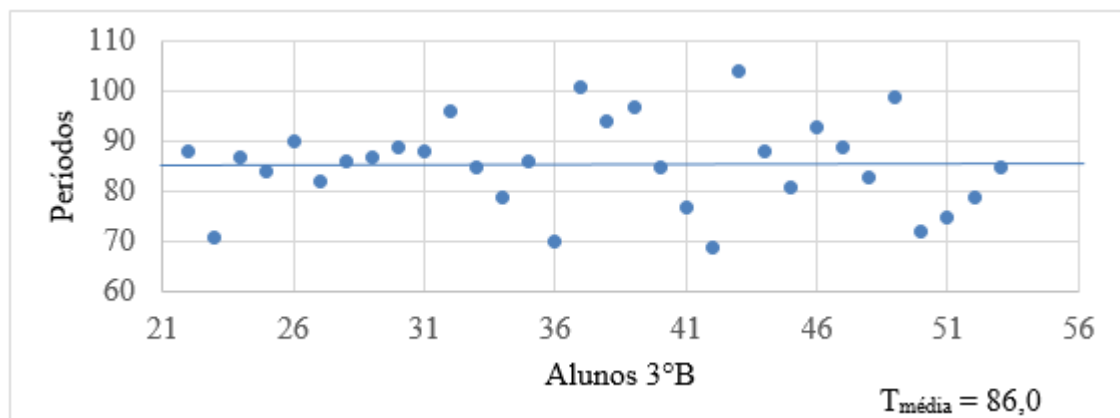


Figura VI.4 – Distribuição dos períodos estimados pelos alunos do 3º B do Ensino Médio.

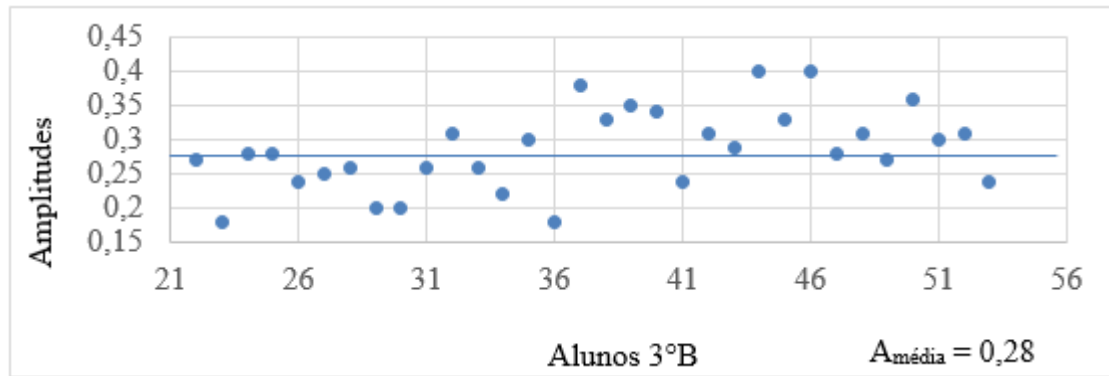


Figura VI.5 – Distribuição das amplitudes estimadas pelos alunos do 3º B do Ensino Médio.

Uma aula explorando esses gráficos pode ser muito rica e utilizada para discutir com os alunos conceitos básicos de estatística e também, de atitude no momento de realizar medidas, fazer estimativas, etc. Aliás, a surpresa dos alunos em geral foi notável ao descobrirem a possibilidade e o caminho, de eliminação de dados visando à obtenção de resultados menos dispersos e melhores.

Os resultados obtidos pelas demais turmas se mostraram surpreendentemente parecidos a menos daqueles da escola privada que se apresentaram sensivelmente menos dispersos. O nível de dificuldade encontrado para a construção dos gráficos e estimativas dos períodos e das amplitudes também foram muito parecidos em todas as turmas da escola pública. Já, os alunos da escola privada tiveram um grau de dificuldade visivelmente menor.

Capítulo VII

VII.1 - Esboço do Caderno de Atividades

Embora a dissertação de mestrado represente de certa forma a conclusão do trabalho de mestrado, nosso trabalho em Ensino de Astronomia deve continuar com a elaboração do Caderno de Atividades que deverá levar em conta as críticas e sugestões às atividades aqui apresentadas.

Obviamente, esse caderno deverá ser escrito com outros objetivos, focos e linguagem.

Nesse caderno, tentaremos ao máximo padronizar a apresentação de cada atividade, deixando claro os conceitos astronômicos que serão desenvolvidos, a importância científica de trabalhos semelhantes desenvolvidos por pesquisadores. Sempre que possível, deveremos assinalar possibilidades de realização da atividade com grau maior ou menor de dificuldade. Assim, o professor terá maior suporte na definição da faixa etária e nível de escolaridade.

