

# Análise preliminar da curva de luz de W Crucis em 1999

*Tasso A. Napoleão (SP), Hélio C. Vital(RJ), Avelino Alves(SC)*

## 1. Caracterização.

W Crucis é uma binária eclipsante peculiar austral e brilhante, cujas invulgares características têm levado diversos observadores a monitorá-la ao longo de vários ciclos nos últimos anos, - entre eles, Alves (1993) e Dominguez (1993), ambos do quadro da REA. No presente artigo, pretendemos apresentar os resultados e a análise da campanha observacional; levada a cabo por todo o grupo de variabilistas da REA em 1999, bem como discutir novos modelos e possibilidades sobre o comportamento desta interessante estrela.

W Crucis situa-se nas coordenadas : Ascensão Reta 12h11m59s e Declinação - 58° 47.0' (equinócio 2000.0). A estrela está bastante próxima ao plano da Galáxia, com longitude galáctica de 3.70° e longitude galáctica de 297.83°. Trata-se de uma binária eclipsante, que até a terceira edição do General Catalogue of Variable Stars (GCVS), em 1970, era listada como tipo EA - ou seja, uma eclipsante algóica; a quarta edição do GCVS (1988), todavia, já a classificava como EB - ou seja, uma binária do tipo Beta Lyrae. Essa própria mudança já parecia indicar interessantes e recentes desenvolvimentos no estudo da variável.

Mirek Plavec (UCLA at Los Angeles), em "paper" publicado no IBVS (Information Bulletin on Variable Stars, Konkoly Observatory, Budapest) número 2524 (1984) foi o primeiro a dirigir um apelo aos observadores austrais para o monitoramento de W Cru. Nesta época, praticamente tudo o que se sabia sobre a estrela vinha de observações de O'Connell (1936), ou seja, um hiato de quase 50 anos ! O maior problema estava na inusitada extensão de seu período (198.53 dias, segundo o GCVS), que constituía um obstáculo ao monitoramento continuado por parte dos profissionais. Sabia-se, entretanto, que a amplitude de sua variação no visível era de cerca de 8 a 9.5 magnitudes (Plavec 1984), e de 9.0 a 10.4 mag no filtro B (GCVS, AAVSO). A classe espectral era identificada como G1 Iab para a primária (Plavec 1984) ou G2b Iab (GCVS) : de qualquer forma, uma supergigante amarela; porém, a secundária, apesar de apresentar indícios de ser ainda mais massiva que a primária, simplesmente não apresentava linhas

espectrais ! Para complicar mais o quebra-cabeças, a duração dos eclipses era difícil de estimar e nem mesmo havia uma definição precisa sobre o formato da curva de luz, mesmo quando construída por observadores experientes (veja, por exemplo, a controvérsia entre A. Alves e S. Dominguez no Reporte REA número 6, 1993). As melhores efemérides conhecidas eram ainda baseadas em O'Connell e indicavam uma época correspondente ao DJ 2440731.6.

Desde o artigo de Plavec, diversos observadores profissionais e amadores concentraram-se no estudo de W Cru (veja na Bibliografia), e alguns modelos teóricos foram desenvolvidos, alguns se adequando às observações, outros não. A campanha observacional da REA em 1999 veio se agregar à base de dados (ainda reduzida) para a estrela - porém, todos nós ainda estamos longe de entender perfeitamente os mecanismos de variação de W Crucis, como discutiremos adiante. Claramente, esta é uma estrela que deverá continuar a ser monitorada com prioridade durante os próximos anos.

## 2. Campanha observacional da REA em 1999.

Os observadores da REA realizaram em 1999 um total de 207 estimativas de magnitude visual, num período de 200 noites de observação a partir de 01 de março de 1999, cobrindo portanto um ciclo completo da estrela (198.53 dias). Além disso, uma fotografia e treze imagens CCD da variável foram obtidas.

