

AS NOVAS BRILHANTES DE 2013: V339 DELPHINI E V1369 CENTAURI

Tasso Napoleão
Grupo Alfa Crucis

RESUMO. Apresenta-se um sumário das conclusões da fotometria visual das novas V339 Del e V1369 Cen, a partir de dados da AAVSO International Database e do uso da relação MMRD (*maximum-magnitude-rate-of-decline*). Breves comentários sobre perfis espectrais da linha H-alfa em seguida às erupções das novas são também apresentados.

Palavras-chave: Novas. Fotometria visual. Espectroscopia.

THE BRIGHT NOVAE OF 2013: V339 DEL AND V1369 CEN

ABSTRACT: We present a visual photometry summary of the bright novae V339 Del and V1369 Cen, based on data from the AAVSO International Database and the MMRD (maximum-magnitude-rate-of-decline) relation. H-alpha spectra post-eruptions are also presented.

Keywords: Novae. Visual photometry. Spectroscopy.

1. INTRODUÇÃO

As novas clássicas são estrelas variáveis cataclísmicas que se encontram em seu estado quiescente durante a maior parte do tempo, mas que sofrem, de modo abrupto e imprevisível, uma erupção intensa na qual seu brilho aumenta tipicamente algo como 5 a 18 magnitudes em questão de horas ou poucos dias. Após a erupção, o brilho decai lentamente, demandando anos ou décadas para voltar ao estado original. Esse ciclo pode vir a se repetir em questão de séculos ou de milênios: modernamente, acredita-se que todas as novas tenham esse caráter recorrente. Desde o século XX, sabe-se também que as erupções se devem à ocorrência de reações termonucleares de fusão na superfície da anã branca que é sempre uma das componentes do sistema binário cerrado que constitui a nova (a outra, geralmente uma estrela da sequência principal ou gigante vermelha, transfere massa para a anã branca através de um disco de acreção).

Os estudos pioneiros sobre curvas de luz de novas e a respectiva evolução de brilho durante a erupção foram conduzidos por McLaughlin (1939, 1945) e Payne-Gaposchkin (1957). Esses autores analisaram as curvas de luz de cerca de 170 novas e, com base nelas, delinearam a morfologia de uma “curva típica”, que pode ser vista de forma esquematizada na Figura 1. Eles

estabeleceram a seguir uma classificação das novas, de acordo com a taxa de declínio de seu brilho a partir do máximo. Cinco classes foram assim definidas: novas muito rápidas, rápidas, moderadas, lentas e muito lentas. Essa taxa de declínio de brilho das novas costuma ser expressa até os dias de hoje através de dois parâmetros obtidos diretamente de cada curva de luz: t_2 (tempo necessário para a nova decair duas magnitudes desde o máximo) ou, mais frequentemente, t_3 (tempo para a nova decair três magnitudes).

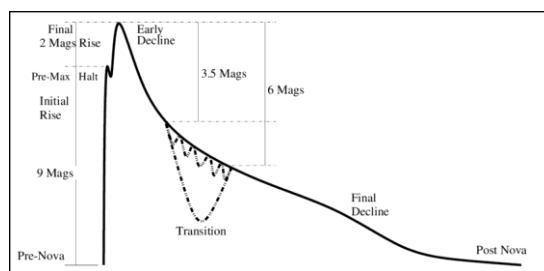


Figura 1. Curva de luz esquemática de uma nova clássica. Notar as fases típicas (não em escala). Adaptado de Payne-Gaposchkin (1957).

Finalmente, McLaughlin (1945) propôs uma relação empírica entre as luminosidades (ou magnitudes absolutas) das novas clássicas no máximo e t_3 . Apesar de algumas limitações devidas à heterogeneidade da amostra de novas

disponíveis, este método (também chamado de “MMRD”, ou “*maximum-magnitude-rate-of-decline*”) se converteu em uma ferramenta muito útil para estimar a magnitude absoluta das novas e, a partir daí, sua distância. Aperfeiçoamentos do método original de McLaughlin foram feitos posteriormente por Th. Schmidt-Kaler (1957) e por Della Valle e Livio (1995). No decorrer do presente trabalho, iremos utilizar a versão de Schmidt-Kaler (1957) para nossos cálculos.

