



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS



Busca de uma corroboração observacional para o modelo de pulsar de anã branca para os magnetares

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO
CIENTÍFICA (PIBIC/CNPq/INPE)

Sarah Villanova Borges (ITA, Bolsista PIBIC/CNPq)
Email: sarahvb@aluno.ita.br

Claudia Vilega Rodrigues (DAS/INPE, Orientador)
Email: claudia.rodrigues@inpe.br

Colaborador:

Jaziel G. Coelho (DAS/INPE)
Email: jazielcoelho@gmail.com

Julho de 2015

*“E eu vos direi: "Amai para entendê-las!
Pois só quem ama pode ter ouvido
Capaz de ouvir e de entender estrelas”.*

OLAVO BILAC
em “*Poesias, Via-Láctea*”, 1888

RESUMO

Magnetar é o nome comumente utilizado para se referir aos *Soft Gamma Repeaters* (SGR) e aos *Anomalous X-Ray Pulsars* (AXP). Apesar de não haver consenso, essas fontes são aceitas pela maioria da comunidade científica como sendo estrelas de nêutron em rotação com gigantesco campo magnético (da ordem de 10^{13} - 10^{15} G). No entanto, devido ao grande campo magnético desses objetos, inclusive acima do limite crítico imposto pela mecânica quântica, outras possibilidades são levantadas para explicá-los fisicamente. Entre elas, o modelo de anãs brancas massivas. Para esse último modelo, seria possível esperar alguma contrapartida no óptico ou infravermelho por se tratar de uma anã branca. Até hoje, essa contrapartida não foi encontrada para a maior parte dos magnetares em questão. Mesmo para os que possuem contrapartida, não há consenso sobre sua natureza. Assim, uma forma possível de testar a viabilidade do modelo de anãs brancas seria calcular uma faixa de valores esperados para as magnitudes aparentes e comparar com os limites e valores impostos pela observação. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo: (i) estimar, através de um modelo de corpo negro, os valores de magnitude aparente e no óptico e infravermelho para os magnetares conhecidos, supondo que esses sejam anãs brancas massivas; (ii) comparar com os valores de magnitude limite já observados para cada um dos objetos nas diferentes bandas listadas; (iii) buscar os valores de magnitude limite de grandes projetos de telescópio em busca da possibilidade de identificação de alguma contrapartida; (iv) comparar as propriedades dos magnetares em questão como as de anãs brancas que possuam propriedades semelhantes. Até o momento, o modelo de cálculo teórico de magnitudes proposto, mostrou-se eficiente para o cálculo da magnitude relativa das anãs brancas, já que os testes realizados utilizando o modelo em anãs brancas conhecidas, como Sirius B, mostraram-se satisfatórios. Apesar disso, os resultados encontrados para as magnitudes relativas dos magnetares mostraram que o modelo escolhido foi inconclusivo ou, em alguns casos, incompleto.

Palavras-chave: Magnetares. Anãs Brancas. Pulsares. Magnitudes. Contrapartida Óptica.

ABSTRACT

Magnetar is the name commonly used to refer to Soft Gamma Repeaters (SGR) and Anomalous X-Ray Pulsars (AXP). Although there is no consensus, these sources are accepted by most of the scientific community as rotating neutron stars with gigantic magnetic field (10^{13} - 10^{15} G order). However, these object have a magnetic field above the critical limit imposed by quantum mechanics, so other possibilities are used to physically explain them. Among them, are the model of white dwarf with gigantic mass. For this latest model, could be expected some counterpart in optical or infrared. So far, most part of magnetars doesn't have any counterpart. Once there is no consensus about its nature, this present paper presents a way to test the viability of the white dwarfs model and a way of calculating the expected range of values for the apparent magnitudes and compare to the limits imposed by observation. In this context, this study aims to: (i) estimate, using a black body model, the close-magnitude values and in the optical and infrared known magnetars, assuming they are massive white dwarfs; (ii) compare the observed magnitude threshold values for each of the listed objects in different bands; (iii) seek the values of magnitude limit in large telescope projects in search of the possibility of identifying any contribution; (iv) compare the magnetars similar properties with the ones of white dwarfs which have similar properties. So far, the theoretical calculation for model proposed magnitudes proved efficient for calculating the relative magnitude of the white dwarf, since tests performed using the model in white dwarfs, known as Sirius B, were satisfactory . Nevertheless, the results found for the magnitudes for the magnetar showed that the model chosen was inconclusive or, in some cases, incomplete.

Keywords: Magnetars. White Dwarfs. Pulsars. Magnitudes. Optical Counterpart.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág</u>
3.1 Gráfico da função sensibilidade para a banda U	6
3.2 Gráfico da função sensibilidade para a banda B	7
3.3 Gráfico da função sensibilidade para a banda V	8
3.4 Gráfico da função sensibilidade para a banda R	9
3.5 Gráfico da função sensibilidade para a banda i	10
3.6 Gráfico da função sensibilidade para a banda J	10
3.7 Gráfico da função sensibilidade para a banda H	11
3.8 Gráfico da função sensibilidade para a banda K	12

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág</u>
2.1 Propriedades dos Magnetares no contexto de Anãs Brancas	3
3.1 Valores de λ_0 para as diferentes bandas.	4
3.2 Coeficientes da equação 3.3 para a banda U	5
3.3 Coeficientes da equação 3.3 para a banda B	6
3.4 Coeficientes da equação 3.4 para a banda V	7
3.5 Coeficientes da equação 3.5 para a banda R	8
3.6 Coeficientes da equação 3.3 para a banda i	9
3.7 Coeficientes da equação 3.5 para a banda J	9
3.8 Coeficientes da equação 3.3 para a banda H	11
3.9 Coeficientes da equação 3.5 para a banda K	11
3.10 Constantes utilizadas no cálculo em S.i.	13
5.1 Dados relativos às anãs brancas usadas para validação do modelo adotado	16
5.2 Resultados da validade do modelo de corpo negro	16
5.3 Teste do modelo de corpo negro em diferentes bandas para Sirius B	16
6.1 Resultados de magnitude aparente do programa para os magnetares na banda U	18
6.2 Resultados de magnitude aparente do programa para os magnetares na banda B	19

6.3	Resultados de magnitude aparente do programa para os magnetares na banda V	20
6.4	Resultados de magnitude aparente do programa para os magnetares na banda R	21
6.5	Resultados de magnitude aparente do programa para os magnetares na banda I	22
6.6	Resultados de magnitude aparente do programa para os magnetares na banda J	23
6.7	Resultados de magnitude aparente do programa para os magnetares na banda H	24
6.8	Resultados de magnitude aparente do programa para os magnetares na banda K	25
9.1	Características das anãs brancas pulsares	28
9.2	Magnitudes aparentes para as anãs brancas nas bandas de Johnson . . .	28

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SGR	–	<i>Soft Gamma Repeater</i>
AXP	–	<i>Anomalous X-Ray Pulsar</i>
LSST	–	<i>Large Synoptic Survey Telescope</i>
WISE	–	<i>Wide-field Infrared Survey Explorer</i>
NASA	–	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
VISTA	–	<i>Visible and Infrared Survey Telescope for Astronomy</i>
λ_0	–	comprimento de onda central de uma banda
$\Delta\lambda_0$	–	Largura de uma banda
$m(\lambda_0)$	–	Magnitude aparente em uma banda
e_{λ_0}	–	Fluxo de um objeto em uma banda
e_0	–	Fluxo de referência para uma determinada banda
A	–	Extinção
T	–	Temperatura efetiva da estrela
R	–	Raio da estrela
M_{\odot}	–	Massa do Sol
R_{\odot}	–	Raio do Sol
h	–	Constante de Planck
c	–	Velocidade da luz no vácuo
k	–	Constante de Boltzmann
d	–	Distância à Terra
F_c	–	Fluxo calculado
F_r	–	Fluxo Real
m_c	–	Magnitude Aparente Calculada
m_r	–	Magnitude Aparente Real
R_m	–	Relação entre os fluxos F_c e F_r
M_{con}	–	Magnitude da contrapartida
M_{lim}	–	Magnitude Limite
M_{min}	–	Mínima magnitude calculada
M_{max}	–	Máxima magnitude calculada

SUMÁRIO

	<u>Pág</u>
1 Introdução	1
1.1 Objetivos	1
1.2 Motivação	2
2 Fundamentação Teórica	2
2.1 Magnetares como Anãs Brancas	3
3 Cálculos das Magnitudes Aparentes dos Magnetares como Anãs Brancas	4
3.1 Cálculo de Magnitudes	4
3.2 Função Sensibilidade	4
3.2.1 Banda U	5
3.2.2 Banda B	6
3.2.3 Banda V	6
3.2.4 Banda R	7
3.2.5 Banda i	8
3.2.6 Banda J	8
3.2.7 Banda H	10
3.2.8 Banda K	10
3.3 Extinção	12
3.4 Modelo de Corpo Negro	13
4 Cálculos Computacionais	13
5 Testes	15
6 Resultados	17
7 Limites dos Telescópios Conhecidos	25
7.1 GAIA	25
7.2 LSST	26
7.3 WISE	26
7.4 VISTA	27
8 Contrapartidas existentes	27

9 Pulsares de Anãs Brancas	27
10 Validade do Modelo Apresentado	29
11 Conclusão	31
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32

1 Introdução

Nesse presente trabalho desejou-se estudar o modelo proposto por (Malheiro et al., 2012) e sua validade. Para tal, calculou-se o valor da magnitude aparente esperada para uma anã branca com as mesmas propriedades, em diversas bandas. Os cálculos realizados consideraram o espectro de emissão de uma anã branca bem representado pelo espectro de um corpo negro. Para tal, criou-se um programa no software MatlabR2014a que, a partir dos dados de distância à Terra, raio, temperatura efetiva e valor de extinção, devolvia os valores de magnitude aparente esperados para as bandas U, B, V, R, I, J, H e K. Testou-se tal programa em anãs brancas conhecidas de forma a descobrir se os valores de magnitude calculado para elas a partir de suas propriedades estavam próximos dos valores de contrapartida reais. Depois de tal validação, calculou-se as magnitudes aparentes teóricas para os magnetares mostrados em (Olausen; Kaspi, 2014) e comparou-se com os valores de magnitudes limites ou contrapartida já pesquisados.

