

Análise da Curva de Luz de U Octantis

Alexandre Amorim - REA/Florianópolis

Abstract.

U Octantis is a Long Period Variable star with a period of 308 days, amplitude of 7.0 - 14.1 V and spectral type of M4e - M6(II-III)e, as listed in the *General Catalogue of Variable Stars*. Visual observations from 1990 - 2001 from the REA Database show one unusual property: the period has been decreasing from 308 days at JD 2441915 (1973, GCVS) to its present value of 303 days. U Octantis may enter a He-shell Flash in its interior, such R Hydrae and R Aquilae. This report analyses other star's parameters: absolute magnitude, minimum and maximum luminosity and probable distance from solar system. In this research, we have used, and acknowledge with thanks, data from the AAVSO International Database, based on observations submitted to the AAVSO by variable star observers worldwide.

1. INTRODUÇÃO.

U Octantis (580004 = HD 115486 = TYC9508-02809-1) é uma variável de longo período pouco estudada em particular devido a sua declinação austral. A maioria das observações provém de algumas associações tal como a AAVSO (Associação Americana de Observadores de Estrelas Variáveis), que por sua vez, utiliza dados da RASNZ (Sociedade Astronômica Real da Nova Zelândia). Por esse motivo foi proposto pela REA (Rede de Astronomia Observacional) em 1990 o projeto de observação #90/90 para acompanhamento desta variável.

Este reporte mostra os resultados e conclusões preliminares obtidos a partir da curva de luz de U Octantis entre janeiro de 1990 e março de 2001 (Figura1). Neste período foram feitas 191 estimativas de magnitude visual cobrindo 14 ciclos. (Tabela 1)

Para analisar a diminuição do período de U Octantis, os dados da AAVSO desde 1961 foram utilizados.

Observador	Código	Observações
Avelino A. Alves	AAA	30
AHC	AHC	01
Alexandre Amorim	AMO	57
Antônio Padilla Filho	APF	01
Carlos A. Colesanti	CAC	04
Hélio Vital	HLV	92
José G. S. Aguiar	JGA	01
Juan M. Hodar	JHD	01
Marcos F. Lara	MFL	01
Raul Salvo	RSA	01
Tasso A. Napoleão	TAN	02
TOTAL	11	191

Tabela 1: Lista de observadores da REA

A tabela 2 mostra os dados da U Octantis segundo o GCVS e a AAVSO. O dado da AAVSO corresponde ao máximo previsto segundo o #63 AAVSO Bulletin.

GCVS	AAVSO	
Época (DJ)	2441915	2451576
Período (dias)	308.44	308.44
Variação	7.0 - 14.1	7.9 - 13.6
Espectro	M4e - M6(II-III)e	M4E-M6(II-III)E
Taxa de Ascensão	47	-

Tabela 2: Dados de U Octantis

Máximos OBS	Dif.Dias	Dif. N	Ciclo(n)	C1	O - C1	C2	O - C2
2447931.6			-1	2447932.0	-0.4	2447938.8	-7.2
	310.4	1					
2448242.0			0	2448242.0	0.0	2448242.0	0.0
	310.3	1					
2448552.3			1	2448552.0	0.3	2448545.2	7.1
	291.4	1					
2448843.7			2	2448862.0	-18.3	2448848.5	-4.8
	1216.9	4					
2450060.6			6	2450102.0	-41.4	2450061.4	-0.8
	605.9	2					
2450666.5			8	2450722.0	-55.5	2450667.8	-1.3
	909.8	3					
2451576.3			11	2451652.0	-75.8	2451577.5	-1.2
	305.4	1					
2451881.6			12	2451962.0	-80.4	2451880.7	0.9

Tabela 3: etapas da redução de dados

2. CONCLUSÕES DA CURVA DE LUZ.

2.1 PERÍODOS.

Para determinação dos máximos e mínimos de cada ciclo, utilizou-se o método das cordas bi-seccionadas (Pogson). Com base nos dados brutos,

tem-se 5 máximos completos e 5 mínimos completos. Ainda foram usados 3 máximos incompletos. A Tabela 3 mostra as etapas do cálculo.

Máximos OBS - Datas Julianas dos Máximos: essas Datas foram determinadas a partir da curva de luz da Figura 1.

Dif. Dias - diferença de dias entre dois máximos consecutivos observados.