Existem questões de linguagem importantes ainda em aberto. Por exemplo, usar o conceito de magnitude ou algum outro conceito que inverta a escala e que possamos, por exemplo, chamar de brilho?

Um conteúdo básico que deverá estar presente no caderno pode ser resumido como se segue:

- Conceitos: estrelas, planetas, asteroides, etc.; movimento; sistema de referência; luz; cor; temperatura; escala; construção de gráficos; análise de gráficos, etc.
- Objetivos gerais e específicos de cada atividade.
- Alvos adequados para cada atividade.
- Passo a passo para o desenvolvimento de cada atividade: cuidados na organização e realização das observações, no tratamento e medidas.
- Exploração dos dados.
- Exemplos de “trabalhos de campo” por nós realizados, como aquele aqui apresentado.
- Curiosidades.

CAPÍTULO VIII

VIII.1 - Discussões finais

O objetivo desse trabalho de mestrado consistiu em realizar atividades observacionais com o telescópio Argus, instalado no Observatório Abrahão de Moraes em Valinhos, que pudessem ser desenvolvidas, inclusive com outros telescópios operados remotamente, por professores e alunos visando o aprendizado de conceitos e experiência prática em Astronomia.

Assim, esperamos, após avaliação, críticas e comentários a respeito do trabalho apresentado, elaborar um Caderno de Atividades que forneça ao mesmo tempo uma visão completa da atividade escolhida e um caminho a ser seguido, minimizando as dificuldades. A utilização de uma “receita” nos dá uma visão de todos os passos necessários para a realização da atividade e com isso contribui para evitar “surpresas” que impeçam seu desenvolvimento. Naturalmente, imprevistos podem ocorrer, mas com este trabalho espera-se que se possa completar a atividade seguindo a “receita”.

Essa “receita”, cujo conteúdo foi aqui apresentado e avaliado, será apresentada aos interessados em forma de um Caderno de Atividades, escrito cuidadosamente, em uma linguagem acessível, sobretudo para o professor. Neste caso, imaginamos um professor com pouco ou quase nenhum conhecimento de Astronomia, nenhuma experiência observacional e com muitas dificuldades em lidar com termos técnicos desta área, elaborar um projeto observacional, etc. Por outro lado, imaginamos um professor motivado e buscando motivação para seus alunos, buscando aprender e ensinar Astronomia e tantos outros tópicos associados.

As atividades não podem ser muito desgastantes a ponto de levar os interessados ao abandono diante das dificuldades. Essas devem ser vistas como inerentes ao trabalho observacional e sobretudo, ao trabalho dos cientistas que constroem o conhecimento que é o foco da atividade.

Mesmo com um caderno de receitas, a realização das atividades não é tão simples assim e requer paciência, atenção, organização e dedicação.

Outro fator que dificulta e pode afastar possíveis interessados na utilização de telescópios como o Argus para ensino, é o fato de não termos em nossas mãos, um programa que permita uma criança extrair as informações do alvo com facilidade, com um simples “clique”.

De maneira geral, as atividades aqui desenvolvidas podem ser exploradas de várias maneiras e com vários graus de dificuldade que o professor mesmo tem condições de avaliar e decidir “mastigá-la” mais ou menos dependendo do nível de seus alunos. Claro, que aqui, não nos preocupamos com precisões nas medidas e grandezas determinadas, mas sim com os conceitos envolvidos e com a obtenção e manuseio das informações.

Acreditamos que um “Caderno de Atividades” com o conteúdo aqui apresentado, mas com linguagem, ilustrações, etc., mais adequados ao público alvo, será uma ferramenta, embora não inédita, mas bastante útil e esperamos muito utilizada, pelos interessados.

Não temos dúvida, que mesmo com um conjunto de receitas, a maioria dos usuários de um projeto como este, Telescópios na Escola, terão sobretudo no início, necessidade de muita ajuda, mas agora, com uma visão mais clara do que irão fazer e encontrar.

O texto dessa dissertação foi escrito visando dar um panorama não só do trabalho realizado, mas também do conteúdo e em alguns momentos da própria linguagem a ser utilizada no “Caderno de Atividades”. Certamente, a redação do caderno não será simples, pois por um lado, precisa ser clara, sintética e se possível motivadora. Por outro, a falta de experiência e de conhecimento dos possíveis usuários implica em um “passo a passo” muito detalhado com potencial para ser extenso trazendo riscos, portanto, de desmotivar alunos e professores. Encontrar o caminho e o equilíbrio são talvez os aspectos mais difíceis do próximo passo desse trabalho.