Além disso, fez-se uma pesquisa bibliográfica acerca das contrapartidas já encontradas, especialmente para o magnetar 4U 0142+61. Em uma outra abordagem, buscou-se, também na literatura, anãs brancas conhecidas com propriedades semelhantes às propriedades apresentadas pelos magnetares, caso sejam explicados pelo modelo (Malheiro et al., 2012), de forma a estudar a viabilidade da existência de anãs brancas como as propostas.

1.1 Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo principal estudar a validade do modelo proposto em (Malheiro et al., 2012) para explicar os magnetares a partir de anãs brancas massivas. Esse estudo se dará em duas frentes principais.

A primeira visa criar um programa que calcule o valor teórico da magnitudes aparentes para anãs brancas e comparar os valores obtidos com as magnitudes limites e contrapartidas já pesquisadas, que podem ser encontradas em (Olausen; Kaspi, 2014). Caso seja viável, procurar contrapartida em algumas missões como LSST.

Por outro lado, buscou-se os trabalhos que encontraram as contrapartidas para alguns dos magnetares listados, além de outros modelos já propostos para explicá-los. Dessa forma, desejava-se entender a realidade em que as contrapartidas já existente para magnetares foram encontradas e quais as explicações foram propostas para tais resultados. A partir desse estudo, é possível entender possíveis pontos falhos do

modelo estudado.

1.2 Motivação

Magnetares são aceitos pela comunidade científica em geral como pulsares de estrelas de nêutron com altíssimo campo magnético. No entanto, devido à sua natureza exótica e pouco compreendida, tal modelo é refutado por alguns.

Dessa forma, surgem trabalhos propondo novos modelos, como o de anãs brancas massivas (Malheiro et al., 2012). Para esse caso, os campos magnéticos necessários para explicar as propriedades observacionais seriam bem menores. No entanto, o período de rotação de tais objetos é muito alto comparado com os valores de período geralmente apresentados por anãs brancas, fato que não seria problema no modelo de estrelas de nêutron, já que estas possuem períodos de rotação mais curtos.

Nesse contexto, a motivação para a realização do presente trabalho pode ser resumida em dois pontos principais: (i) já que não há consenso sobre a natureza dos magnetares, é importante trabalhos que visem entender e validar algum dos modelos propostos; (ii) por não ser aceito pela maioria da comunidade, há uma carência de pesquisas para o modelo proposto em (Malheiro et al., 2012);

2 Fundamentação Teórica

A classe de objetos atualmente conhecidas como magnetares foi identificada pela primeira vez em 1979 com a detecção de sequência de explosões de uma mesma fonte por instrumentos de busca de emissões em raio-X e gamma (Olausen; Kaspi, 2014). Inicialmente, pensou-se tratar de um objeto pertencente a uma classe conhecida como *Gamma-Ray Bursts* (GRBs), no entanto novas explosões fizeram com que tal fonte fosse considerada de uma classe até então desconhecida. Tal fonte é atualmente aceita como magnetar e conhecida como SGR 1900+14.

Historicamente, há duas classes de magnetares conhecidas: *Soft Gamma Repeaters* (SGR) e *Anomalous X-Ray Pulsar* (AXP). No entanto, a detecção de explosões típicas de SGR em uma fonte AXP no ano de 2003 uniu as duas classes definitivamente (Olausen; Kaspi, 2014).

Abaixo serão apresentadas as principais características dos magnetares no contexto de anãs brancas. Tais dados foram utilizados no cálculo da magnitude aparente teórica.

2.1 Magnetares como Anãs Brancas

Magnetares possuem propriedades observacionais bastante peculiares, motivo pelo qual não são completamente entendidos, apesar de décadas de estudos. Tais propriedades e seus valores podem ser vistos em (Olausen; Kaspi, 2014).

Para explicar tal realidade, propôs-se em (Malheiro et al., 2012) um modelo contendo anãs brancas magnéticas ao invés do modelo tradicional de estrelas de nêutron. A motivação para tal veio do alto campo magnético proposto pelo modelo tradicional.

Em geral, a energia de rotação perdida pela estrela é emitida em forma de ondas eletromagnéticas. Dessa forma, seria esperado uma correlação entre ambos valores. No entanto, essa não é a realidade para os magnetares, já que a energia emitida é muito maior do que a esperada devido as rotações. Dessa forma foi proposta a presença de um campo magnético para explicar a origem de parte da energia emitida.

Para os magnetares de estrelas de nêutron, o valor de tal campo magnético é da ordem de $10^{13} - 10^{15}$ G (Jordi et al., 2010). Para anãs brancas tal valor seria bem menor, da ordem de 10^8 G (Malheiro et al., 2012), para alguns magnetares. Essa diferença vem da maior energia perdida por rotação no caso da anã branca, que possui maior momento de inércia.

Para explicar tal modelo utilizando anãs brancas e conseguir tal valor de campo magnético, é preciso, no entanto, de um tipo específico de anãs brancas com características devidamente ajustadas. As explicações que levam a escolha de tais características podem ser vistas em (Malheiro; Coelho, 2013). A Tabela 2.1 faz um resumo dos valores e propriedades utilizados no presente trabalho.

Tabela 2.1 - Propriedades dos Magnetares no contexto de Anãs Brancas

Massa	$1.4 M_{\odot}$
Raio	3×10^3 Km
Classificação	DQ

3 Cálculos das Magnitudes Aparentes dos Magnetares como Anãs Brancas

3.1 Cálculo de Magnitudes

Para o cálculo da magnitude aparente, usou-se a função logarítmica dada pela equação 3.1, que pode ser encontrada em (LÉNA et al., 1998).

$$m(\lambda_0) = -2.5 \log[(e_{\lambda_0})/e_0] + A(\lambda_0). \quad (3.1)$$

Na equação, λ_0 representa o comprimento de onda no qual está se calculando a magnitude, e_{λ_0} é o fluxo do objeto em tal comprimento de onda, e_0 é um fluxo de referência e $A(\lambda_0)$ é a extinção.

O valor de e_0 pode ser encontrado na Tabela 3.1 para diferentes bandas do espectro, definidas pelo comprimento onda central (λ_0) e largura da banda ($\Delta\lambda_0$). Além disso, o valor de e_{λ_0} pode ser calculado supondo-se que a anã branca pode ser bem representada por um corpo negro.

Tabela 3.1 - Valores de λ_0 para as diferentes bandas.

Banda	$\lambda_0 \mu m$	$\lambda_0 \mu m$	$e_0 (Wm^{-2}\mu m^{-1})$
U	0.36	0.068	4.35×10^{-8}
B	0.44	0.098	7.20×10^{-8}
V	0.55	0.089	3.92×10^{-8}
R	0.70	0.22	1.76×10^{-9}
i	0.90	0.24	8.3×10^{-9}
J	1.25	0.30	3.4×10^{-9}
H	1.65	0.35	7×10^{-10}
K	2.20	0.40	3.9×10^{-10}

3.2 Função Sensibilidade

A função sensibilidade, $t_0(\lambda)$, é utilizada para descrever a fração do fluxo da estrela que é detectado em um determinado comprimento de onda. Para encontrar a magnitude para uma determinada banda espectral, é preciso integrar a equação 3.1 levando em conta a função sensibilidade, pois a equação 3.1 é correta para um comprimento de onda específico enquanto uma banda é um conjunto contínuo de comprimentos, em que cada um deles tem uma sensibilidade diferente para a banda em questão, o

que representa melhor as observações. O resultado pode ser encontrado na equação 3.2:

$$m_{(\lambda_0)} = -2.5 \log \int_0^\infty t_o(\lambda) e(\lambda) d\lambda + 2.5 \log \int_0^\infty t_o(\lambda) d\lambda + 2.5 \log e_0. \quad (3.2)$$

Nos cálculos considerou-se cada uma das bandas como uma ou mais função gaussiana. A função foi ajustada utilizando-se o comando `cftoll` do software MATLAB 2014a. Segue abaixo cada uma das funções utilizadas em cada uma das diferentes bandas espectrais.

Preferiu-se encontrar uma função analítica para a sensibilidade ao invés de se utilizar uma função de vetores para que todo o cálculo da magnitude pudesse se escrito por uma função.