Dif. N - diferença entre dois ciclos consecutivos acompanhados.

Ciclo (n) - número do ciclo, sendo a DJ 2448242.0 considerada $n = 0$ arbitrariamente.

C1 - máximos calculados #1 com base na DJ 2448242.0.

O-C1 - diferença entre os máximos observados e os máximos calculados #1.

C2 - máximos calculados #2 com base no período refinado.

O-C2 - diferença entre os máximos observados e os máximos calculados #2.

Inicialmente os cálculos foram feitos sem relacionar os dados do GCVS, isto é, desconheceu-se que o período prévio da estrela fosse 308.44 dias. Por esta razão foi atribuído Ciclo $n = 0$ para a Data Juliana 2448242.0. Os valores dos ciclos (-1), (6) e (8) na Tabela 3 são dados não oriundos do método de Pogson - esses três máximos foram obtidos apenas por aproximação,

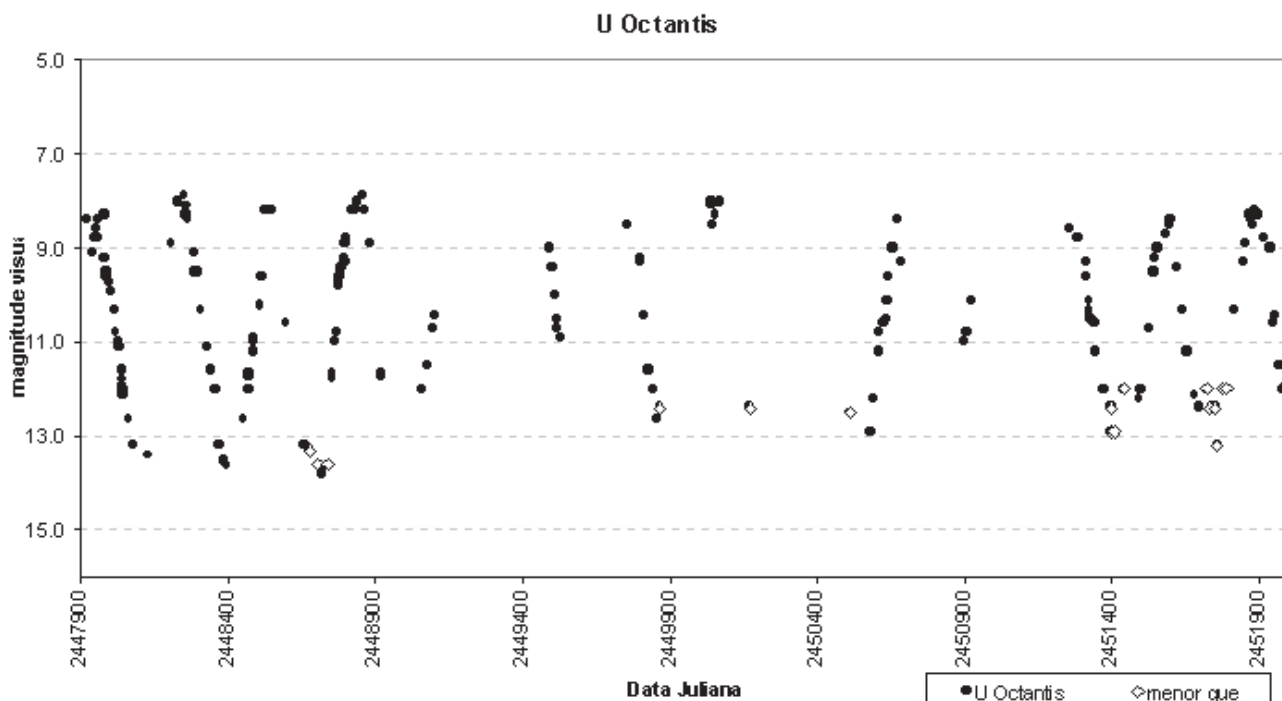


Figura 1: Curva de luz de U Octantis

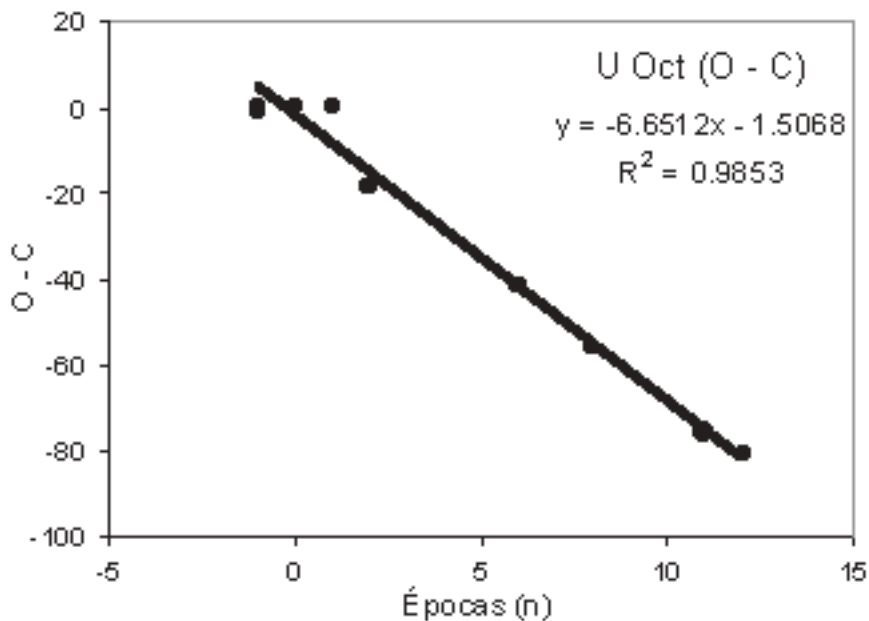


Figura 2: Diagrama O-C1

porém seus resultados mostraram-se compatíveis com os outros determinados pelo método de Pogson. Como se vê na Tabela 3, nos três primeiros máximos há uma diferença de 310 dias e este é o período inicial. A partir desse período calcula-se os máximos de acordo com a fórmula:

$$C1 = 2448242.0 + 310 (n)$$

Com base no gráfico O-C1 em função do Ciclo (n) obtém-se uma reta do tipo

$$ax + b, \text{ e o refinamento do período.}$$