Treze observadores participaram desta campanha (em ordem alfabética):

*Adriano S. Barros (Maceió, AL); Alexandre Amorim (Florianópolis, SC); Antonio Padilla Fo. (Rio de Janeiro, RJ); Avelino Alves (Florianópolis, SC); Carlos Colesanti (São Paulo, SP); Felipe Hodar (Campinas, SP); Hélio Vital (Rio de Janeiro, RJ); José Guilherme Aguiar (Campinas, SP); Juan Hodar (Campinas, SP); Tasso A. Napoleão (São Paulo, SP), todos com estimativas visuais. Cristóvão Jacques e Nuno C. Cunha (Belo Horizonte, MG), com imagens CCD; e Marco De Bellis (Rio de Janeiro, RJ), com imagem fotográfica.*

### 3. Curvas de luz.

A figura 1 representa a curva de luz completa para o total de 200 noites de observação. Mesmo um primeiro exame revela algumas características evidentes :

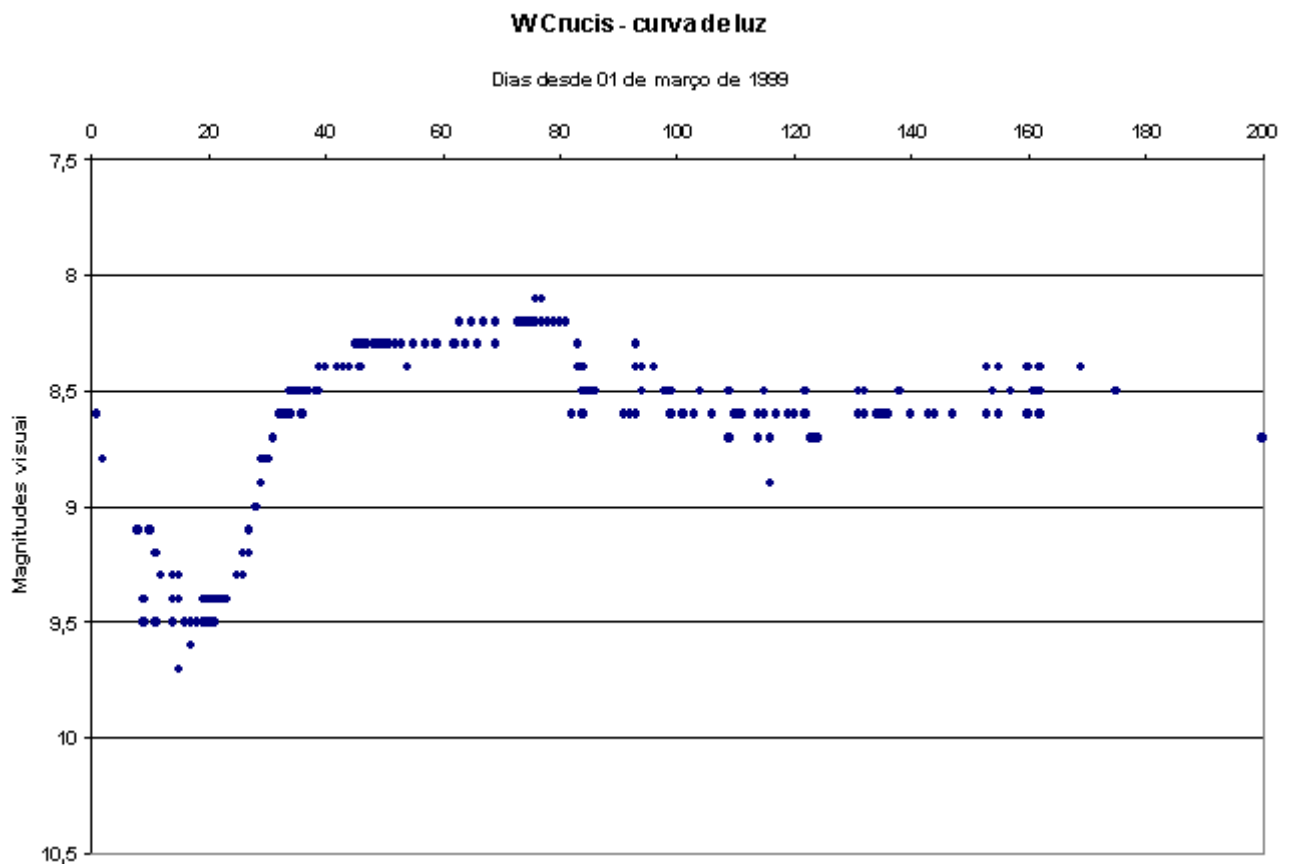


Figura 1 : Curva de luz de W Crucis obtida pela REA em 1999:

A curva de luz é contínua, assemelhando-se às da classe Beta Lyrae, e não às da classe Algol; seu aspecto, entretanto, é peculiar.