Tipicamente, algo não muito diferente de umas dez novas clássicas são descobertas a cada ano na Via Láctea; em geral, ficamos felizes quando uma delas consegue atingir a visibilidade a olho nu. Mas, em 2013, tivemos a rara situação em que duas novas brilhantes ocorreram com um intervalo de poucos meses, sendo que ambas se encontraram entre as mais luminosas das últimas décadas. A primeira delas foi descoberta por Koichi Itagaki (Yamagata, Japão) no dia 14 de agosto de 2013. Situada na constelação de Delphinus, ela apresentava magnitude de 6,3 quando da descoberta, às 14:00 UTC. Denominada inicialmente Nova Delphini 2013, ela seria renomeada mais tarde V339 Delphini. A segunda foi encontrada por John Seach (Chatsworth, Austrália) no dia 2 de dezembro, na constelação de Centaurus. Ela se encontrava então (às 16:36 UTC) com magnitude 5,5. Posicionada favoravelmente para os observadores austrais, a estrela recebeu a denominação inicial de Nova Centauri 2013, posteriormente mudada para V1369 Centauri.

No presente artigo, procuraremos resumir as conclusões que podem ser obtidas a partir da fotometria *visual simples* dessas duas novas de 2013, usando no entanto uma base de dados tão ampla quanto possível. Para tanto, optamos pelo uso do número total das estimativas visuais da magnitude (*somente as medidas visuais, portanto*) que constavam do banco de dados da AAVSO até a data de 28 de fevereiro de 2019. Isso correspondeu a 6975 medidas visuais da magnitude para V339 Del e 1727 medidas para V1369 Cen. Participaram dessas campanhas da AAVSO 445 observadores para V339 Del e 58 para V1369 Cen¹.

Ao fim deste artigo, faremos ainda um breve comentário sobre a evolução espectroscópica

da linha H-alfa dessas duas novas em certas datas selecionadas. Este trabalho só se tornou possível graças à generosidade de nosso amigo Rogério Marcon, de Campinas, SP, que projetou, construiu e operou um excelente espectrógrafo de alta resolução ($R \sim 11\,000$) especialmente para uso em um projeto conjunto de monitoramento de estrelas Be e outros objetos, levado a cabo entre os anos de 2012 e 2014 conjuntamente por ele e por nosso grupo GOA de alunos (espécie de antecessor do grupo Alfa Crucis). Os resultados completos (perfis espectrais) obtidos pela nossa parceria para as duas novas de 2013 estão disponíveis para download no ARAS Spectral Database, uma seção do website do grupo internacional Astronomical Ring for Access to Spectroscopy – ARAS (ver Referências).

2. FOTOMETRIA: DADOS BRUTOS

2.1. Nova Delphini 2013 (V339 Del)

A Figura 2 demonstra a evolução da magnitude de V339 Del nos primeiros 365 dias após a explosão, de acordo com os dados visuais da AAVSO. Já na primeira inspeção, é evidente a aparência característica de uma nova rápida (ver, por exemplo, a Figura 1 de McLaughlin, 1939). Note-se que a tendência linear da fase de declínio final se manteve desde então: as estimativas mais recentes (datadas do início de 2019) indicavam uma magnitude visual da ordem de 15,5. Espera-se que essa tendência seja mantida até que a magnitude da progenitora seja finalmente restabelecida. Essa progenitora foi identificada em fins de 2013 como sendo a estrela USNO B1.0 1107-0509795, cuja magnitude V é de 17,06 (MUNARI; HENDEN, 2013).

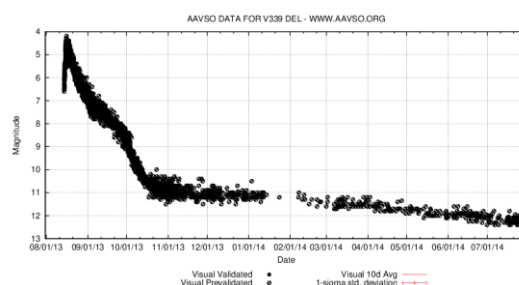


Figura 2. Curva de luz visual de V339 Del um ano após a erupção (AAVSO).

Para a determinação do parâmetro t_3 , vamos considerar agora a Figura 3, que é o detalhe das estimativas AAVSO para os 60 primeiros dias após a explosão (na prática, os cálculos

¹ Dentre esses, 17 eram brasileiros no caso de V339 Del e 22 no de V1369 Cen, abrangendo em ambos os casos vários dos observadores que anos depois formariam o grupo Alfa Crucis (o autor inclusive).

foram feitos diretamente através do software VSTAR da mesma AAVSO, que utiliza exatamente a mesma base de dados).

