

# DESENVOLVIMENTO DE UM INSTRUMENTO FOTOMÉTRICO PARA ANÁLISE DA MAGNITUDE APARENTE DE ESTRELAS

DEVELOPMENT OF A PHOTOMETRIC INSTRUMENT FOR ANALYSIS  
OF APPARENT STAR MAGNITUDE

**Romualdo Eleutério da Silva Junior**

resj@discente.ifpr.edu.br

**Ibson José Maciel Leite**

ibson.leite@pesqueira.ifpe.edu.br

**Cícero Jailton de Moraes Sousa**

cicero.souza@pesqueira.ifpe.edu.br

**Mário Antonio Alves Monteiro**

mariomonteiro@pesqueira.ifpe.edu.br

---

## RESUMO

O presente trabalho descreve o desenvolvimento de um instrumento fotométrico de baixo custo a ser aplicado no estudo de magnitude aparente de estrelas e que pode ser utilizado por estudantes em pesquisas futuras aplicadas à Astronomia e Física. O equipamento utiliza-se de meios eletrônicos e computacionais para detectar e interpretar a radiação luminosa proveniente de astros celestes. O instrumento foi capaz de detectar os sinais luminosos emitidos por estrelas e planetas como Marte. A partir dessa realização, foi possível correlacionar as medidas feitas dos astros estudados aos dados de magnitude aparente presentes na bibliografia. Desse modo, o instrumento mostrou-se capaz de medir a magnitude aparente de estrelas com uma precisão significativa.

Palavras-chave: Astronomia. Fotometria. Magnitude Aparente.

## ABSTRACT

The present work describes the development of a low-cost photometric instrument to be applied in the study of apparent magnitudes of star and that can be used by students in future research applied to astronomy and physics. The equipment uses electronic and computational means to detect light radiation from celestial stars. The instrument was able to detect the luminous signals emitted by stars and planets like Mars. From this realization it was possible the measurements made of the studied star to the data

of apparent magnitude present in the bibliography. In this way, the instrument was able to measure the apparent magnitude of stars with significant precision.

Keywords: Astronomy. Photometry. Apparent Magnitude.

---

## 1. INTRODUÇÃO

Entender o universo através de observações astronômicas tem sido a técnica mais usual do homem desde os primórdios. Segundo Oliveira Filho (2017), até o fim da idade média o olho humano foi o instrumento mais usual para realizar observações e estudos do brilho dos astros. O primeiro registro histórico de diferenciação das estrelas a partir de seu brilho foi realizado por Hiparco de Nicéia, no século II A.C. Segundo Oliveira Viana (2001), Hiparco distribuiu as magnitudes das estrelas em uma escala de 1 a 6, de modo que, as estrelas mais brilhantes receberam um valor de magnitude igual a 1, e as estrelas de menor brilho um valor de magnitude igual a 6.

No entanto, o olho humano apesar de ter sido um instrumento eficaz para a determinação de magnitudes na época, é limitado pela capacidade de visão do observador e esse valor de magnitude varia no caso de observadores distintos, além de que o olho é um instrumento sujeito a desgastes de sua capacidade de visão. Desse modo, foi necessário desenvolver recursos e estudos que permitissem estabelecer com maior padronização e precisão medidas dos brilhos dos astros. Assim, em meados do século XVIII, foram iniciados estudos em fotometria, que consiste na medida de luz proveniente de um objeto. A fotometria foi inicialmente utilizada pelo astrônomo, físico e matemático, Pierre Bouguer, que publicou o livro “A Gradação da Luz” em 1729 (MOREIRA KOHL, 2004).

Em 1856, William Pongson ao estudar a magnitude de estrelas utilizando um telescópio, a partir de uma técnica de diafragmatar (reduzir a abertura de passagem de luz) , a sua abertura até que o astro deixe de ser detectável, mostra que a percepção do brilho do olho humano se dá numa escala logarítmica. Assim, ele estabeleceu a formulação matemática que é a utilizada em estudos da magnitude aparentes dos astros até os dias atuais.

No fim do século XIX com o avanço da tecnologia, foi desenvolvida a fotografia astronômica, e durante as últimas décadas muitos tipos de detectores eletrônicos são usados para estudar as ondas eletromagnéticas provenientes do espaço (OLIVEIRA FILHO, 2017).

Uma das tecnologias desenvolvidas para aplicação direta na Astronomia foram os sensores fotométricos, aparelhos conhecidos como fotômetros. Do começo do século XX até os dias atuais, esses aparelhos têm sido utilizados para medir a magnitude aparente dos astros. Tais sensores, aliados a recursos computacionais como softwares específicos, fornecem dados digitais possibilitando a análise matemática das propriedades astrofísicas observadas a partir da luz proveniente destes objetos.