3.2.1 Banda U

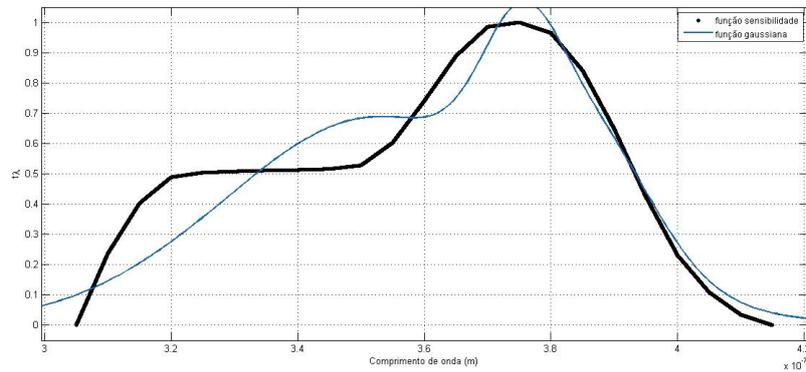
Para a banda U utilizou-se 4 funções gaussianas cuja forma pode ser vista na equação 3.3. Seus coeficientes podem ser encontrados na Tabela 3.2. A Figura 3.1 mostra a curva ajustada.

$$f(x) = a_1 e^{-((x-b_1)/c_1)^2} + a_2 e^{-((x-b_2)/c_2)^2} + a_3 e^{-((x-b_3)/c_3)^2} + a_4 e^{-((x-b_4)/c_4)^2} \quad (3.3)$$

Tabela 3.2 - Coeficientes da equação 3.3 para a banda U

coeficiente	valor
a_1	0.4675
b_1	3.753×10^{-07}
c_1	9.024×10^{-09}
a_2	-0.04538
b_2	3.672×10^{-07}
c_2	1.919×10^{-08}
a_3	0.3499
b_3	3.878×10^{-07}
c_3	1.272×10^{-08}
a_4	0.7148
b_4	3.544×10^{-07}
c_4	3.524×10^{-08}

Figura 3.1 - Gráfico da função sensibilidade para a banda U



Fonte: Produto do Autor

3.2.2 Banda B

Para a banda B também utilizou-se 4 funções gaussianas cuja forma pode ser vista na equação 3.3. Seus coeficientes podem ser encontrados na Tabela 3.3. A Figura 3.2 mostra a curva ajustada.

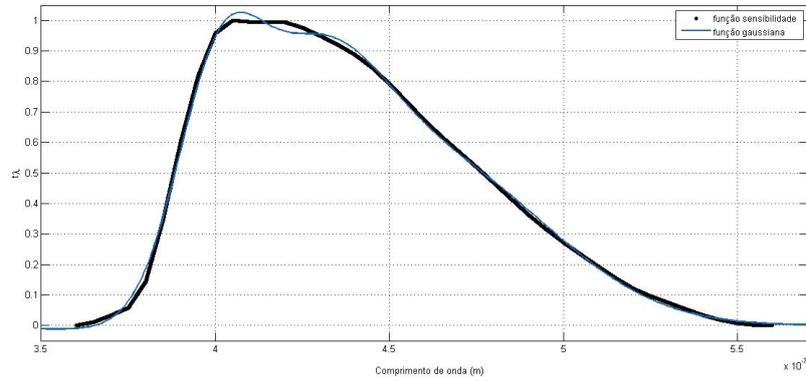
Tabela 3.3 - Coeficientes da equação 3.3 para a banda B

coeficiente	valor
a_1	0.645
b_1	4.002×10^{-07}
c_1	1.7e-08
a_2	0.6689
b_2	4.268×10^{-07}
c_2	2.803×10^{-08}
a_3	-0.05138
b_3	4.292×10^{-07}
c_3	6.661×10^{-08}
a_4	0.5444
b_4	4.639×10^{-07}
c_4	4.589×10^{-08}

3.2.3 Banda V

Para a banda R utilizou-se 2 funções gaussianas cuja forma pode ser vista na equação 3.4. Seus coeficientes podem ser encontrados na Tabela 3.4. A Figura 3.3 mostra a curva ajustada.

Figura 3.2 - Gráfico da função sensibilidade para a banda B



Fonte: Produto do Autor

$$f(x) = a_1 e^{-((x-b_1)/c_1)^2} + a_2 e^{-((x-b_2)/c_2)^2} \quad (3.4)$$

Tabela 3.4 - Coeficientes da equação 3.4 para a banda V

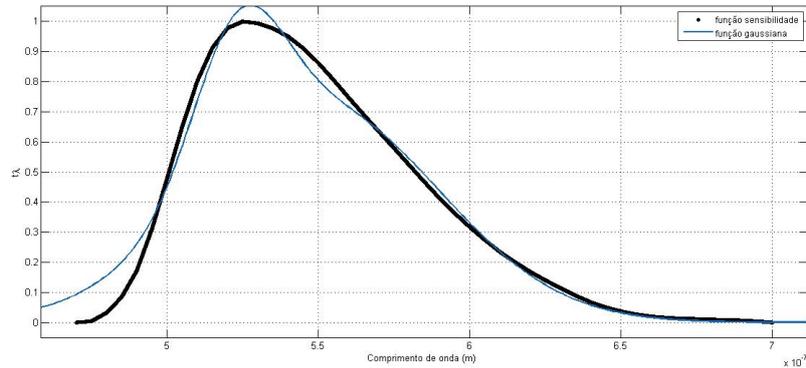
coeficiente	valor
a_1	0.4681
b_1	5.233e-07
c_1	2.078e-08
a_2	0.714
b_2	5.506e-07
c_2	5.628e-08

3.2.4 Banda R

Para a banda R utilizou-se 3 funções gaussianas cuja forma pode ser vista na equação 3.5. Seus coeficientes podem ser encontrados na Tabela 3.5. A Figura 3.4 mostra a curva ajustada.

$$f(x) = a_1 e^{-((x-b_1)/c_1)^2} + a_2 e^{-((x-b_2)/c_2)^2} + a_3 e^{-((x-b_3)/c_3)^2} \quad (3.5)$$

Figura 3.3 - Gráfico da função sensibilidade para a banda V



Fonte: Produto do Autor

Tabela 3.5 - Coeficientes da equação 3.5 para a banda R

coeficiente	valor
a_1	0.7144;
b_1	5.863e-07;
c_1	2.03e-08;
a_2	0.5258;
b_2	6.267e-07;
c_2	3.901e-08;
a_3	0.4633;
b_3	6.769e-07;
c_3	8.51e-08;

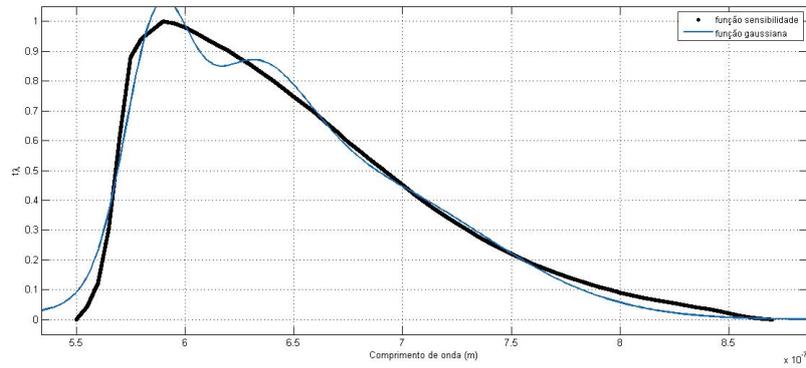
3.2.5 Banda i

Para a banda i utilizou-se 4 funções gaussianas cuja forma pode ser vista na equação 3.3. Seus coeficientes podem ser encontrados na Tabela 3.6. A Figura 3.5 mostra a curva ajustada.

3.2.6 Banda J

Para a banda i utilizou-se 3 funções gaussianas cuja forma pode ser vista na equação 3.5. Seus coeficientes podem ser encontrados na Tabela 3.7. A Figura 3.6 mostra a curva ajustada.