Uma provável assimetria parece estar presente. O máximo que se segue ao mínimo primário é mais brilhante. A duração do mínimo secundário parece ser mais ampla que a do primário.

A magnitude mais provável no máximo brilho parece estar entre 8.1 - 8.2 (V) .

A magnitude mais provável no mínimo primário parece ser cerca de 9.6 (V) .

O mínimo primário foi atingido em Março (17.94 + - 0.34) TU, 1999.

A duração total do eclipse primário parece estar em cerca de 60 dias, porém com certa imprecisão observacional.

Mínimo secundário bastante impreciso : a existência de um possível patamar de brilho (plateau) ainda necessita ser confirmada.

A reprodutibilidade da curva de luz de ciclo para ciclo precisa também ser verificada com maior

precisão.

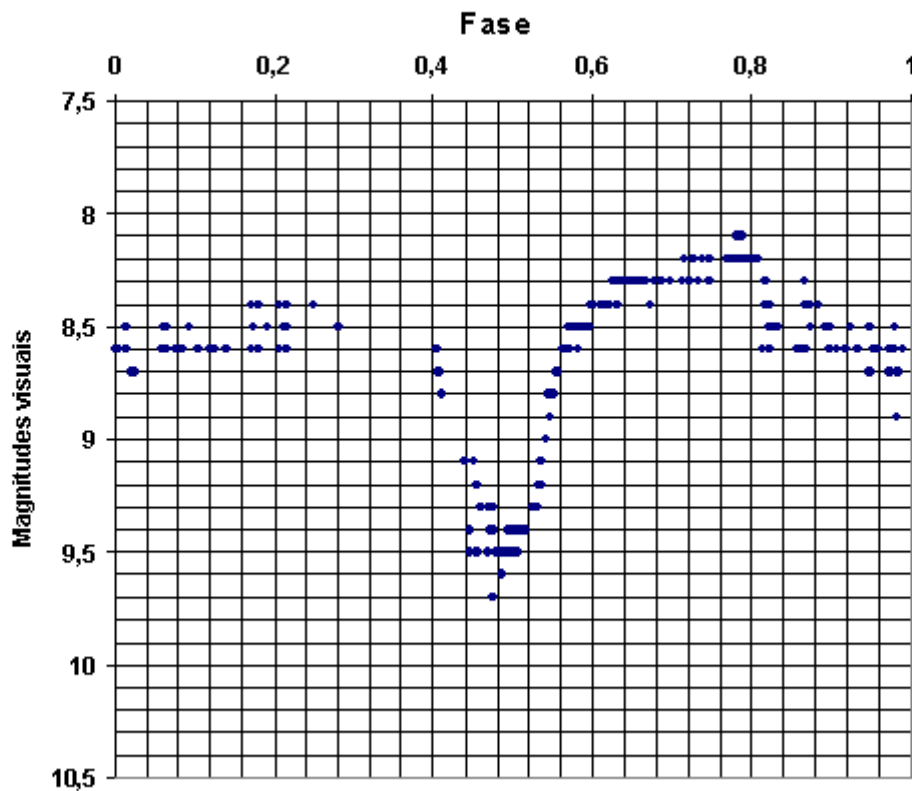
Para facilitar as análises que se seguem, procuramos também normalizar a curva de luz, “fasando-a” considerando a época e período dados pelo GCVS. A curva de luz “fasada” é vista a seguir, na Figura 2 :

### 4. Primeiras discussões / interpretações.

Durante os meses de março a maio de 1999, um grupo da REA (Avelino Alves, Cristóvão Jacques, Hélio Vital, Nuno Cunha, Tasso Napoleão) efetuou via REANET as primeiras tentativas de interpretação e entendimento dos dados que iam sendo obtidos deste estranho sistema, à medida que as estimativas iam se desenvolvendo. Algumas dessas interpretações preliminares são vistas a seguir:

A morfologia da curva de luz, à medida que as estimativas se desenvolviam, foi identificada com uma eclipsante tipo Beta Lyrae, descartando-se totalmente o tipo EA para W Crucis. Uma assimetria parece evidente, e o fato de a curva ser contínua sugeria a possibilidade de efeitos de elipticidade e de maré entre as componentes.

