

# Um Estudo Sobre as Miras: O Exemplo de R Carinae

*Tasso Augusto Napoleão*

## 1. INTRODUÇÃO.

R Carinae é um exemplo característico das variáveis de longo período (LPV), também denominadas “miras” por muitos, em função da estrela - protótipo desta classe, Mira Ceti. Alguns autores, entretanto - como Strohmeier (ref. 8) - preferem distinguir as LPV's das miras, reservando este último termo apenas para as estrelas cuja amplitude de variação supera 2.5 magnitudes, e utilizando a expressão LPV para amplitudes menores. Neste texto, omitiremos tal diferenciação, usando a terminologia mais adotada, que considera ambas as expressões como equivalentes.

As miras geralmente apresentam períodos entre 150 e 700 dias, sendo a faixa de 200 e 400 dias a mais comum. O máximo da distribuição gaussiana em nossa galáxia é atingido no período de 278 dias (cf Hoffmeister, ref. 3). Uma amplitude de variação de no mínimo duas magnitudes, e em média entre 5 e 6 magnitudes, é típica desta classe; há, no entanto, estrelas como Chi Cygni, que chegam a apresentar amplitude de 10 mag em seu ciclo.

Espectroscopicamente, dividem-se as miras em três classes, sendo as do tipo M as mais frequentes (particularmente as da sub-classe Me). Mais raramente, encontram-se miras dos tipos espectrais S ou C, sendo estas últimas “estrelas de carbono”. É comum a presença de linhas de emissão brilhantes de hidrogênio no espectro das miras, notadamente quando de seus máximos.

Fisicamente, as miras são todas gigantes ou supergigantes vermelhas, com massas da ordem da solar, magnitudes absolutas em geral entre +1 e -2, temperaturas efetivas baixas (normalmente entre 2500 e 3000°K). Sua emissão máxima não ocorre no espectro visível, mas sim no infravermelho, e suas altas luminosidades provêm principalmente de suas imensas dimensões, que atingem algumas unidades astronômicas (ou, dito de outra forma, algumas centenas de diâmetros solares). Naturalmente, com essas dimensões, as miras são estrelas muito pouco densas. Quase toda a sua massa, na realidade, está concentrada no núcleo, que tem dimensão não muito distantes das terrestres. A atmosfera - ao contrário do Sol, por exemplo - não apresenta limites definidos, sendo extremamente tênue em sua estrutura exterior e favorecendo assim fenômenos de perda de massa.

As curvas de luz das miras não são exatamente iguais, de ciclo para ciclo. Ao contrário: tanto os máximos, como os mínimos, como ainda o período e diversos outros parâmetros variam - nem sempre de forma aleatória. A

procura de correlações estatísticas entre o formato das curvas de luz e o período (ou outros parâmetros associados) é uma importante atividade observacional, hoje a cargo dos astrônomos amadores.

A classificação de Ludendorff, lançada no seu *Handbuch der Astrophysik*, em 1928, é ainda útil para essa finalidade. Ludendorff agrupou as miras em três categorias básicas, segundo a forma da curva de luz: a classe alfa possui a ascensão ao máximo marcadamente mais rápida que o declínio, e o mínimo é geralmente mais agudo que o máximo. A classe gama apresenta máximos duplos ou patamares (também denominados “standstill”) na fase de ascensão. Cada um dos tipos básicos, por sua vez, se subdivide em várias subclasses. Escolhemos a variável R Carinae, acompanhada pela REA desde 1988, para exemplificar as diversas características observacionais das miras. Parte dos resultados que ora apresentamos foi descrita preliminarmente no artigo “As variáveis de longo período em Carina”, no Reporte nº 2 da REA (1989); o presente texto o atualiza e complementa.