Figura 3.4 - Gráfico da função sensibilidade para a banda R



Fonte: Produto do Autor

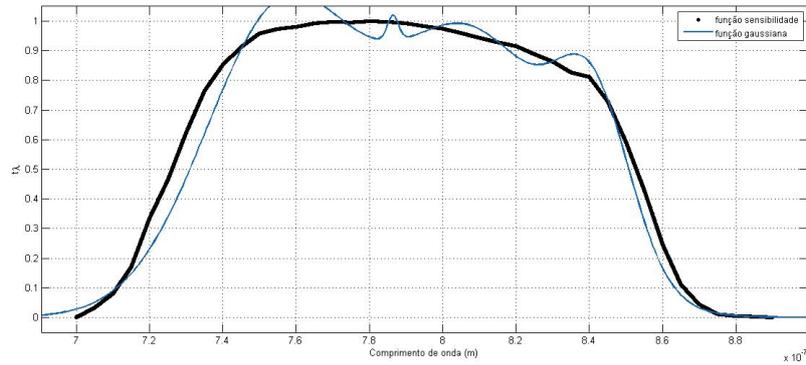
Tabela 3.6 - Coeficientes da equação 3.3 para a banda i

coeficiente	valor
a1	0.08658
b1	7.864e-07
c1	2.126e-09
a2	1.014
b2	7.558e-07
c2	2.934e-08
a3	0.9388
b3	8.08e-07
c3	3.186e-08
a4	0.5242
b4	8.414e-07
c4	1.449e-08

Tabela 3.7 - Coeficientes da equação 3.5 para a banda J

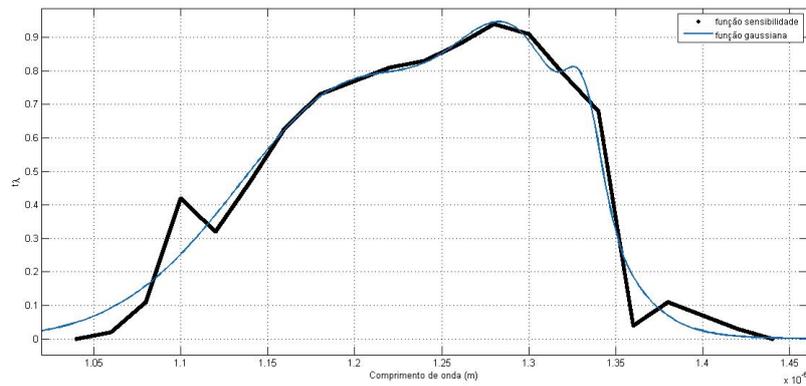
coeficiente	valor
a1	0.2635
b1	1.332e-06
c1	1.369e-08
a2	0.7673
b2	1.205e-06
c2	9.948e-08
a3	0.5812
b3	1.298e-06
c3	4.902e-08

Figura 3.5 - Gráfico da função sensibilidade para a banda i



Fonte: Produto do Autor

Figura 3.6 - Gráfico da função sensibilidade para a banda J



Fonte: Produto do Autor

3.2.7 Banda H

Para a banda H utilizou-se 4 funções gaussianas cuja forma pode ser vista na equação 3.3. Seus coeficientes podem ser encontrados na Tabela 3.8. A Figura 3.7 mostra a curva ajustada.

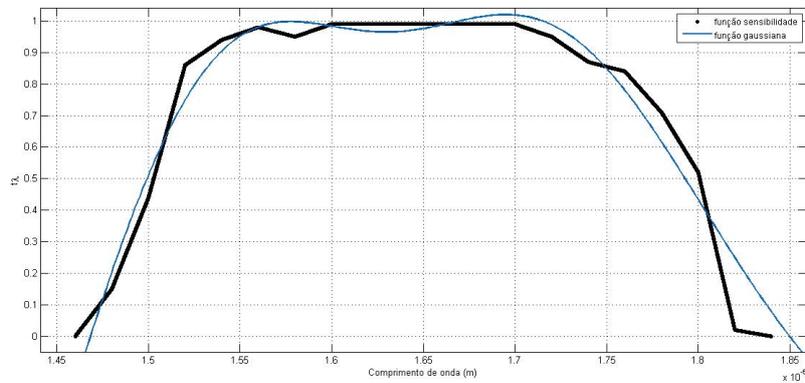
3.2.8 Banda K

Para a banda K utilizou-se 3 funções gaussianas cuja forma pode ser vista na equação 3.5. Seus coeficientes podem ser encontrados na Tabela 3.9. A Figura 3.8 mostra a curva ajustada.

Tabela 3.8 - Coeficientes da equação 3.3 para a banda H

coeficiente	valor
a1	0.2635
b1	1.332e-06
c1	1.369e-08
a2	0.7673
b2	1.205e-06
c2	9.948e-08
a3	0.5812
b3	1.298e-06
c3	4.902e-08

Figura 3.7 - Gráfico da função sensibilidade para a banda H

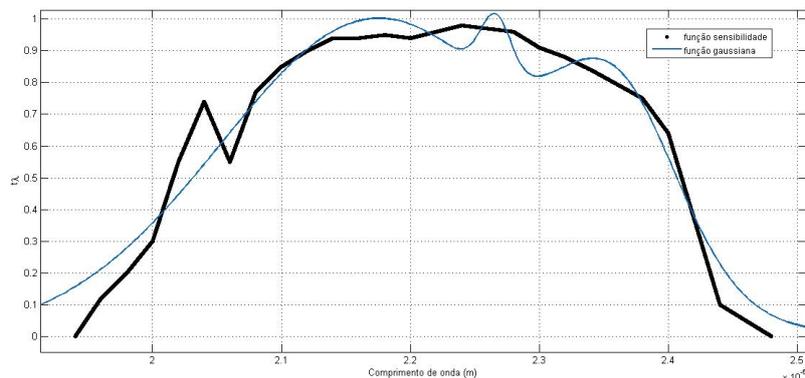


Fonte: Produto do Autor

Tabela 3.9 - Coeficientes da equação 3.5 para a banda K

coeficiente	valor
a1	0.1901
b1	2.266e-06
c1	1.672e-08
a2	1.002
b2	2.175e-06
c2	1.725e-07
a3	0.5272
b3	2.362e-06
c3	6.656e-08

Figura 3.8 - Gráfico da função sensibilidade para a banda K



Fonte: Produto do Autor

3.3 Extinção

O valor de A varia de acordo com a direção e distância da estrela e representa o quanto da radiação emitida pela estrela em questão foi perdida por espalhamento ou absorção no meio inter-estelar. A extinção inter-estrelar é basicamente causada por nuvens de poeira que existem na Via Láctea.

Vale lembrar que também existe uma componente da radiação que é perdida ao entrar na atmosfera terrestre, caso o telescópio utilizado não esteja em órbita. Nesse caso, a banda U é a principal afetada por ser próxima a comprimentos do ultravioleta. Os valores de extinção atmosférica foram negligenciados nos cálculos, já que espera-se que os resultados de contrapartida publicados já tenham considerado tal efeito e representem apenas os valores relativos à magnitude fora da atmosfera.

Os valores de A para cada magnetar, nas diferentes bandas, foram calculados a partir de (NASA/IPAC...,). As ascensões retas e declinações (época J2000.0) em relação à Terra para cada uma dos magnetares encontram-se em (Olausen; Kaspi, 2014).

A calculadora de extinção Galáctica, (NASA/IPAC...,), utiliza duas fontes para o cálculo da extinção. A referência (Schlafly; Finkbeiner, 2011) utiliza dados coletados do telescópio Sloan Digital Sky Survey (SDSS). Enquanto, (Schlegel et al., 1998) calcula seus resultados a partir das missões COBE/DIRBE and IRAS/iSSA. Nos cálculos foram utilizados ambos os valores de extinção para cada magnetar em relação a todas as bandas.

3.4 Modelo de Corpo Negro

Como dito anteriormente, o valor de e_{λ_0} para um determinado comprimento de onda pode ser aproximado pela equação 3.6, supondo, para isso, que o fluxo de uma anã branca se aproxime do fluxo de radiação de um corpo negro na temperatura efetiva T, da anã branca. A equação 3.6 pode ser encontrada em (CARROLL; OSTLIE, 2007). As constantes utilizadas encontram-se na Tabela 3.10.

Tabela 3.10 - Constantes utilizadas no cálculo em S.i.

h	$6.62 \times 10^{-34} \text{ m}^2 \text{ kgs}^{-1}$	Fonte: (LÉNA et al., 1998)
c	$3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$	
k	$1.38 \times 10^{-23} \text{ m}^2 \text{ kgs}^{-2} \text{ K}^{-1}$	
M_{\odot}	$1.989 \times 10^{30} \text{ kg}$	
R_{\odot}	695800 km	

$$e(\lambda)d_{\lambda} = \frac{\left(\frac{2\pi hc^2}{\lambda^5}\right)}{\left(e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1\right)} \left(\frac{R}{d}\right)^2 d_{\lambda} \quad (3.6)$$

De acordo com o modelo de magnetares proposto por (Malheiro et al., 2012), esses sistemas conteriam uma anã branca massiva com altas concentrações de carbono e oxigênio em sua fotosfera. Em (Koester, 2013) pode-se encontrar que o tipo de anã branca com presença de carbono e oxigênio em suas linhas de emissão são as conhecidas como DQ e sua temperatura varia de 11000 a 24000 K, logo esse foi o intervalo de temperatura utilizado.

De acordo com (Malheiro; Coelho, 2013), para o modelo proposto, a massa da anã branca é de $1,4 M_s$ e o raio de $3 \times 10^3 \text{ km}$. No entanto, pela relação massa-raio descrita na equação 3.7 ((FILHO; SARAIVA, 2000)), tem-se que o raio é 6220 km, logo os dois valores foram utilizados no programa numérico.

$$\frac{M}{M_s} \simeq 10^{-6} \left(\frac{R}{R_s}\right)^{-3} \left(\frac{\mu_e}{2}\right)^5 \quad (3.7)$$

4 Cálculos Computacionais

Para realizar os cálculos utilizou-se o software MATLAB 2014a e os passos seguidos podem ser vistos abaixo. Todas as constantes e valores apresentados no programa utilizam as unidades em S.I.