Observa-se na Figura 2 que o índice de ajuste da curva foi 99%, indicando uma boa consistência de dados. No ciclo $n = 12$ tem-se uma diferença de -81.3 dias, o que implica em uma variação de 6.775 dias por ciclo. Como a reta possui coeficiente angular menor que 0 (zero) - $a < 0$ - então diminui-se 6.775 de 310 dias. O período refinado será 303.225 dias. Utilizando esse novo período, calcula-se novamente os máximos na coluna C2 na Tabela 3. Repare como o valor O-C2 não ultrapassa 8 dias para todos os máximos observados.

Um fato interessante é considerando os dados do GCVS:

DJ = 2441915.0 correspondendo ao Ciclo $n = 0$ (zero)

$$\text{Período} = 308.44 \text{ dias}$$

O Período refinado resultou em 303.348 dias, valor bem próximo daquele obtido com base apenas nas referências observacionais.

2.2 ANÁLISE DOS MÍNIMOS

Ao analisar as datas dos mínimos, obteve-se um período de 303.042 dias. O método usado foi o mesmo na Análise dos Máximos e os dados de referência foram:

DJ mínimo = 2448107.1 (obtido das observações e arbitrariamente escolhido como Ciclo $n = 0$).

Período = 295 dias (valor médio entre dois mínimos consecutivos).

2.3 MAGNITUDES.

Os ciclos individuais selecionados apresentaram máximos que variavam entre 7.9 e 8.4 magnitudes. Os mínimos, por sua vez, estiveram entre 13.4 e 13.8. O valor médio dos máximos foi de 8.15 magnitudes e o valor médio dos mínimos foi de 13.6 magnitudes - resultando em uma amplitude média de 5.45 magnitudes.

2.4 SIMETRIA.

O parâmetro $(M - m) / P$ fornece um indicativo da taxa de ascensão ao máximo em termos percentuais do período considerado. A variação desse parâmetro foi de 44% a 49%. O valor médio obtido foi de 48%, aproximando com o dado do GCVS que é de 47%.