## 2. R CARINAE COMO VARIÁVEL MIRA.

O terceiro suplemento do General Catalog of Variable Stars (GCVS), ou Catálogo de Moscou, indica para R Carinae um período de 308.71 dias e amplitude de variação entre 3.9 mag e 10.1 mag, ambas no visual. Estes valores, segundo a metodologia do GCVS, correspondem ao máximo mais brilhante e ao mínimo mais fraco já observados. Em contrapartida, a AAVSO indica uma faixa entre 4.6 mag e 9.6 mag, o que evidentemente corresponde aos valores médios dos máximos e dos mínimos observados. Em virtude da declinação bastante austral de R Car, é provável que os dados da AAVSO sejam provenientes da RASNZ (Royal Astronomical Society of New Zealand). De qualquer forma, a amplitude de variação se situa entre 5 a 6 magnitudes, o que é típico das miras.

Ainda o GCVS indica, para ascensão do mínimo ao máximo, uma fração de 48% do período total. Isto pareceria sugerir certa simetria na curva de luz da estrela, e em consequência uma provável classificação no grupo “beta” de classificação de Ludendorff.

Outros dados fornecidos pelo GCVS incluem a classe espectral, que varia de M4e a M8e durante o ciclo, configurando novamente uma situação típica das LPV's de sua classe. Finalmente, a época considerada pelo

GCVS para o máximo de R Car corresponde à data Juliana 2440920.

### 3. ESTATÍSTICAS OBSERVACIONAIS.

Para a construção da curva de luz que é vista mais adiante, foram utilizadas as estimativas de magnitude realizadas pelos associados da REA, entre fevereiro de 1988 e janeiro de 1991, perfazendo um total de 266 observações. O projeto da REA correspondente foi o de número 04/88, padronizando-se as estimativas pelo método de Pickering e utilizando-se cartas de magnitude da AAVSO. O projeto é permanente, e portanto novas observações continuam a ser acumuladas no Banco de Dados da REA. Todas as estimativas são visuais, sendo realizadas geralmente com instrumentos de pequeno e médio porte, compatíveis com a fase da magnitude da variável.

Os seguintes observadores participaram da campanha:

Observador	Local	Nº estimativas
Avelino A. Alves	Florianópolis, SC	95
André L. Silva	S. Vicente, SP	30
Antonio Padilla Fo.	R. Janeiro, RJ	32
Carlos A. Colesanti	S. Paulo, SP	07
Claudio B. Leitão Jr.	S. Paulo, SP	02
Edvaldo J. Trevisan	S. Paulo, SP	02
Marcos F. Lara	R. Janeiro, RJ	37
Raul Salvo	Montevideo, UR	06
Reinaldo del Dotore	S. Paulo, SP	10
Tasso A. Napoleão	S. Paulo, SP	45
TOTAL =		266

### 4. CURVA DE LUZ.

Na figura 1 é apresentada a curva de luz obtida para R Carinae no período de observação mencionado.

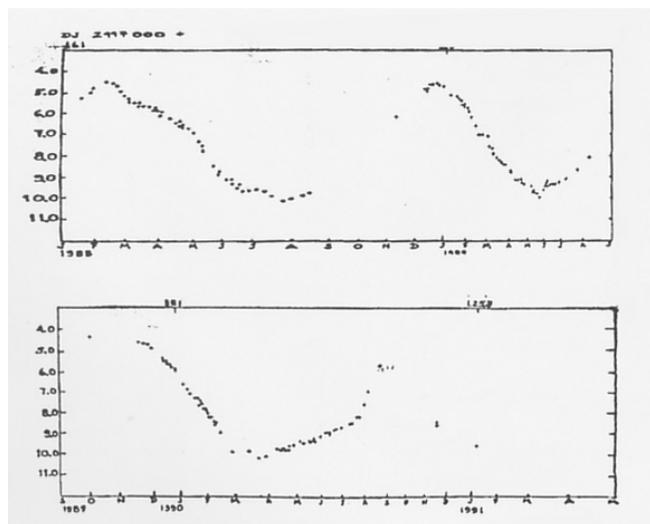


Figura 1 - Curva de luz de R Carinae

Devido à extensão do período de observação, optamos - por uma questão de escala - por subdividir a curva em dois trechos. Nota-se o bom acompanhamento da estrela, de forma geral, com exceção dos meses de setembro a dezembro, época em que a variável está em sua conjunção solar, reaparecendo em seguida às últimas horas da madrugada (esta é uma fase em que as observações são extremamente valiosas, por sua escassez). Mesmo com esta deficiência, a utilização do método das cordas bi-seccionadas de Pogson para a determinação gráfica dos máximos e mínimos da estrela forneceu uma precisão razoável.