1. Criação de uma função com os dados do problema.

```
function parametro = dados
%Distancia padrao de 10 kpc
parametro.d = 10;
%Distancia da estrela a terra
parametro.D = 2.64;
%constante de planck
parametro.h=6.62*10-34;
%velocidade da luz
parametro.c=3*108;
%constante k
parametro.k = 1.38*10-23;
%raio em pc
parametro.raio = 0.0111*2.253962*10-8;
%temperatura em Kelvin
parametro.T_estrela =25600;
%Comprimento de onda central
parametro.a = 0.55*10-6;
%tamanho da banda
parametro.delta = 0.089*10-6;
%e_v
parametro.e_V = 3.92*10-2;
end
```

2. Criação de uma função específica para o cálculo do fluxo monocromático.

```
function y = B_corponegro(x)
parametro = dados;
h = parametro.h;
c = parametro.c;
k = parametro.k;
```

```

T_estrela = parametro.T_estrela;
a = parametro.a;
delta = parametro.delta;
y = t*(2*pi*h*c^2./((x).^5))./((exp(1).^((h*c)./((x)*k*T_estrela)) - 1));
end

```

3. Para cada banda, calcula-se o valor da magnitude.

```

function magnitude_aparente
parametro = dados;
d = parametro.d;
D = parametro.D;
raio = parametro.raio;
a = parametro.a;
delta = parametro.delta;
b = a + (delta)/2;
c = a - (delta)/2;
e_V = parametro.e_V;

F_sup = quad(@B_corponegro , c , b);
F_sens = quad(@B_sensibilidade , c , b);
%fluxo da estrela a 10 pc
F_d = F_sup*(raio/d)^2;
%magnitude relativa da estrela
M_V = -2.5*log10(F_d/e_V)+2.5*log10(F_sens);
m_V = M_V + 5*log10(D/d)
end

```

5 Testes

Para validar os programas criados na seção anterior, utilizou-se as anãs brancas cujos raios podem ser encontrados em (Koester, 2013). As temperaturas aproximadas, distância à Terra e as magnitudes reais podem ser encontradas em (WHITE...). Os dados das anãs brancas utilizados encontram-se na Tabela 5.1.

Calculou-se a magnitude utilizando o modelo da seção 3 para as quatro anãs brancas acima. Nesse caso, desconsiderou-se a extinção por se tratarem de fontes relativa-

mente próximas. Os testes para as quatro anãs brancas foram realizados apenas na banda V, pois essa apresenta uma maior quantidade de dados históricos nas referências pesquisadas. O resultado encontra-se na Tabela 5.2.

Para a anã Sirius B realizou-se também os testes para as bandas U e B. Nesse caso, pode-se ver a comparação na Tabela 5.3. A razão entre os fluxos, apresentada na Tabela 5.2 pode ser calculada a partir das magnitudes e pode ser vista na equação 5.1:

Tabela 5.1 - Dados relativos às anãs brancas usadas para validação do modelo adotado

Nome	R/R_s	T	d
40 Eri B	0,0136	16490	4,984
Sirius B	0,008167	25600	2,64
Procyon B	0,01234	7740	3,507
Stein 2051	0,011	7500	5,54

$$\frac{F_{calculada}}{F_{real}} = 10^{(M_{real} - M_{calculada})/2.5}. \quad (5.1)$$

Tabela 5.2 - Resultados da validade do modelo de corpo negro

Nome	m_c	m_r	R
40 Eri B	9,32	9,52	0,83
Sirius B	8,20	8,30	0,91
Procyon B	10,94	10,82	0,90
Stein 2051	12,28	12,44	0,86

Tabela 5.3 - Teste do modelo de corpo negro em diferentes bandas para Sirius B

Banda	m_d	m_r	R
U	6,8218	7,27	0,66
B	8,0401	8,18	0,88

Pela Tabela 5.2 pode-se chegar à conclusão que o programa utilizado é satisfatório para se ter uma noção do valor da magnitude das anãs brancas. Pela Tabela 5.3, é possível perceber que o modelo é eficiente para a banda B, no entanto, para a banda U ele apresenta uma diferença significativa.

Logo, o modelo de corpo negro, apesar de não representar a realidade fielmente é uma boa aproximação para todas as bandas exceto a banda U. Infelizmente não é possível atestar a validade do programa na banda U com os testes realizados. Para tal, seria preciso realizar novos testes em tais bandas com mais anãs brancas.

6 Resultados

Os valores de magnitude calculados para os magnetares apresentados em (Olausen; Kaspi, 2014) (supondo que esses são anãs brancas) encontram-se nas Tabelas de 6.1 a 6.8. Cada Tabela corresponde a uma banda de emissão. Como tem-se dois valores de raios que podem ser utilizados (3000 km e 6220 km), um conjunto de temperaturas tendo como mínimo 11000 k e máximo 24000 K, além das duas referências de extinção, optou-se por calcular o menor e o maior valores teóricos possíveis para a magnitude aparente para cada banda, utilizando os dados acima citados. As Tabelas de 6.1 a 6.8 mostram, para cada banda, as magnitudes limites já observadas para a dada região do céu (coluna 3), a magnitude da contrapartida (coluna 4) e dos maiores e menores valores possíveis a partir da teoria das anãs brancas (colunas 5 e 6).

Os valores de magnitude (M_{lim}) limite representam os valores de magnitude aparente máximos já pesquisados para uma determinada banda sem encontrar contrapartida. Enquanto, a contrapartida (M_{con}) representa o valor de magnitude em que foi encontrada contrapartida.

Tabela 6.1 - Resultados de magnitude aparente do programa para os magnetares na banda U

Nome	d (kpc)	M_{lim}	M_{con}	M_{min}	M_{max}
CXOU J010043.1-721134	62.4	24.2	-	32.77	28.80
4U 0142+61	3.6	25.8	-	34.28	30.34
SGR 0418+5729	2	-	-	29.88	24.88
SGR 0501+4516	2	24.7	-	32.10	26.78
SGR 0526-66	53.6	25	-	32.65	28.63
1E 1048.1-5937	9	25.7	-	35.50	30.57
1E 1547.0-5408	4.5	20.3	-	117.73	93.90
PSR J1622-4950	9	-	-	141.18	109.99
SGR 1627-41	11	-	-	279.49	223.46
CXOU J164710.2-455216	3.9	-	-	88.91	72.81
1RXS J170849.0-400910	3.8	-	-	143.95	110.36
CXOU J171405.7-381031	13.2	-	-	88.41	78.16
SGR J1745-2900	8.5	-	-	533.25	446.07
SGR 1806-20	8.7	-	-	122.90	104.28
XTE J1810-197	3.5	-	-	168.46	133.80
Swift J1822.3-1606	1.6	-	-	46.55	41.31
Swift J1834.9-0846	4.2	-	-	208.68	188.75
1E 1841-045	8.5	-	-	135.92	110.19
SGR 1900+14	12.5	-	-	52.26	43.45
1E 2259+586	3.2	-	-	33.60	28.36
AX 1845.0 0258	8.5	-	-	127.46	105.76
SGR 2013+34	8.8	21.2	-	40.92	33.65

Tabela 6.2 - Resultados de magnitude aparente do programa para os magnetares na banda B

Nome	d (kpc)	M_{lim}	M_{con}	M_{min}	M_{max}
CXOU J010043.1-721134	62.4	25.6	-	33.62	29.97
4U 0142+61	3.6	-	28.1	33.87	30.26
SGR 0418+5729	2	-	-	29.78	25.48
SGR 0501+4516	2	26.9	-	31.54	27.07
SGR 0526-66	53.6	24.7	-	33.45	29.78
1E 1048.1-5937	9	27.6	-	34.91	30.77
1E 1547.0-5408	4.5	20.7	-	99.91	83.51
PSR J1622-4950	9	-	-	118.84	97.22
SGR 1627-41	11	-	-	228.75	192.22
CXOU J164710.2-455216	3.9	-	-	76.95	65.81
1RXS J170849.0-400910	3.8	-	-	120.65	97.22
CXOU J171405.7-381031	13.2	-	-	77.11	70.72
SGR J1745-2900	8.5	-	-	430.14	378.38
SGR 1806-20	8.7	-	-	104.30	92.43
XTE J1810-197	3.5	-	-	140.08	116.80
Swift J1822.3-1606	1.6	-	-	42.92	39.14
Swift J1834.9-0846	4.2	-	-	172.09	162.84
1E 1841-045	8.5	-	-	114.64	97.36
SGR 1900+14	12.5	-	-	48.37	41.66
1E 2259+586	3.2	-	-	32.95	28.55
AX 1845.0-0258	8.5	-	-	107.91	93.66
SGR 2013+34	8.8	21.8	-	39.21	33.34

Tabela 6.3 - Resultados de magnitude aparente do programa para os magnetares na banda V