Os cálculos da magnitude absoluta do sistema, combinadas com medidas do índice de cor (B-V) efetuadas via CCD, sugeriram a presença de ao



menos uma gigante ou supergigante amarela como componente, e talvez mesmo duas.

A inexistência aparente de um plateau significativo de brilho no mínimo secundário, além da assimetria já citada, foi interpretada como um possível sinal de um disco de acreção (*accretion-disk*) no sistema; ou então de que o patamar tivesse amplitude muito curta, talvez encoberta pelo erro observacional.

Foi sugerida por Vital (baseado em observações de ciclos anteriores) a existência de um possível aumento do período orbital da estrela, à taxa atual de 0.05 dias por século. Neste caso, o período atual estaria em 198.567 dias, contra 198.538 dias relacionados no GCVS.

O levantamento de observações de ciclos anteriores por Alves indicou uma significativa variação da morfologia da curva de luz de ciclo para ciclo, bem como flutuações irregulares superpostas à curva de luz.

Evidentemente, essas discussões não tinham o objetivo de criar um modelo para a variável ou mesmo de explicar inteiramente os mecanismos de variação de W Crucis (o que seria pretensioso, dados o grau de complexidade do sistema, nossos limitados recursos instrumentais e o volume relativamente pequeno de observações). Como seria de se esperar, saímos com mais perguntas que respostas. Porém, elas serviram como ponto de partida para um melhor entendimento futuro das características desta intrigante binária; o único item que ficou evidente, com certeza, foi a necessidade da continuidade do monitoramento da estrela durante vários

ciclos sucessivos, para verificar a reprodutibilidade da curva de luz e de suas particularidades ciclo a ciclo.

## 5. W Crucis : um modelo “definitivo” ?

Naturalmente, as discussões nos estimularam também a pesquisar o material já publicado sobre W Crucis na literatura profissional. Comprovamos que é muito reduzido o número de “papers” sobre a estrela (sobretudo modelos para explicar seu intrigante comportamento) nos periódicos profissionais. Um deles, entretanto, de autoria de S. Zola (do ESO e do Observatório de Cracóvia), e publicado em 1996 na “*Astronomy and Astrophysics*” (ver bibliografia) parece ser bastante consistente com o leque de fenômenos observados até o momento. O “paper” chama-se “*W Crucis: na eclipsing binary containing an accretion disk*”. Tentaremos a seguir traçar um sumário de suas hipóteses principais. Naturalmente, qualquer eventual inconsistência neste resumo certamente se deverá a interpretações incorretas de nossa parte, e não ao modelo do autor.

Zola deriva um modelo que requer a existência de um disco de acreção espesso no sistema. O disco teria um raio entre 120 – 132 raios solares e espessura de 15 raios solares, e é visto quase de perfil, obscurecendo assim completamente a estrela mais massiva (aquela que recebe matéria), cujo raio seria de apenas 4 raios solares e estaria completamente imersa no disco. Isto explicaria o enigma de sua invisibilidade

no espectro. A temperatura do disco, por outro lado, seria de apenas 1500 – 2000 Kelvin; assim, sua contribuição para a luminosidade total do sistema seria pequena.

Na etapa do ciclo correspondente à fase 0.25 (acompanhe pela curva de luz “fasada”, acima), as componentes estariam na posição não-eclipsada. A estrela primária é a que está envolta no disco; ela recebe matéria da secundária através do disco, e seu espectro é invisível por estar imersa nele; sua massa seria de 7.8 massas solares, seu raio, de 4 raios solares, e sua temperatura, de 14 000 K.