### 5. REDUÇÃO DOS DADOS.

#### 5.1. ASPECTO DA CURVA DE LUZ.

A observação dos três ciclos cobertos máximos são claramente mais agudos que os mínimos. Principalmente no ciclo de 1990, cujo mínimo foi melhor acompanhado, nota-se que a estrela tem recuperação inicialmente lenta, acelerando-se a cerca de três meses após o mínimo.

O aspecto geral parece se enquadrar na classe "beta-1" da classificação de Ludendorff. Não são perceptíveis "standstills" nos três ciclos - embora a estrela permaneça bastante tempo próximo do mínimo.

#### 5.2. MÁXIMOS.

A partir da curva de luz e utilizando-se o processo gráfico de Pogson, os máximos e mínimos foram determinados, deduzindo-se a partir daí os períodos.

Os máximos (bem como os períodos através deles obtidos) são listados a seguir em datas julianas e datas-calendário:

Ciclo	Datas(máximos)	Data Juliana	Período	Mag.
1	12 fev 1988	2447203.5		4.5
2	18 dez 1988	2447513.5	310 dias	4.6
3	27 out 1989	2447825.5	312 dias	4.3
4	03 set 1990	2448136.5	311 dias	4.7

O período médio, entre os quatro ciclos, atinge 311.3 dias, que pode ser confrontado com os 308.7 dias do GCVS (desvio observacional de 2.3 dias). A incerteza do último máximo é maior, por ter ocorrido em época de conjunção solar, seus valores só puderam ser obtidos graficamente.

#### 5.3. MÍNIMOS.

De forma semelhante, deduzimos as datas e magnitudes dos mínimos, listados abaixo:

Ciclo	Datas(mínimos)	Data Juliana	Período	Mag.
1	26 jul 1988	2447368.5		10.1
2	27 mai 1989	2447673.5	305 dias	10.0
3	18 mar 1990	2447968.5	295 dias	10.2

O período médio calculado através dos mínimos, portanto, atinge 300 dias, abaixo dos 308.7 dias informados pelo GCVS.

#### 5.4. TEMPOS DE ASCENSÃO E DECLÍNIO.

A partir dos dados dos itens anteriores, podemos estimar os tempos de ascensão ao máximo e declínio ao mínimo em cada ciclo, bem como o fator (M-n)/P:

Ciclo	DJ.máx.(M)	DJ.min.(m)	Ascensão(M-m)	Declínio(m-M)
1-0	2447203.5	2447368.5	—	165
2-1	2447513.5	2447368.5	145	—
2-2	2447513.5	2447673.5	—	160
3-2	2447825.5	2447673.5	152	—
3-3	2447825.5	2447968.5	—	143
4-3	2448136.5	2447968.5	168	—

O tempo médio de ascensão nos três ciclos foi de 155 dias, levemente inferior ao tempo de declínio até o mínimo, que em média atingiu 156 dias.

#### 5.5. PARÂMETRO (M-m)/P.

Para cada um dos três ciclos, este parâmetro, que representa a relação entre o tempo de ascensão ao máximo e o período correspondente, pode ser visto abaixo:

$$\text{Ciclo 1: } 145/310 = 46.7\%$$

$$\text{Ciclo 2: } 152/312 = 48.7\%$$

$$\text{Ciclo 3: } 168/311 = 53.1\%$$

O valor médio dos três ciclos atingiu 49.5%, contra 48% do GCVS. Observe-se novamente que a incerteza na determinação do máximo do ciclo de 1990 (ocorrido durante a conjunção solar da estrela) provavelmente influenciou no terceiro resultado individual.