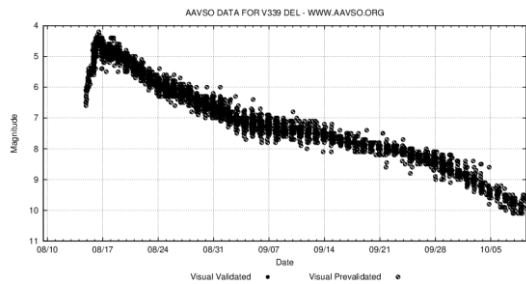


Figura 3. Curva de luz visual de V339 Del 60 dias após a erupção (AAVSO).

Dessa curva podemos extrair diretamente a data e a magnitude correspondentes ao máximo de brilho:

- Máximo em DJ 2456521 (Agosto 16, 2013)
- Magnitude aparente visual no máximo: 4,2

O valor do parâmetro t_3 corresponderá, portanto, ao tempo que a nova levou para decair até a magnitude 7,2. A partir da curva de luz, temos:

$$t_3 = 22,8 \text{ dias}$$

2.2. Nova Centauri 2013 (V1369 Cen)

A Figura 4 ilustra a evolução da magnitude de V1369 Cen nos primeiros 365 dias após a erupção, de acordo com os dados visuais da AAVSO. Comparando-a com a Figura 2, são visíveis algumas diferenças em relação à Nova Del 2013, especialmente no período imediatamente posterior à explosão, no qual se alternam múltiplos abrilhantamentos com quedas curtas de brilho (com amplitudes em torno de uma magnitude a cada semana), um tipo de oscilação não muito comum, a não ser em certas novas lentas. Até o momento não existe consenso sobre a causa das oscilações no caso de V1369 Cen.

A provável progenitora desta nova (HORNOCH, ATEL #5621) foi identificada como uma estrela de magnitude 15 (USNO B1.0 0308-0442031). Assim como a V339 Del, a Nova Cen 2013 se encontra na fase final de declínio de brilho até retomar a sua magnitude original: em inícios de 2019, ela atingia magnitudes visuais pouco acima de 13, segundo dados da AAVSO.

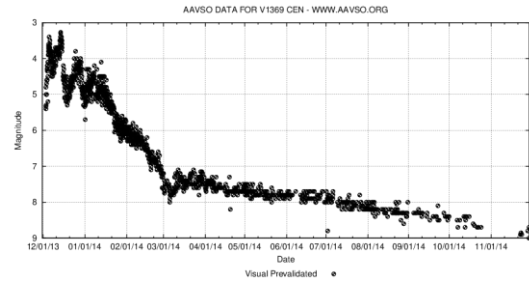


Figura 4. Curva de luz visual de V1369 Cen um ano após a erupção (AAVSO).

Para determinação do parâmetro t_3 de V1369 Cen, foi utilizado também o software VSTAR da AAVSO. A Figura 5 é um detalhe da curva de luz para os 90 primeiros dias após a erupção, e pode ilustrar melhor a escala de tempos. Notar as oscilações de magnitude já referidas nos parágrafos anteriores.

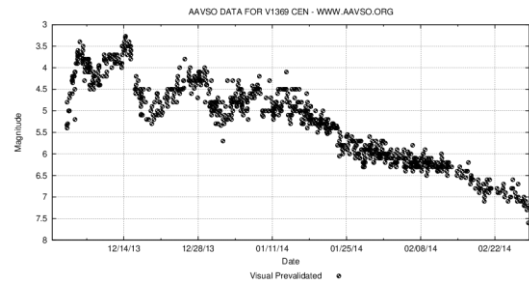


Figura 5. Curva de luz visual de V1369 Cen 90 dias após a erupção (AAVSO).

Dessa curva podemos extrair diretamente a data e a magnitude correspondentes ao máximo de brilho. Note-se que consideramos o *primeiro máximo* como base para o cálculo de t_3 , e não os picos de brilho (oscilações) posteriores.

- Máximo em DJ 2456632.2 (Dezembro 5, 2013)
- Magnitude aparente visual no máximo: 3,4

O valor do parâmetro t_3 corresponderá assim ao tempo que a nova levou para decair até a magnitude 6,4. A partir da curva de luz, temos:

$$t_3 = 65 \text{ dias}$$

3. REDUÇÃO DOS DADOS

Neste tópico, calcularemos a distância das novas através do uso do método de McLaughlin, que relaciona as luminosidades no máximo com t_3 (relação MMRD, já descrita na Introdução). Usaremos a versão de Schmidt-Kaler (1957):

$$M_0 = -11,8 + 2,5 \log t_3$$

(em que M_0 representa a magnitude absoluta da nova no máximo de brilho).