A estrela secundária, por outro lado, seria uma gigante amarela do tipo espectral G2 Iab e perderia matéria para a primária; sua massa seria da ordem de 1.25 massas solares apenas, com raio de 76 massas solares e temperatura de 5500 K. Naturalmente que uma estrela como essa tem a alta luminosidade decorrente muito mais de suas enormes dimensões que de sua temperatura.

Na fase 0.50, que corresponde ao mínimo **primário** observado por nós, a estrela secundária (a gigante amarela) seria eclipsada pelo disco frio e escuro. A situação inversa ocorreria na fase 1.0, que corresponde ao mínimo **secundário**, que podemos observar com dificuldades e que tanta controvérsia tem gerado: o disco estaria então sendo eclipsado pela gigante amarela.

A curva de luz segue realmente um padrão tipo Beta Lyrae, consistente com uma configuração de quase-contato; o modelo indica forte efeito de elipticidade, o que indicaria que ao menos um dos componentes preencheu seu lóbulo de Roche.

Existem assimetrias na curva de luz e diferenças entre os máximos. A provável explicação para o brilho adicional do máximo da fase 0.75 estaria em um ponto quente (“*hot spot*”) na borda do disco, que está melhor visível nessa fase. Outra hipótese, menos provável, consideraria um disco excêntrico e não circular.

A separação orbital do sistema seria de 299 raios solares e a inclinação em relação à linha de visada, de 88 graus. Nessas condições, o fluxo de massa entre as componentes deveria produzir um aumento do período orbital com uma taxa da ordem de  $dp/dt = 5.3 \times 10^{-8}$  a  $14 \times 10^{-8}$ .

Comprovou-se a existência de variações fotométricas irregulares superpostas à curva de luz, que seriam mais intensas nos comprimentos de onda menores. Estas seriam possivelmente devidas a não-

homogeneidades do disco e ao fluxo de matéria fluindo pelo ponto de Lagrange.

Finalmente, Zola considera que é possível que a própria curva de luz varie de ciclo para ciclo, e que os mesmos fenômenos não ocorram exatamente nas mesmas fases. Portanto, novas observações são consideradas indispensáveis para o aperfeiçoamento do modelo.

Nota-se a clara consistência entre o modelo de Zola e os dados inferidos da análise preliminar de nossa curva de luz, incluindo-se várias das possibilidades listadas em nossas discussões na REANET. Seria este o modelo definitivo para explicar o comportamento de W Crucis? Parece ser cedo ainda para afirmar com toda a certeza, embora muitos parâmetros se ajustem realmente ao observado. Novamente, o consenso de todos os que já se dedicaram à observação ou à análise de modelos teóricos para W Crucis é o mesmo: o monitoramento continuado dos ciclos da estrela por vários anos é a chave para a explicação definitiva de todos os fenômenos que envolvem o comportamento desta intrigante variável.

## 6. Bibliografia.

- Alves, A. : “W Crucis : Uma binária intrigante”, Reporte REA no. 6, 1993
- Dominguez, S.: “Fotometria visual de W Crucis”, Reporte REA no. 6, 1993
- Kohoutek, L.: “Photometry of the eclipsing binary W Crucis”, IBVS 3272 (1988)
- Kviz, Z., and Rufener, F : “W Crucis : Minimum in the Geneva Photometric System ”, IBVS 3158 (1988)
- Marino, B., Walker, W., and Herdman, G.: “Photometry of the eclipsing star W Crucis ”, IBVS 2582 (1984)
- Menzies, J.W., and Jones, J.S.: “Primary minimum of W Crucis”, IBVS 2623 (1984)
- Pazzi, L. : “ W Crucis : a phase diagram”, IBVS 3847 (1993)
- Plavec, M.: “The enigmatic eclipsing binary W Crucis: an appeal to Southern observers”, IBVS 2524 (1984)
- Zola, S. : “w Crucis: na eclipsing binary system containing na accretion disk”, Astronomy and Astrophysics 308, 785-790 (1996)

## 7. Agradecimentos.

A toda a dedicada e experiente equipe de variabilistas da REA, sem a qual este trabalho não poderia ter sido realizado.