#### 6. UMA POSSÍVEL RELAÇÃO PERÍODO/LUMINOSIDADE PARA AS MIRAS.

Desde o início do século - e graças ao extenso trabalho período-luminosidade para as Cefeidas clássicas - sabemos que aquela classe de variáveis é um dos melhores indicadores de distância que conhecemos. A relação de Leavitt foi, inclusive, a base para o cálculo da distância de Andrômeda e diversas outras galáxias, por Edwin Hubble, que a partir delas desenvolveu a teoria da expansão do universo.

Porém, e quanto às miras? Infelizmente, elas são bem menos luminosas que as Cefeidas - e, portanto, sua identificação em galáxias distantes é praticamente impossível, ao contrário daquelas. O próprio Hubble, em 1932 (em Andrômeda) e Cecilia Payne - Gaposchkin (usando a Pequena Nuvem de Magalhães) tentaram inutilmente estabelecer uma relação semelhante à de Leavitt para as miras.

Mais recentemente, entretanto, e utilizando a técnica de paralaxes estatísticos, alguns pesquisadores como Wilson e Merrill (1942), Blanco (1958) e Oswalds e Risley (1961) têm obtido resultados aparentemente consistentes entre si. Atualmente, um grupo de astrônomos do SAAO (South African Astronomical Observatory), liderado por I.S. Glass e T.L. Evans, realiza um extenso estudo com centenas de miras da Grande Nuvem de Magalhães. Embora nada possa garantir que as miras da GNM tenham características exatamente iguais às de nossa galáxia, a comparação com estrelas da mesma classe da GNM e na PNM poderá lançar alguma luz sobre o assunto.

Enquanto os dados do SAAO não estão disponíveis, vamos utilizar as relações período-luminosidade de Wilson-Merrill, Blanco e Oswalds-Riesley para determinar a distância aproximada de R Carinae.

#### 7. CÁLCULO DA DISTÂNCIA APROXIMADA DE R CARINAE.

Podemos exprimir as três relações P-L de forma conveniente, utilizando a tabela abaixo. Observe-se nela que (ao contrário do que ocorre com as Cefeidas) a luminosidade não aumenta diretamente com o período. Na maior parte das faixas, por sinal, o que ocorre é exatamente o inverso.

Magnitudes absolutas nos máximos

Grupo	Período	Oswalds/Riesley	Blanco	Wilson/Merrill
		Médio(dias)		
1	131	-1.67	-0.8	-2.02
2	176	-2.74	-1.0	-2.7
3	223	-2.10	-1.0	-1.9
4	273	-2.03	-1.0	-1.0
5	324	-0.93	-0.9	-0.5
6	376	-1.05	-0.9	0.0
7	419	-0.31	-0.9	+0.2
8	508	-1.17	-0.9	+0.5

Utilizemos a relação P-L de Oswalds-Riesley e o período médio que obtivemos (311 dias) através dos máximos. Pela tabela acima, usemos a magnitude do grupo 5 - mais próximo do obtido - e a equação do módulo de distância. Nesta última, consideraremos a média dos máximos obtidos (4.5 mag.):

$$m - M = 5 \log D - 5$$

$$4.5 + 0.93 = 5 \log D - 5$$

$$\log D = 2.086$$

$$D = 122 \text{ parsecs (ou 398 anos-luz)}$$

O uso da relação P-L de Blanco forneceria praticamente o mesmo valor (120 parsecs), enquanto que a de Wilson-Merrill nos daria exatamente 100 parsecs.

## 8. DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS FÍSICOS DE R CAR

Uma vez determinada a distância da estrela e conhecidos os resultados observacionais, é possível - embora de forma grosseira - estimar alguns parâmetros físicos de R Carinae. Para tanto, vamos considerar a distância como 120 parsecs.