3.1. Nova Delphini 2013 (V339 Del)

Considerando o valor de 22,8 dias obtido para t_3 , temos:

$$M_0 = -11,8 + 2,5 \log 22,8$$

$$M_0 = -8,4$$

A distância da nova pode agora ser obtida pelo uso da familiar equação do módulo de distância:

$$m_0 - M_0 = 5 \log D - 5 + A_V$$

Para V339 Del, como vimos, os valores de m_0 e M_0 são respectivamente de 4,2 e -8,4. Já o valor da extinção interestelar A_V pode ser obtido a partir do excesso de cor $E(B-V)$ da nova, medido por Munari et al. logo após a erupção e publicado em ATEL #5297:

$$E(B-V) = 0,182$$

O valor da extinção interestelar A_V é dado por:

$$A_V = 3,1 E(B-V) = 0,564$$

Levando à equação do módulo de distância, temos:

$$m_0 - M_0 = 5 \log D - 5 + A_V$$

$$4,2 + 8,4 = 5 \log D - 5 + 0,564$$

$$\mathbf{D = 2554 \text{ pc}}$$

(ou aproximadamente 2,6 kpc)

3.2. Nova Centauri 2013 (V1369 Cen)

O processo é semelhante ao que acabamos de ver para a Nova Del 2013. Usando o valor obtido para t_3 (65 dias), temos:

$$M_0 = -11,8 + 2,5 \log 65$$

$$M_0 = -7,3$$

A distância da nova pode agora ser obtida pelo uso da equação do módulo de distância:

$$m_0 - M_0 = 5 \log D - 5 + A_V$$

Para V1369 Cen os valores de m_0 e M_0 são respectivamente de 3,4 e -7,3. O valor da extinção interestelar A_V pode ser obtido a partir do excesso de cor $E(B-V)$ da nova, medido por Izzo et al. e publicado em ATEL #5369:

$$E(B-V) = 0,14$$

O valor da extinção interestelar A_V é dado por:

$$A_V = 3,1 E(B-V) = 0,434$$

Levando à equação do módulo de distância, temos:

$$m_0 - M_0 = 5 \log D - 5 + A_V$$

$$3,4 + 7,3 = 5 \log D - 5 + 0,434$$

$$\mathbf{D = 1130 \text{ pc}}$$

(ou aproximadamente 1,1 kpc)

4. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Uma consequência óbvia dos trabalhos de McLaughlin e Payne-Gaposchkin (e da relação MMRD que acabamos de usar) é que as *novas mais rápidas são também as mais luminosas*.

Como se comparam nossas novas de 2013 com as novas mais luminosas observadas até hoje? Na tabela abaixo, estão listadas as novas mais rápidas (e mais luminosas) do século XX. O valor de t_3 é dado na segunda coluna, e a magnitude absoluta da nova, na terceira.

Nova	t_3 (dias)	M_0
Nova Cygni 1975	3,9	- 10,0
Nova Puppis 1942	7	- 9,7
Nova Velorum 1999	11,8	- 9,1
Nova Aquilae 1939	12	- 8,8
Nova Lacertae 1936	15	- 8,6
Nova Cygni 1920	22	- 8,8
Nova Persei 1901	22	- 8,7

Para as novas de 2013, os dados foram:

Nova Delphini 2013	22,8	- 8,4
Nova Centauri 2013	65	- 7,3

Fica claro que a Nova Delphini 2013 é comparável às mais rápidas e luminosas novas observadas recentemente. Nossos resultados para t_3 e M_0 e a distância encontrada de 2,6 kpc (embora baseados em estimativas visuais feitas por um grande número de observadores, o que tende a aumentar a dispersão dos dados) são consistentes com aqueles obtidos via fotometria CCD(V). Munari e Henden (2013), por exemplo, estimam o brilho máximo em DJ 2456520.9 e t_3 como 23,5 dias. Já Burlak et al. (2015) encontram o máximo em DJ 2456521 e avaliam t_3 como 25 dias, estimando uma distância da ordem de 2,7 kpc para a nova. Note-se ainda que, em 2018, a paralaxe da estrela foi publicada como parte do “Data Release 2” da missão GAIA. Seu valor, de 0,3814 milissegundos de arco, equivale a uma distância de 2622 parsecs.