ANEXO I

TUTORIAL

SalsaJ versão 2.3

A.1 - O programa

Como dito, as imagens foram analisadas e tratadas com o programa SalsaJ versão 2.3. Este software foi desenvolvido na Universidade Pierre et Marie Curie (Paris). Foi baseado no programa ImageJ, Domínio Público Java 1,8,0_101, criado por Wayne Rasband pesquisador do National Institutes of Health (NIH), Bethesda, Maryland, EUA.

O SalsaJ é um software gratuito podendo ser usado em vários sistemas como Windows, Macintosh e várias versões do Linux. Foi concebido e construído para processar e analisar imagens para ensinar Astronomia para alunos do Ensino Médio, inicialmente para o projeto EU-HOU (Hands-On Universe - Europe).

Inicialmente, este software foi produzido em inglês sendo traduzido para várias línguas entre elas o português. Aqui, utilizamos a versão em português que corresponde àquela que provavelmente será a preferida de alunos e professores.

Vários motivos contribuíram para escolha deste programa: é gratuito podendo facilmente ser adquirido por qualquer aluno ou professor; permite fazer todas as operações básicas necessárias às atividades propostas aqui; características artesanais do tratamento da imagem; entre outros programas utilizados julgamos este ser o mais interessante para o público alvo.

O referido programa permite fazer a medida fotométrica de maneira muito simples. Através do comando ANALISAR - FOTOMETRIA, é possível medir o fluxo tanto do objeto de interesse quanto das estrelas de referência e consequentemente obter a magnitude do alvo.

A astrometria pode ser feita de várias maneiras, por exemplo, realizada através de um comando chamado SECÇÃO RECTILINEA onde facilmente com ajuda do *mouse* se mede a separação entre os astros do campo e, portanto, entre a estrela de referência e o alvo em pixels. Sabendo-se que no caso do Telescópio Argus cada pixel equivale aproximadamente a 1,6" ("escala de placa" ou "escala espacial") ou mais precisamente 1,585". Facilmente podemos chegar a distância angular e consequentemente as coordenadas do alvo que se queira determinar.

A.2 - Medida do fluxo

Na medida do fluxo para a atividade com estrelas variáveis utilizamos o comando ANALISAR - FOTOMETRIA. Esse comando permite selecionar uma "janela" ao redor da imagem correspondente ao objeto desejado e fornece o fluxo em "contagens" no interior dessa janela. Além do fluxo, fornece também as coordenadas (x,y) do fotocentro da imagem. Também

é possível “arrastando” o “mouse” sobre a imagem, obter o valor das contagens para cada pixel. Essa operação é interessante para saber se temos e, aproximadamente, qual a quantidade de pixels saturados.

A.3 - Medida da posição

A medida astrométrica consiste em obter a separação linear em pixels entre vários objetos presentes no campo, como por exemplo, a distância do alvo a estrela de referência e entre duas estrelas de referência. Esta distância em pixels pode ser facilmente obtida utilizando o comando “SECÇÃO RECTILÍNEA”. É importante repetir a medida várias vezes e depois trabalhar com valores médios.