\*A luminosidade da estrela (nos máximos) pode ser calculada pela equação Pogson modificada:

$$M_0 - M = 2.5 \log(L/L_0)$$

Considerando a magnitude absoluta do Sol como 4.8,

$$4.8 + 0.93 = 2.5 \log(L/L_0)$$

$L = 195.9 L_0$ , ou seja, a variável apresenta luminosidades da ordem de duzentas vezes a solar durante os máximos.

\*O raio da estrela nestas condições poderia ser calculado de forma grosseira a partir da teoria do corpo negro, usando a equação:

$$L = 4\pi\sigma R^2 T^4$$

Nesta equação, o  $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzmann; admitiremos  $T$  (temperatura efetiva, obtida a partir do índice de cor) como cerca de 2500°K. Resulta:

$$195.9 \times 4 \times 1033 = 4 \times \pi \times 5.67 \times 10^{-5} \times R^2 \times (2.5 \times 10^3)^4$$

$$R = 5.3 \times 10^{12} \text{ cm ou}$$

$$R = 76 \text{ raios solares, ou ainda}$$

$R = 0.36$  unidades astronômicas - pouco mais de um terço da distância entre a Terra e o Sol. Este valor, no entanto, não corresponde necessariamente ao máximo raio da estrela durante seus ciclos - poderá ser ainda maior.

\*Se admitirmos a massa da variável como entre uma e dez massas solares (o que certamente se aplica), sua densidade é facilmente calculável por:

$\rho = M/V = 3M/4\pi R^3$ , resultando para uma massa solar:

$\rho = 3.2 \times 10^{-6} \text{ g/cm}^3$ , ou seja, pouco mais de três milionésimos da densidade da água. Mesmo imaginando que esse valor seja dez vezes maior, a conclusão final não muda: R Carinae é tão tênue que se aproxima do que chamamos vácuo por nossos padrões terrestres...

\*Imaginamos agora a situação em um mínimo típico (magnitude aparente 10.1) e utilizemos novamente a equação do módulo de distância, agora para determinar a magnitude absoluta nos mínimos:

$$m - M = 5 \log D - 5$$

$$10.1 - M = 5 \log 120 - 5$$

$M = 4.7$  magnitudes, o que é praticamente equivalente à magnitude absoluta do Sol (4.8 magnitudes). Assim, a estrela - no decorrer de seu ciclo - varia sua luminosidade intrínseca por um fator de quase duzentas vezes! (Caso voce deseje comprovar isto, basta aplicar novamente a equação de Pogson modificada).

Todos estes valores foram calculados de forma simples e aproximada, desprezando-se os efeitos da extinção interestelar, correções ópticas e outras que deveriam ser levadas em conta caso se desejasse um trabalho mais preciso. Entretanto, os resultados são suficientes para caracterizar R Carinae como uma variável Mira típica e mesmo fornecer uma idéia simplificada de como são, fisicamente, as estrelas desta classe.

## 9. REFERÊNCIAS.

- 1) American Association of Variable Stars Observers - Bulletins 52 (1989); 53 (1990)
- 2) Glass, I.S. - The Mira Variables, Monthly News of the Astronomical Society of South Africa, Nos. 9/10, October 1990.
- 3) Hoffmeister, Richter, Wenzel - Variable Stars, Springer - Verlag, 1985.
- 4) Isles, J.E.; Saw, D.R.B. - Mira Stars. Journal of the British Astronomical Association; Part I (1987, 97,2); Part II (1989, 99,3); Part III (1989, 99,4); Part IV (1989, 99,6).
- 5) Kukarkin, B.V. et al - General Catalog of Variable Stars, 3<sup>rd</sup> Supplement, Moscow, 1973.
- 6) Napoleão, T.A. - As variáveis de longo período em Carina, Reporte REA n° 2 (1989).
- 7) REA (Rede de Astronomia Observacional) - Projeto de observação n° 04/88.
- 8) Strohmeier, W. - Variable Stars, Pergamon, 1972.