2.5 CÁLCULO DOS PARÂMETROS FÍSICOS DE U OCTANTIS.

Em Reportes anteriores da REA (Rede de Astronomia Observacional), em especial nos estudos sobre R Carinae e S Carinae, foram calculados os parâmetros físicos dessas variáveis com a finalidade de estabelecer uma idéia aproximada desses parâmetros. Faz-se aqui o mesmo exercício com a U Octantis já levando em consideração fatores como absorção (extinção) interestelar.

2.5.1 MAGNITUDE ABSOLUTA NO MÁXIMO.

Sabe-se que existe uma relação bem definida entre o período e a luminosidade das variáveis Cefeidas. Alguns trabalhos na Astrofísica como o desenvolvido por Oswalds-Risley (1961) para

magnitudes visuais, assim como em magnitudes bolométricas e infravermelhas - Clayton/Feast (1969), Foy et al. (1975) e Celis (1981) - permitem relacionar de forma aproximada o período e a luminosidade das estrelas tipo Mira - grupo ao qual pertence a U Octantis. De acordo com o diagrama mostrado na página 66 do livro “Variable Stars” de Hoffmeister, Richter e Wenzel (1985), para um período de 303 dias (resultado observacional) a magnitude absoluta M_v é igual a -1.3. O diagrama mencionado é resultado do trabalho de Oswalds-Risley.

2.5.2 CÁLCULO DA DISTÂNCIA APROXIMADA DE U OCTANTIS.

Utilizando a equação do módulo da distância de uma estrela, sem considerar o efeito da extinção interestelar :

$$m_v - M_v = 5 \log (D) - 5$$

$m_v = 8.15$ (média da magnitude nos máximos observados) $M_v = -1.3$ (obtido na relação período-luminosidade conforme Oswalds-Risley).

Resolvendo a equação,

$$D = 776 \text{ parsecs (ou 2531 anos-luz)}$$

Essa distância seria se não houvesse nenhuma absorção entre a estrela e o nosso sistema planetário. Mas como existe a absorção interestelar, a fórmula deve ser modificada e um fator de absorção é inserido:

$$m_v - M_v = 5 \log (D) - 5 + A$$

$a =$ absorção. No caso de U Octantis, em V ($\lambda = 5400$ angstroms), a extinção é de 0.63 magnitudes.

$$8.15 - (-1.3) = 5 \log (D) - 5 + 0.63$$

$$D \sim 581 \text{ parsecs (ou 1894 anos-luz).}$$

2.5.3 CÁLCULO DA LUMINOSIDADE NO MÁXIMO.

Utilizando a equação de Pogson modificada com o Sol como parâmetro:

$$M_s - M_v = 2.5 \log (L_v / L_s)$$

$M_s = 4.8$ (magnitude visual absoluta do Sol).

$M_v = -1.3$ (obtido na relação período-luminosidade conforme Oswalds-Risley) .

$$L_s = \text{Luminosidade solar .}$$

$$L_v = \text{Luminosidade a ser calculada}$$

Resolvendo a equação,

$$L_v = 275.4 L_s$$

Ou seja, durante os máximos, U Octantis apresenta luminosidades da ordem de 275 vezes a do Sol.

2.5.4 CÁLCULO DA LUMINOSIDADE NO MÍNIMO.

Como já foi determinada a distância aproximada da variável (644 parsecs), é necessário calcular a magnitude absoluta (M_v) para $m_v = 13.6$:

$$m_v - M_v = 5 \log (D) - 5 + A$$

$$m_v = 13.6$$

$$D = 581$$

$$A = 0.63$$

Neste caso, $M_v = 4.15$ Conseqüentemente $L_v = 1.8 L_s$

Assim, a estrela varia sua luminosidade intrínseca por um fator de 150 vezes. Temos abaixo a Tabela 4 como um quadro comparativo com as outras estrelas variáveis já estudadas pela Rede de Astronomia Observacional. Deve-se levar em consideração que somente para U Octantis é que o cálculo da distância foi ajustado para a absorção interestelar.