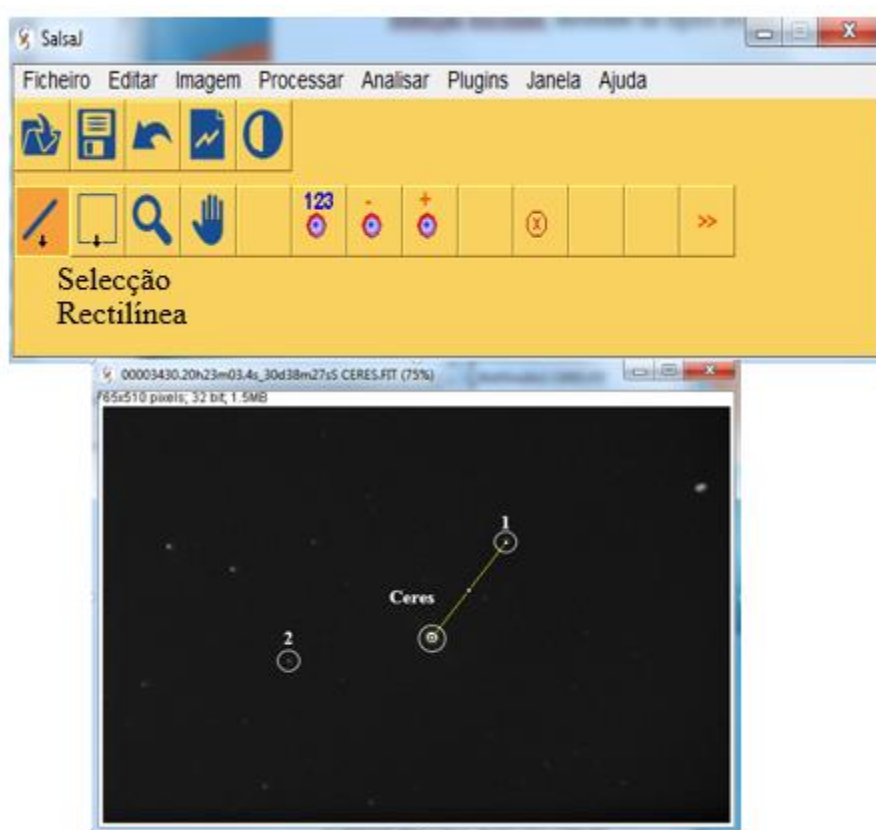


Figura A1.1 – medindo a posição do planeta anão Ceres.

A.4 - Construção de uma imagem colorida

Com o SalsaJ é relativamente simples obter uma imagem colorida. Primeiramente abrir três imagens observadas com filtros distintos como, por exemplo, R, G e B. Usar o comando

IMAGEM - CORES - FUSÃO RGB. Com isso abre uma nova janela com o nome de: RGB Merge. As imagens nos filtros R, G e B deverão ser marcadas com as respectivas cores. A magnitude V citada na bibliografia é claro, correspondente ao filtro V (visível) mencionado aqui, equivale aproximadamente o filtro G (Green). Ao dar OK uma nova imagem colorida da união das três irá aparecer. As imagens superpostas dificilmente coincidirão exatamente, existe um desalinhamento entre elas. Para alinhar ir em PLUGINS – ALINHAR OS PLANOS RGB. A janela Align RGB irá se abrir. Selecionar a cor da imagem em PLANE e clicando em UP, LEFT, RIGHT e DOWN alinhar todas as imagens, o resultado será uma imagem colorida como mostrado na figura abaixo.



Figura AI.2 – Obtenção da imagem colorida da nebulosa M8 a partir da superposição de três imagens distintas observadas com os filtros R, G e B.

A.5 - Animações

Finalmente, o SalsaJ também permite fazer animações das variações de posição dos objetos rápidos como asteroides e cometas, bastando para tanto, ter uma sequência de imagens do deslocamento dos mesmos. Este aspecto revela-se potencialmente muito interessante para o estudo dos movimentos de objetos do Sistema Solar. As imagens de Ceres do Banco de Dados servem bem para esta finalidade.

As animações são obtidas através de um empilhamento das diversas imagens através do comando: `IMAGE - EMPILHAMENTOS - CONVERTER IMAGEM PARA EMPILHAMENTO`. Com isso, todas as imagens abertas serão transformadas em uma única, que corresponde as diversas imagens empilhadas. Agora, basta executar o comando: `IMAGEM - EMPILHAMENTO - INICIAR ANIMAÇÕES` e uma sequência de imagens começará a “correr” simulando uma animação. No caso de objetos de grandes movimentos próprios poderemos ver o alvo se movendo em relação as estrelas evidenciando assim o seu movimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chaisson E. and McMillan S., 2011, “Astronomy Today”, Seventh Edition. Pearson Education.
- ESA, 1997, “The HIPPARCOS and Tycho Catalogs”, ESA SP-1200.
- Gaia collaboration, 2016a, A & A, Volume 595, id.A1.
- Gaia collaboration, 2016b, A & A, 595, id.A2.
- Green R. M., 1985, “Spherical Astronomy”, London, Cambridge University Press.
- Hog ET al. 2000.
- Høg, E., Fabricius, C. Makarov, V. V. et al. The Tycho-2 catalogue, 2000.
- Karttunen H., Kroger P., Oja H., Poutanen M. and Donner K.L., 2007, “Fundamental Astronomy”, Springer Fifth Edition.
- Oliveira Filho K. S. e Saraiva M. F. O., 2000, “Astronomia e Astrofísica”, Porto Alegre, Editora da UFRGS.
- Perryman M., 2009, “Astronomical Applications of Astrometry”, Cambridge.
- Roy A. E. and Clarke D., 1989, “Astronomy, Structure of the Universe”, Third Edition, Adam Hilger. Pagina 131.
- Zacharias, N., Finch, C. T., Girard, T. M., et al. 2013, AJ, 145, 44.
- Zeilik M. et al. 1998, página 355.