Por outro lado, as referências fotométricas sobre a Nova Centauri 2013 (além da consistência entre diferentes fontes) são mais limitadas. A maior parte dos *papers* publicados versa sobre a espectroscopia da nova (em particular, a notável descoberta de linhas de absorção de lítio no espectro da estrela). Em ATEL #6413 (2014), sugere-se (com base no comportamento no ultravioleta) a possibilidade de a distância da nova ser de cerca de 2,4 kpc. Todavia, esse valor não foi confirmado posteriormente (note-se que, caso ele fosse real, corresponderia a um t_3 da ordem de 14 dias, o que seria claramente inconsistente com a curva de luz da AAVSO e levaria a Nova Cen 2013 ao grupo das novas mais rápidas e intrinsecamente luminosas já observadas – o que, sabemos, não foi o caso). Por mais de cinco anos, nenhum outro *paper* mencionou a distância de V1369 Cen, que parecia ter ficado incerta. Mas finalmente, em fevereiro de 2019, Hachisu e Kato, no contexto de um extenso *review* de 89 páginas, utilizaram um novo método para calcular a distância de dezenas de novas – inclusive V1369 Cen, cujo caso é analisado em detalhes. Sua distância é calculada como 0,96 kpc, o que é muito consistente com o comportamento fotométrico real observado para a estrela. Até o momento, os dados de Hachisu e Kato parecem ser os mais confiáveis para V1369 Cen.

Resumindo toda a nossa análise, podemos concluir que, apesar da imprecisão característica da fotometria visual e da acentuada dispersão devida ao grande número de observadores (além da própria incerteza inerente ao método MMRD), este processo ainda permanece como uma ferramenta simples e útil para o cálculo de certos parâmetros básicos das novas, sendo

compatível, dentro de suas limitações experimentais, com métodos mais modernos e precisos.

5. NOTA BREVE: ESPECTROSCOPIA

Como mencionado anteriormente, uma série de perfis espectrais das novas de 2013 foi também obtida no contexto de um programa de monitoramento da linha H-alfa em estrelas do tipo Be. As imagens foram feitas por Rogério Marcon, usando um espectrógrafo ($R \sim 11\,000$) por ele construído, sendo processadas posteriormente pelo autor e diversos alunos. O perfil visto na Figura 6 como um exemplo mostra a linha H-alfa da Nova Centauri 2013 no dia 05/12/2013, às 07:30 UT. Esse perfil pode ser usado para calcular a velocidade de expansão dos gases da nova naquele momento.

Para tanto, na Figura 6 verifica-se que o perfil da linha H-alfa mostra o conhecido aspecto de um “perfil P-Cygni” (linha de emissão flanqueada por uma absorção do lado azul da linha). Ora, perfis P-Cygni são característicos de envelopes gasosos em expansão, e o cálculo da velocidade com que eles se expandem é feito através de uma equação simples:

$$V = (\Delta\lambda / \lambda_0) c$$

(em que $\Delta\lambda = \lambda_{\text{azul}} - \lambda_{\text{vermelho}}$ e $\lambda_0 = 6562,82 \text{ \AA}$).

No perfil da Figura 6, medimos diretamente $\lambda_{\text{azul}} = 6543,79$ e $\lambda_{\text{vermelho}} = 6562,93$. Levando esses valores à equação acima, resulta $V = -880 \text{ km/s}$ (o sinal negativo indica expansão).

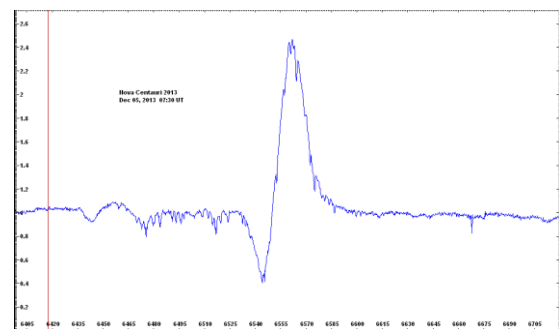


Figura 6. Aspecto da linha H-alfa da Nova Centauri 2013 na data de 05/12/2013, às 07:30 UT.