Estrela	U Octantis	R Carinae	S Carinae
Magnitude Absoluta no Máximo	-1.3	0.93	-2.2
Magnitude Absoluta no Mínimo	4.15	4.7	1.4
Distância (parsec)	581	122	398
Luminosidade no Máximo (Sol=1)	275.4	195.9	630
Luminosidade no Mínimo (Sol=1)	1.8	0.98	23

Tabela 4 : quadro comparativo entre 3 variáveis estudadas pela REA

3. DADOS OBSERVACIONAIS DA AAVSO.

Usando o Banco de Dados da AAVSO obtiveram-se os seguintes resultados:

Para a Análise dos Máximos, o exercício foi o mesmo conforme explicado no item 2.1 . Então tem-se:

Época = 2437920.625 (obtido das observações e arbitrariamente escolhido como Ciclo $n = 0$)

Período = 310 dias (valor médio ao longo de 46 ciclos)

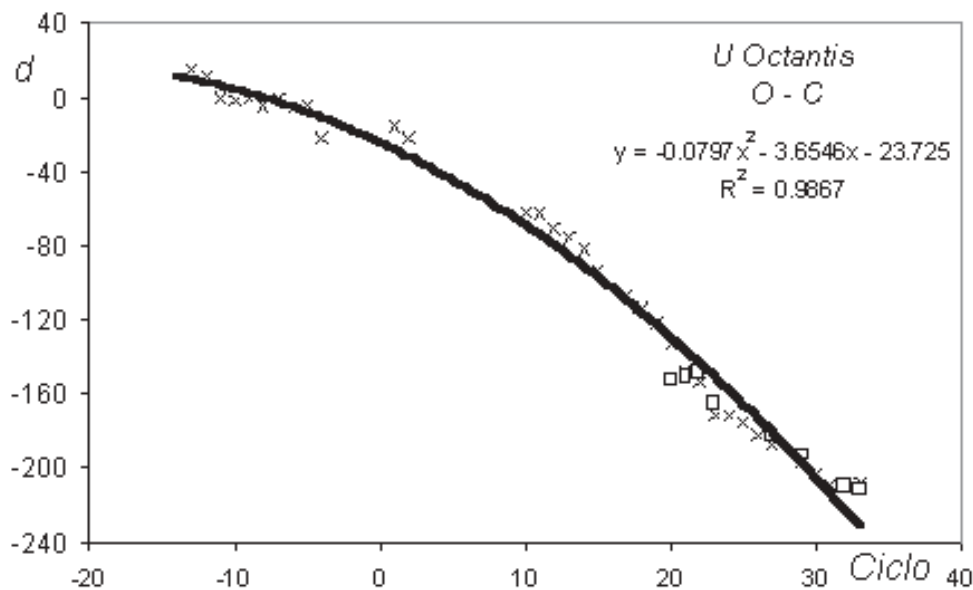


Figura 3: Curva O - C com dados da AAVSO e REA

Usando os parâmetros acima, o período médio calculado foi de 303.191 dias.

Ao usar os dados do GCVS para a Época e Período, o resultado foi 302.141 dias.

Nota-se que em ambos os casos os cálculos mostram que o período diminuiu ao longo de 46 ciclos.

As 1026 observações da AAVSO foram processadas no programa de computador AVE (do Grup d'Estudis Astronòmics) e obtiveram-se os seguintes resultados:

- Análise polinomial : 303.2425 dias
- Análise de Jurkewich : 303.043 dias
- Análise de Bloomfield : 303.442 dias
- Análise de Scarple : 303.043 dias
- Análise de Hartley : 303.043 dias

Os valores são próximos de 303.225 dias obtidos só com os dados da REA.

A 1 é m disso, a curva O -C com dados da AAVSO estão na Figura 3. Os pontos simbolizados por • são dados da REA inseridos.

4. CONCLUSÕES.

No que se refere a variação de período de U Octantis percebe-se uma diminuição de 5 dias depois de 25 anos levando em conta que a Época do GCVS é de 1973. Isso acarreta em uma defasagem entre a curva

do GCVS e os dados observacionais. Em 2000 a diferença O-C é da ordem de 100 dias, mas desde 1990 essa diferença vem diminuindo. A curva estará em fase por volta do Ciclo $n = 51$, usando o diagrama O-C com base nos dados de referência do GCVS. Isso acontecerá em 14/09/2016 (DJ = 2457645.4)

Também não se pode concluir eficazmente sobre a forma da curva O-C de U Octantis. A curva obtida em 11 anos pode ser um segmento de uma parábola ou senóide. A curva O - C com dados da AAVSO já mostra um segmento de parábola, apesar do coeficiente de x^2 ser menor que 0.1 unidade. Um estudo publicado por J. Mattei *et alli* em 1990 verificou a variação de período de 391 miras mas somente 15 delas possuem variações significativas. Havendo uma sutil diminuição no período de U Octantis, ela pode se comportar semelhante a R Hydrae ou R Aquilae (Figura 4).