Nome	d (kpc)	M_{lim}	M_{con}	M_{min}	M_{max}
CXOU J010043.1-721134	62.4	26.2	-	33.43	30.08
4U 0142+61	3.6	-	26.1	32.12	28.79
SGR 0418+5729	2	28.6	-	28.76	24.86
SGR 0501+4516	2	-	-	30.11	26.07
SGR 0526-66	53.6	26.6	-	33.23	29.86
1E 1048.1-5937	9	25.5	-	33.45	29.66
1E 1547.0-5408	4.5	20.4	-	83.04	69.18
PSR J1622-4950	9	-	-	97.93	79.91
SGR 1627-41	11	-	-	182.47	151.86
CXOU J164710.2-455216	3.9	-	-	65.33	55.72
1RXS J170849.0-400910	3.8	-	-	98.89	79.45
CXOU J171405.7-381031	13.2	-	-	66.06	60.07
SGR J1745-2900	8.5	-	-	337.06	292.49
SGR 1806-20	8.7	-	-	86.74	76.27
XTE J1810-197	3.5	22.5	-	113.77	94.22
Swift J1822.3-1606	1.6	-	-	38.74	35.08
Swift J1834.9-0846	4.2	-	-	138.46	129.13
1E 1841-045	8.5	26.4	-	94.67	79.99
SGR 1900+14	12.5	-	-	43.35	38.07
1E 2259+586	3.2	-	-	31.43	27.44
AX 1845.0-0258	8.5	-	-	89.51	77.19
SGR 2013+34	8.8	20.2	-	36.75	31.59

Tabela 6.4 - Resultados de magnitude aparente do programa para os magnetares na banda R

Nome	d (kpc)	M_{lim}	M_{con}	M_{min}	M_{max}
CXOU J010043.1-721134	62.4	-	-	33.19	30.04
4U 0142+61	3.6	-	25.6	30.85	27.72
SGR 0418+5729	2	24	-	27.97	24.35
SGR 0501+4516	2	23	-	29.06	25.30
SGR 0526-66	53.6	-	-	32.96	29.79
1E 1048.1-5937	9	26	-	32.38	28.83
1E 1547.0-5408	4.5	-	-	72.08	59.77
PSR J1622-4950	9	-	-	84.38	68.57
SGR 1627-41	11	-	-	152.63	125.58
CXOU J164710.2-455216	3.9	-	-	57.74	49.06
1RXS J170849.0-400910	3.8	26.5	-	84.79	67.83
CXOU J171405.7-381031	13.2	-	-	58.85	53.06
SGR J1745-2900	8.5	-	-	277.17	236.71
SGR 1806-20	8.7	21.5	-	75.34	65.68
XTE J1810-197	3.5	21.5	-	96.76	79.46
Swift J1822.3-1606	1.6	-	-	35.92	32.33
Swift J1834.9-0846	4.2	-	-	116.73	107.1
1E 1841-045	8.5	-	-	81.73	68.61
SGR 1900+14	12.5	-	-	41.00	35.63
1E 2259+586	3.2	26.4	-	30.32	26.60
AX 1845.0-0258	8.5	-	-	77.57	66.403
SGR 2013+34	8.8	19	-	35.03	30.34

Tabela 6.5 - Resultados de magnitude aparente do programa para os magnetares na banda I

Nome	d (kpc)	M_{lim}	M_{con}	M_{min}	M_{max}
CXOU J010043.1-721134	62.4	25.9	-	33.15	30.19
4U 0142+61	3.6	-	24	29.63	26.69
SGR 0418+5729	2	25.1	-	27.32	23.95
SGR 0501+4516	2	-	24.4	28.11	24.62
SGR 0526-66	53.6	26.7	-	32.90	29.92
1E 1048.1-5937	9	26.2	-	31.42	28.06
1E 1547.0-5408	4.5	-	-	59.82	49.07
PSR J1622-4950	9	-	-	69.15	55.64
SGR 1627-41	11	-	-	118.81	95.3
CXOU J164710.2-455216	3.9	-	-	49.32	41.55
1RXS J170849.0-400910	3.8	25.1	-	68.94	54.55
CXOU J171405.7-381031	13.2	-	-	50.85	45.13
SGR J1745-2900	8.5	-	-	209.05	172.27
SGR 1806-20	8.7	-	-	62.58	53.61
XTE J1810-197	3.5	24.3	-	77.57	62.57
Swift J1822.3-1606	1.6	22.2	-	32.96	29.34
Swift J1834.9-0846	4.2	21.6	-	92.19	81.91
1E 1841-045	8.5	-	-	67.20	55.63
SGR 1900+14	12.5	21	-	37.87	33.00
1E 2259+586	3.2	25.6	-	29.30	25.83
AX 1845.0-0258	8.5	-	-	64.18	54.09
SGR 2013+34	8.8	20.6	-	33.33	29.10

Tabela 6.6 - Resultados de magnitude aparente do programa para os magnetares na banda J

Nome	d (kpc)	M_{lim}	M_{con}	M_{min}	M_{max}
CXOU J010043.1-721134	62.4	-	-	34.06	31.2737
4U 0142+61	3.6	-	22.2	29.12	26.34
SGR 0418+5729	2	27.4	-	27.34	24.38
SGR 0501+4516	2	-	-	27.72	24.69
SGR 0526-66	53.6	-	-	33.76	30.97
1E 1048.1-5937	9	25	-	31.00	28.04
1E 1547.0-5408	4.5	-	-	43.40	37.14
PSR J1622-4950	9	-	-	48.55	41.03
SGR 1627-41	11	21.5	-	71.87	59.96
CXOU J164710.2-455216	3.9	-	-	38.36	33.43
1RXS J170849.0-400910	3.8	21.9	-	47.45	39.53
CXOU J171405.7-381031	13.2	-	-	40.48	36.52
SGR J1745-2900	8.5	-	-	113.52	95.91
SGR 1806-20	8.7	21.2	-	45.45	40.04
XTE J1810-197	3.5	23.9	-	51.37	43.21
Swift J1822.3-1606	1.6	19.3	-	29.71	26.66
Swift J1834.9-0846	4.2	-	-	58.37	52.54
1E 1841-045	8.5	22.1	-	47.57	40.96
SGR 1900+14	12.5	-	-	34.38	30.75
1E 2259+586	3.2	23.8	-	28.82	25.80
AX 1845.0-0258	8.5	-	-	46.17	40.24
SGR 2013+34	8.8	19.3	-	31.87	28.51

Tabela 6.7 - Resultados de magnitude aparente do programa para os magnetares na banda H

Nome	d (kpc)	M_{lim}	M_{con}	M_{min}	M_{max}
CXOU J010043.1-721134	62.4	-	-	32.63	29.94
4U 0142+61	3.6	-	20.9	27.23	24.55
SGR 0418+5729	2	-	-	25.65	22.84
SGR 0501+4516	2	-	-	25.88	23.03
SGR 0526-66	53.6	-	-	32.32	29.63
1E 1048.1-5937	9	-	23.3	29.16	26.35
1E 1547.0-5408	4.5	-	-	36.53	31.56
PSR J1622-4950	9	-	-	40.36	34.58
SGR 1627-41	11	19.5	-	55.41	46.73
CXOU J164710.2-455216	3.9	-	-	33.20	29.10
1RXS J170849.0-400910	3.8	20	-	38.98	32.94
CXOU J171405.7-381031	13.2	-	-	35.51	32.03
SGR J1745-2900	8.5	-	-	81.81	69.29
SGR 1806-20	8.7	19.5	-	38.36	33.92
XTE J1810-197	3.5	22.7	-	41.42	35.21
Swift J1822.3-1606	1.6	18.3	-	26.98	24.10
Swift J1834.9-0846	4.2	-	-	46.04	41.26
1E 1841-045	8.5	-	21.5	39.70	34.49
SGR 1900+14	12.5	-	-	31.58	28.33
1E 2259+586	3.2	-	-	26.96	24.11
AX 1845.0-0258	8.5	21	-	38.80	34.03
SGR 2013+34	8.8	18.5	-	29.69	26.63

Tabela 6.8 - Resultados de magnitude aparente do programa para os magnetares na banda K

Nome	d (kpc)	M_{lim}	M_{con}	M_{min}	M_{max}
CXOU J010043.1-721134	62.4	-	-	33.13	30.5086
4U 0142+61	3.6	-	20.8	27.47	24.85
SGR 0418+5729	2	19.6	-	25.96	23.28
SGR 0501+4516	2	-	18.6	26.11	23.41
SGR 0526-66	53.6	-	-	32.81	30.19
1E 1048.1-5937	9	-	19.4	29.39	26.72
1E 1547.0-5408	4.5	-	21.7	33.54	29.73
PSR J1622-4950	9	20.7	-	36.53	32.25
SGR 1627-41	11	19.5	-	46.27	40.56
CXOU J164710.2-455216	3.9	21	-	31.30	27.97
1RXS J170849.0-400910	3.8	18.9	-	34.97	30.53
CXOU J171405.7-381031	13.2	-	-	33.74	30.81
SGR J1745-2900	8.5	-	-	62.89	55.55
SGR 1806-20	8.7	-	19.3	35.22	31.78
XTE J1810-197	3.5	-	20.8	36.46	32.00
Swift J1822.3-1606	1.6	17.3	-	26.64	23.97
Swift J1834.9-0846	4.2	22.4	-	39.54	36.20
1E 1841-045	8.5	19.5	-	36.06	32.15
SGR 1900+14	12.5	-	19.2	31.19	28.28
1E 2259+586	3.2	-	20.4	27.17	24.47
AX 1845.0-0258	8.5	-	-	35.48	31.84
SGR 2013+34	8.8	18.3	-	29.71	26.89

7 Limites dos Telescópios Conhecidos

A partir dos valores de magnitude aparente calculados para os magnetares na seção 6, procurou-se alguns dos projetos de telescópios que varrem o céu e suas respectivas magnitudes limites na tentativa de encontrar alguma contrapartida nas imagens já coletadas para os telescópios em atividade. Os telescópios pesquisados foram: GAIA, LSST e VISTA.