Esse perfil, evidentemente, irá se modificar continuamente com o tempo, à medida que os gases se expandirem e a nova percorrer as diferentes fases de sua evolução. O mesmo acontece com todas as demais linhas do espectro. Se reunirmos uma série de perfis da mesma linha, será

possível montar um quadro da sua evolução ao longo dos dias – o que é visto na Figura 7 para a Nova Centauri 2013 e na Figura 8 para a Nova Delphini 2013.

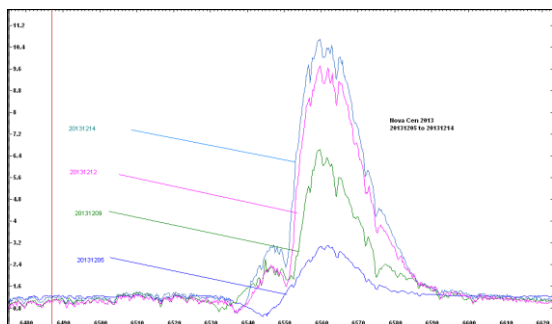


Figura 7. Evolução da linha H-alfa da Nova Centauri 2013 entre 05/12/2013 e 14/12/2013.

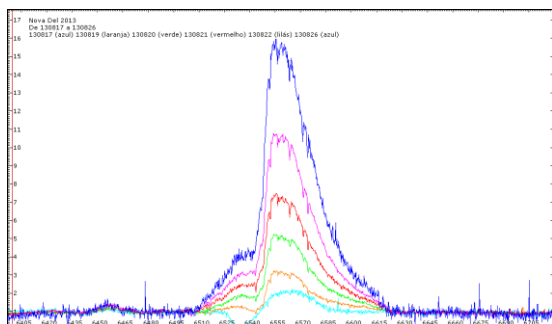


Figura 8. Evolução da linha H-alfa da Nova Delphini 2013 entre 17/08/2013 e 26/08/2013.

Trabalhos desse tipo, feitos simultaneamente por diversos observadores ao redor do globo consolidados em grupos como o já citado ARAS, são de utilidade para a compreensão do fenômeno das novas e de sua evolução temporal, e para a comprovação dos mecanismos teóricos que as descrevem.

6. REFERÊNCIAS

AAVSO (American Association of Variable Stars Observers). Website. Disponível em: <https://www.aavso.org/>.

ATEL (The Astronomer's Telegram). Serviço web. Disponível em: <http://www.astronomerstelegam.org/>.

ARAS (Astronomical Ring for Access to Spectroscopy). Website. Disponível em: <http://astrosurf.com/aras/>.

ARAS Spectral Database. Página dedicada a espectros amadores de novas. Disponível em: http://www.astrosurf.com/aras/Aras_DataBase/Novae.htm.

BURLAK, M. et al. UBVIHKLM Photometry and low-resolution spectroscopy of Nova Del 2013. *Baltic Astronomy*, 24, 109, 2015. Disponível em: <http://articles.adsabs.harvard.edu/pdf/2015BaltA..24..109B>.

DELLA VALLE, M.; LIVIO, M. The Calibration of Novae as Distance Indicators. *Astrophysical Journal*, 452, 704, 1995. Disponível em: <http://adsabs.harvard.edu/abs/1995ApJ...452..704D>.

HACHISU, I.; KATO, M. The UBVI Color Evolution of Classical Novae. III. Time-Stretched Color-Magnitude Diagram of Novae in Outburst. 2019. Disponível em: <https://arxiv.org/pdf/1902.10919.pdf>.

McLAUGHLIN, D.B. The Light Curves of Novae. *Popular Astronomy*, 47, 410, 1939. Disponível em: <http://articles.adsabs.harvard.edu/pdf/1939PA....47..410M>.

McLAUGHLIN, D.B. The Relation between Light-Curves and Luminosities of Novae. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 57, 335, 1945. Disponível em: <http://adsabs.harvard.edu/abs/1945PASP...57..335M>.

MUNARI, U.; HENDEN, A. Photometry of the progenitor of Nova Del 2013 (V339 Del). *Information Bulletin on Variable Stars*, 6087, IAU Commission 27, 2013. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1312.5890>.

PAYNE-GAPOSCHKIN, C. *The galactic novae*. New York: Dover Publications, 1957.

SCHMIDT-KALER, Th. Die Lichtkurven-Leuchtkraft-Beziehung Neuer Sterne. *Zeitschrift für Astrophysik*, 41, 182, 1957. Disponível em: <http://adsabs.harvard.edu/abs/1957ZA....41..182S>.