Uma possível interpretação para a mudança de período nas variáveis Mira diz que o fenômeno é consequência da atividade do invólucro de Hélio - *Helium-shell Flash* (Wood and Zarro, 1981). Outras variáveis podem apresentar um aumento no seu

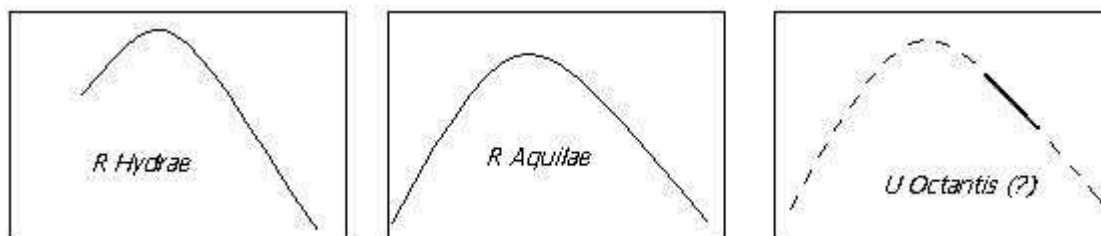


Figura 4 : curvas O - C de algumas variáveis com diminuição em seus períodos. U Octantis poderá se adequar a esses modelos? O intervalo em destaque na curva de U Octantis corresponde aos dados da REA.

período, tal como ocorre com W Draconis; neste caso a curva O-C é uma parábola com concavidade voltada para cima (a0).

Outras variáveis que apresentam defasagem entre o máximo observado e o máximo calculado pelo GCVS são: R Horologium, R Caeli, R Leporis, R Octantis e R Chamaleontis. Por essa razão é mais do que urgente o acompanhamento dessas intrigantes variáveis de longo período.

5. AGRADECIMENTOS.

Esse trabalho não seria possível sem o excelente trabalho desenvolvido pela Rede de Astronomia Observacional, mostrando a importância de manter um banco de dados de observações.

-À J. Mattei e à AAVSO pelo fornecimento do Banco de Dados de U Octantis.
-Também foi fundamental o apoio de Tasso Augusto Napoleão no que tange aos comentários iniciais sobre o comportamento de U Octantis e também pela assistência nos cálculos dos parâmetros.
-Ao astrofísico Raymundo Baptista, por seus comunicados em privado sobre o comportamento das LPV e sobre possíveis causas para o fenômeno de U Octantis. O empréstimo do livro "Variable Stars" foi fundamental para a compreensão sobre as variáveis de longo período e a construção do diagrama O-C.

6. BIBLIOGRAFIA.

- 1) American Association of Variable Stars Observers - Bulletins #62 (1999) and #63 (2000) .
- 2) American Association of Variable Stars Observers - Validation File 2000 in <http://www.aavso.org> .
- 3) Greaves, J. - "Period Analysis of W Draconis", Journal of the AAVSO Vol. 28, #1 (2000) .
- 4) Hawkins, G., Mattei, J.A. and Foster, G. - "R Centauri: An Unusual Mira Variable in a He-shell Flash", Journal of the AAVSO Vol. 29 (2000).
- 5) Mattei, J., Percy, J., Colivas, T. and Sloan, B. - "Long Terms Changes in Mira Variables" (1990) - Astronomical Society of the Pacific.
- 6) Hoffmeister, Richter, Wenzel - Variable Stars, Springer-Verlag, (1985) .
- 7) Napoleão, T.A. - "Um Estudo Sobre as Miras: O Exemplo de R Carinae", Reporte REA #4 (1991).
- 8) Napoleão, T.A. e Colesanti, C.A. - "Análise da Curva de Luz de S Carinae", Reporte REA #9 (2000).
- 9) Kholopov, P.N., et al, General Catalogue of Variable Stars Variable, 5th edition (1998) disponível no programa Carte du Ciel 2.61.
- 10) Análisis de Variabilidad Estelar - software publicado pelo Grup d'Estudis Astronòmics - <http://www.gea.cesca.es>.
- 11) - Mattei, J. A., 2001, Observations from the AAVSO International Database, private communication.