7.1 GAIA

GAIA é uma missão que tem como objetivo criar um mapa tridimensional da Via Láctea. Durante a missão, pretende visualizar mais de um bilhão de estrelas da galáxia e do Grupo Local. Dados desse censo astronômico permitirá aos astrônomos responder questões fundamentais sobre a formação e evolução da galáxia e proverá informações úteis para inúmeras outras áreas da astronomia. Mais informações sobre

a missão GAIA podem ser vistas em (GAIA,).

O telescópio GAIA utiliza as bandas G, G_{BP} , G_{RP} e G_{RVS} (Jordi et al., 2010). As transformações das bandas de Johnson para as bandas da missão podem ser encontradas em (Jordi et al., 2010). Os cálculos de magnitude para tais bandas foi realizado no software Matlab2014a de forma análoga à apresentada na seção 4. Utilizou-se, no entanto, dados relativos às bandas do telescópio.

Após os cálculos, a menor magnitude teórica para cada uma das bandas é, respectivamente, 25, 25, 24 e 23,8. Como a magnitude limite do telescópio, de acordo com (GAIA...,) é 20, infelizmente não é possível utilizar os dados coletados pelo GAIA para encontrar contrapartidas visuais para os magnetares em questão.

7.2 LSST

LSST é o nome de um telescópio de 8,4 metros que irá varrer o espaço visível em cores todas as semanas. Com sua câmera digital de três bilhões de pixels, ele irá procurar respostas para o mistério da energia escura e da matéria escura. Além de fornecer vídeos de objetos que se movimentam ou mudam rapidamente, como supernovas ou objetos distantes do cinturão de Kuiper (M., a).

As bandas utilizadas no projeto são g' , r' , i' e z' (MAGNITUDE...,) e as mínimas magnitudes teóricas calculadas foram 25,25, 24,41, 24,01 e 24,36. A máxima magnitude comum para o LSST é 22 (M., b). Logo também não é possível utilizar os dados coletados por tal missão.

7.3 WISE

WISE é uma missão da NASA que realizou um levantamento do céu na região infravermelha e coletou uma vasta quantidade de conhecimento sobre o sistema solar, a Via Láctea e o Universo. Dentro dos objetos procurados pela missão estão asteróides, galáxias luminosas e estrelas de baixa luminosidade (WISE,).

Ele utiliza as bandas W1, W2, W3 e W4 (NADA, a). O valor das magnitudes mínimas nessas bandas é 25,25, 25,79, 26,91 e 27,56. Enquanto isso, as magnitudes limites são, respectivamente, 20,73, 19,56, 17,60 e 12,98. Dessa forma, as informações coletadas não serão úteis para o presente trabalho.

7.4 VISTA

VISTA é um telescópio de 4 m presente apenas no hemisfério sul. Ele utiliza filtros para as bandas J, H e Ks, que já foram calculadas acima. A magnitude limite é 17,5 (VISTA...). Logo, ele também não é útil para a busca em questão.

8 Contrapartidas existentes

Muitos magnetares já possuem contrapartida no infravermelho. Além disso, algumas possuem também no óptico, como é o caso de 4U 01420+61, que possui contrapartida em todas as bandas, exceto na banda U.

Inicialmente, pode-se dizer que os valores de magnitude encontrados para as diversas bandas do magnetar 4U 01420+61 não encerra a discussão sobre a natureza dos magnetares, já que, como pode ser visto em (Hulleman et al., 2000), os resultados não descartam a possibilidade de uma anã branca nem de estrelas de nêutron. Apesar disso, alguns fatos curiosos foram observados.

Entre eles, pode-se citar o excesso de luminosidade observada no infravermelho, tanto para 4U 01420+61 quanto para muitos outros magnetares observados (Hulleman et al., 2004). Tal fato aponta para a presença de um disco, de acreção ou não, no magnetar. Vale ressaltar que tal observação é condizente tanto com o modelo de pulsar quanto com o de anãs brancas.

Além do excesso, observou-se uma variabilidade nos valores de magnitudes encontrados nessas mesmas bandas para 4U 01420+61. Como o tempo de integração (Hulleman et al., 2004) utilizado nas buscas por tais contrapartidas foi bem maior que o próprio período de pulsação do magnetar em questão, pode-se inferir que tal fenômeno é causado provavelmente por algum mecanismo que não está relacionado com as emissões em altas energias típicas em magnetares.

9 Pulsares de Anãs Brancas

O modelo apresentado em (Malheiro; Coelho, 2013) é apenas uma especulação teórica e não se sabe se anãs brancas com tais características realmente existe. No entanto, algumas anãs brancas conhecidas possuem características similares às apresentadas pela anã branca do problema e podem ajudar a entender a sua suposta natureza.

Nesses sistemas a energia emitida pode ter origem em um campo magnético dipolar com eixo não paralelo ao eixo de rotação, o mesmo mecanismo proposta para os pulsares. Assim, esses objetos são chamados pulsares de anãs brancas. Desse modo, se constituem como uma classe relevante para o nosso estudo que aborda a interpretação de magnetares como anãs brancas. Possuem períodos de rotação da ordem de minutos, o que é rápido para uma anã branca. Os três objetos dessa classe são AE Aquarii, EUVE J0317-855, RXJ 0648.0-4418.

O modelo de cálculo da magnitude utilizado para estimar a magnitude aparente dos magnetares a partir do modelo de anãs brancas foi utilizado para estimar a magnitude para tais anãs brancas nas bandas U, B e V. Os valores encontrados foram comparados com as contrapartidas para tais estrelas, quando essas já foram encontradas. Informações sobre as anãs em questão podem ser vistas na Tabela 9.1. Os resultados podem ser encontrados na Tabela 9.2. Como não se encontrou um valor para a temperatura de RXJ 0648.0-4418 na literatura foram utilizados os valores 10000 e 40000 K nos cálculos, de forma que fosse possível ter uma estimativa, mesmo que pouco precisa da magnitude aparente esperada para cada banda. Também foram utilizados valores aproximados de raio para EUVE J0317-855 e RXJ 0648.0-4418.

Tabela 9.1 - Características das anãs brancas pulsares

Nome	AE Aquarii	EUVE J0317-855	RXJ 0648.0-4418
d (pc)	100	650	27
Raio (km)	7000	3000	3000
Temperatura (K)	16000	-	25000
Período (s)	33,08	725	13,2
Campo Magnético (G)	5×10^7	$4,5 \times 10^8$	$1,45 \times 10^9$

Tabela 9.2 - Magnitudes aparentes para as anãs brancas nas bandas de Johnson

Nome	AE Aquarii (Bruch, 1991)	EUVE J0317-855 (Vennes et al., 2001)	RXJ 0648.0-4418
U calculada	15.45	12.75	23.07 - 19.31
U medida	11.40	13.43	-
B calculada	16.53	14.01	20.92 - 20.92
B medida	12.30	14.18	-
V calculada	16.55	14.21	23.68 - 20.83
V medida	12.40	14.11	-

Pode-se perceber uma similaridade entre os valores calculados de magnitude com os valores observados para EUVE J0317-855. Isso, mostra que o programa é eficiente para prever a magnitude de anãs brancas magnéticas e de grande massa também. Para AE Aquarii, os resultados não foram satisfatórios de forma que deve haver alguma outra forma de emissão negligenciada nos cálculos. Infelizmente não foram encontrados valores de magnitude aparente para RXJ 0648.0-4418.

Um fator relevante que diz respeito a AE Equarii é que ela também possui excesso no infravermelho (Dubus et al., 2004), além de variabilidade, assim como a fonte a 4U 01420+61 . Isso mostra que AE Aquarii tem algumas características bem similares aos magnetares e pode realmente significar o elo entre os magnetares e o modelo de anãs brancas.

10 Validade do Modelo Apresentado

Nessa seção serão apresentadas os magnetares com maior potencial de contrapartida óptica, a partir do modelo de anãs brancas massivas. Os critérios utilizados para escolher tais magnetares foram período de rotação e magnitude calculada.

O período de rotação dos magnetares testados está presente em (Olausen; Kaspi, 2014). De forma a ser estável, o mínimo valor de período de rotação que uma anã branca com os parâmetros explicitados em (Malheiro et al., 2012) pode ter é $P_{crit} = 0.94$ s. No entanto, a partir de estudos recentes, levando em conta as interações fracas e eletromagnéticas no núcleo da estrela, esse valor pode chegar a até $P_{crit} = 0,3$ s. Logo, apesar de ser um critério importante, o período não descarta nenhum dos magnetares em (Olausen; Kaspi, 2014).

Outro critério levado em conta foi a magnitude calculada para as diferentes bandas. Nesse caso, a restrição se deve ao fato de que valores de magnitude muito altos não são viáveis na procura por contrapartida óptica. Dessa forma, arbitrou-se que a estrela deve ter pelo menos uma das magnitudes calculadas abaixo de 25 para pelo menos uma das bandas para seja considerada como candidata provável. Nesse contexto, escolheu-se estudar os magnetares Swift J1822.3-1606 e SGR 0418+5729. Os magnetares 4U 01420+61 SGR 0501+4516 também serão analisados devido às contrapartidas existentes.

Levando em conta apenas os resultados para Swift J1822.3-1606 e SGR 0418+5729, o modelo proposto não é descartado nem confirmado já que que as buscas por

contrapartida óptica para tais magnetares não gerou resultados positivos. Os valores limites já pesquisados podem ser vistos na seção 6. Para a banda J do magnetar SGR 0418+5729 a magnitude limite vale 27,4 e a máxima magnitude calculada vale 27,88.

Nesse caso, o modelo seria possível com valor de raio de 3×10^3 km ou menor, temperatura de 11000 K e extinções calculadas a partir de (Schlafly; Finkbeiner, 2011). É interessante destacar que J é uma banda do infravermelho e se o modelo apresentado estiver correto não há excesso no infravermelho. Logo, para tal caso, o disco não existe ou possui uma temperatura efetiva muito baixa, incapaz de aumentar o valor de magnitude esperada para a banda J.

Levando-se em conta o magnetar SGR 0501+4516, as conclusões são diferentes. Tal magnetar tem contrapartida nas bandas I e K (tais valores podem ser encontrados no capítulo 6). Para a banda I, o valor pesquisado está bem próximo do valor obtido nos cálculos e as diferenças podem ser causadas pela utilização de valores estimados de extinção, já que a extinção nessa banda é aproximadamente 2 e provavelmente foi superestimada como explicado na seção 3.3. Isso corrobora a possibilidade de um modelo de anã branca para tal caso.

Para a banda K, no entanto, o valor calculado de magnitude foi bem maior do que a contrapartida existente. Isso aponta para a presença de um disco. Tal constatação, no entanto, não inviabiliza o modelo de anã branca como um todo, apenas imprime a necessidade de acrescentar uma forma de emissão diferente para bandas de baixa energia.

Por outro lado, o magnetar 4U 01420+61 não se encaixou no modelo criado, já que todas as contrapartidas apresentam magnitudes bem menores do que as obtidas a partir dos cálculos. A presença do disco explicaria o excesso no infravermelho mas não no óptico. Para as bandas do óptico era esperada uma certa correlação com os dois valores para validar o modelo de anãs brancas proposto.

Logo, há duas possibilidades. Uma delas é a de que o modelo de anãs brancas não é suficiente para se explicar as emissões de 4U 01420+61. Isso não significa que a estrela não possa ser descrita por um modelo de anãs brancas, já que os resultados de AE aqui também distoaram da teoria.

Outro é a utilização de parâmetros de entrada (massa, temperatura) mal estimados para esse caso. Visando a segunda possibilidade, realizou-se alguns cálculos para

encontrar algum par de raio e temperatura possível. Nesse caso, um raio de 8000 km e temperatura de 150000 K explicariam os resultados.

11 Conclusão

O modelo de cálculo teórico de magnitudes proposto mostrou-se eficiente para o cálculo da magnitude relativa das anãs brancas, já que os testes realizados mostraram-se satisfatórios. Apesar disso, os resultados encontrados para as magnitudes relativas dos magnetares considerando o modelo de anãs brancas foi bastante alto. Dessa forma, as missões pesquisadas (capítulo 7) mostraram-se inúteis para tal busca.

Na tentativa de tentar validar o modelo de anãs brancas os resultados foram insatisfatórios ou inconclusivos. Para o magnetar 4U 01420+61, os resultados apresentados foram pouco positivos. Já para os magnetares Swift J1822.3-1606, SGR 0418+5729 e SGR 0501+4516 os resultados foram inconclusivos.

Pode-se perceber que o modelo contendo puramente uma anã branca é pouco produtivo e novos estudos no futuro devem ser feitos levando em conta a presença de algum disco com emissão no infravermelho ou sistema binário.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Dubus, G. and Campbell, R. and Kern, B. and Taam, R. E. and Spruit, H. C. 26
- Bruch, A. Multicolour photometry of the unusual cataclysmic variable AE Aquarii. **Astronomy & Astrophysics**, v. 251, p. 59–68, nov. 1991. 28
- CARROLL, B.; OSTLIE, D. **An Introduction to Modern Astrophysics**. Pearson Addison-Wesley, 2007. ISBN 9780805304022. Disponível em: <<http://books.google.com.br/books?id=M8wPAQAAMAAJ>>. 13
- Dubus, G.; Campbell, R.; Kern, B.; Taam, R. E.; Spruit, H. C. Excess mid-infrared emission in cataclysmic variables. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 349, p. 869–881, abr. 2004. 29
- FILHO, K. de S. O.; SARAIVA, M. D. F. O. **Astronomia e astrofísica**. Ed. Universidade/UFRGS, 2000. ISBN 9788570255396. Disponível em: <<http://books.google.com.br/books?id=lfVwPwAACAAJ>>. 13
- GAIA. 26
- GAIA - SCIENCE PERFORMANCE. Disponível em: <<http://www.cosmos.esa.int/web/gaia/science-performance>>. 26
- Hulleman, F.; van Kerkwijk, M. H.; Kulkarni, S. R. An optical counterpart to the anomalous X-ray pulsar 4U0142+61. **Nature**, v. 408, p. 689–692, dez. 2000. 27
- _____. The Anomalous X-ray Pulsar 4U 0142+61: Variability in the infrared and a spectral break in the optical. **Astronomy & Astrophysics**, v. 416, p. 1037–1045, mar. 2004. 27
- Jordi, C.; Gebran, M.; Carrasco, J. M.; de Bruijne, J.; Voss, H.; Fabricius, C.; Knude, J.; Vallenari, A.; Kohley, R.; Mora, A. Gaia broad band photometry. **Astronomy & Astrophysics**, v. 523, p. A48, nov. 2010. 3, 26
- Koester, D. White Dwarf Stars. In: _____. **Planets, Stars and Stellar Systems. Volume 4: Stellar Structure and Evolution**. [S.l.: s.n.], 2013. p. 559. 13, 15
- LÉNA, P.; LEBRUN, F.; MIGNARD, F. **Observational Astrophysics**. Springer, 1998. (Astronomy and astrophysics library). ISBN 9783540634829. Disponível em: <<http://books.google.com.br/books?id=wXCMYy0yF5cC>>. 4, 13

M., e. a. K. S. **LSST**. Disponível em: <<http://www.lsst.org/lsst/about>>. 26

_____. **LSST System Performance**. Disponível em:
<http://www.lsst.org/files/docs/sciencebook/SB_3.pdf>. 26

MAGNITUDE Systems. Disponível em:
<<http://www.astro.umd.edu/~ssm/ASTR620/mags.html>>. 26

Malheiro, M.; Coelho, J. G. Describing SGRs/AXPs as fast and magnetized white dwarfs. **ArXiv e-prints**, jul. 2013. 3, 13, 27

Malheiro, M.; Rueda, J. A.; Ruffini, R. SGRs and AXPs as Rotation-Powered Massive White Dwarfs. **Publ. Astron. Soc. Japan**, v. 64, p. 56, jun. 2012. 1, 2, 3, 13, 29

NASA/IPAC EXTRAGALACTIC DATABASE - Coordinate Transformation & Galactic Extinction Calculator. Disponível em:
<<https://ned.ipac.caltech.edu/forms/calculator.html>>. 12

Olausen, S. A.; Kaspi, V. M. The McGill Magnetar Catalog. **Astrophysical Journal Suppl. Ser.**, v. 212, p. 6, maio 2014. 1, 2, 3, 12, 17, 29

Schlafly, E. F.; Finkbeiner, D. P. Measuring Reddening with Sloan Digital Sky Survey Stellar Spectra and Recalibrating SFD. **Astrophysical Journal**, v. 737, p. 103, ago. 2011. 12, 30

Schlegel, D. J.; Finkbeiner, D. P.; Davis, M. Maps of Dust Infrared Emission for Use in Estimation of Reddening and Cosmic Microwave Background Radiation Foregrounds. **Astrophysical Journal**, v. 500, p. 525–553, jun. 1998. 12

Vennes, S.; Ferrario, L.; Wickramasinghe, D. T.; Manson, K.; Schmidt, G.; Christian, D. Observations of the Magnetic White Dwarf EUVE J0317-855. In: Mathys, G.; Solanki, S. K.; Wickramasinghe, D. T. (Ed.). **Magnetic Fields Across the Hertzsprung-Russell Diagram**. [S.l.: s.n.], 2001. (Astronomical Society of the Pacific Conference Series, v. 248), p. 479. 28

VISTA sensitivity and Colour terms. Disponível em:
<<http://www.ipac.caltech.edu/2mass/overview/about2mass.html>>. 27

WHITE Dwarf Catalog - Villanova University. Disponível em:
<<http://www.astronomy.villanova.edu/WDcatalog/>>. 15

WISE. Disponível em: <<http://wise.ssl.berkeley.edu/mission.html>>. 26