Com base no que foi discutido, o presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um instrumento fotométrico aplicado no estudo de magnitude

aparente de estrelas. O equipamento foi capaz de detectar astros de magnitude positiva com um nível significativo, detectando magnitude da ordem de 2,40. Para isso, foram utilizados sensores óticos e circuitos eletrônicos que possibilitaram realizar medidas da radiação luminosa de corpos celestes e comparar estes resultados com os gerados através de equipamentos já utilizados pela fotometria em estudos astrofísicos.

A correlação obtida entre os nossos resultados e os modelos matemáticos convencionais trazidos nesse trabalho, se mostraram de boa concordância, como será visto nos resultados apresentados.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

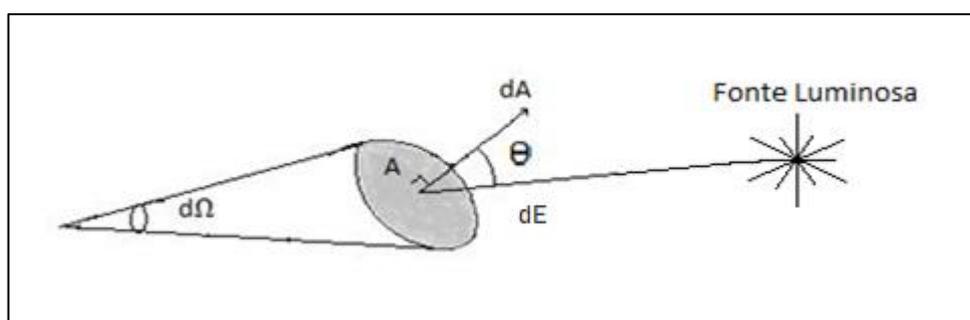
Para que se possa analisar as informações provenientes dos corpos celestes, é preciso fazer uso de algumas definições matemáticas a respeito da teoria luminosa.

### 2.1 Fotometria

Segundo (STERKEN & MANFROID, 1992), citados por (MOREIRA KOHL, 2004), a fotometria pode ser entendida como a medida da distribuição espacial da luz emitida por um objeto. Intensidade Luminosa

Quando a luz é emitida por uma fonte isotrópica (que emite igualmente em todas as direções), ela se expande esfericamente, (OLIVEIRA FILHO, 2017). A intensidade Luminosa fornece o quanto de energia por unidade de tempo, por unidade de área e por unidade de ângulo sólido, incide num elemento de superfície, sendo a unidade de área definida perpendicularmente a direção definida pelo ângulo sólido, como descrito na Figura 1.

**Figura 1 – Radiação luminosa incidente sobre uma área descrita por um ângulo sólido ( $\Omega$ ).**



Fonte: Elaborado Pelos autores (2020).

Desse modo a intensidade luminosa pode ser escrita como na expressão abaixo:

$$I = \frac{dE}{dt dA \cos \theta d\Omega} \quad (1)$$

Sendo,  $dE$  o elemento infinitesimal de energia luminosa que incide sobre a unidade infinitesimal da área  $dA$ ,  $dt$  o tempo o qual esse mesmo elemento de área  $dA$  foi exposto a radiação,  $d\Omega$  o elemento infinitesimal de ângulo sólido, e  $\theta$  o ângulo entre a radiação luminosa e a componente normal à área de incidência. A relação entre essas grandezas descrita pela Equação 1 no fornece a intensidade luminosa  $I$ . Geralmente a intensidade é mediada em  $\text{J/m}^2\text{sr}$  (OLIVEIRA FILHO, 2017). O sr é chamado de esferorradiano, é uma unidade usada para ângulos sólidos.

### 2.1.1 Fluxo Luminoso

O fluxo é a energia medida por unidade de tempo, por unidade de área que chega em determinada superfície coletora e é detectada pelo fotossensor, sua unidade de medida é o  $\text{W/m}^2$  (Whats por metro quadrado). Nominalmente:

$$F = \frac{dE}{dA dt} \quad [\text{W/m}^2] \quad (2)$$

A partir da Equação 2 e substituindo na Equação 1, obtemos a Equação 3, que representa a integração da intensidade luminosa em todo espaço descrito pelo ângulo sólido, a qual resulta no fluxo total medido pelo detector.

$$F = \int I \cos \theta d\Omega \quad (3)$$

### 2.1.2 Magnitude Aparente

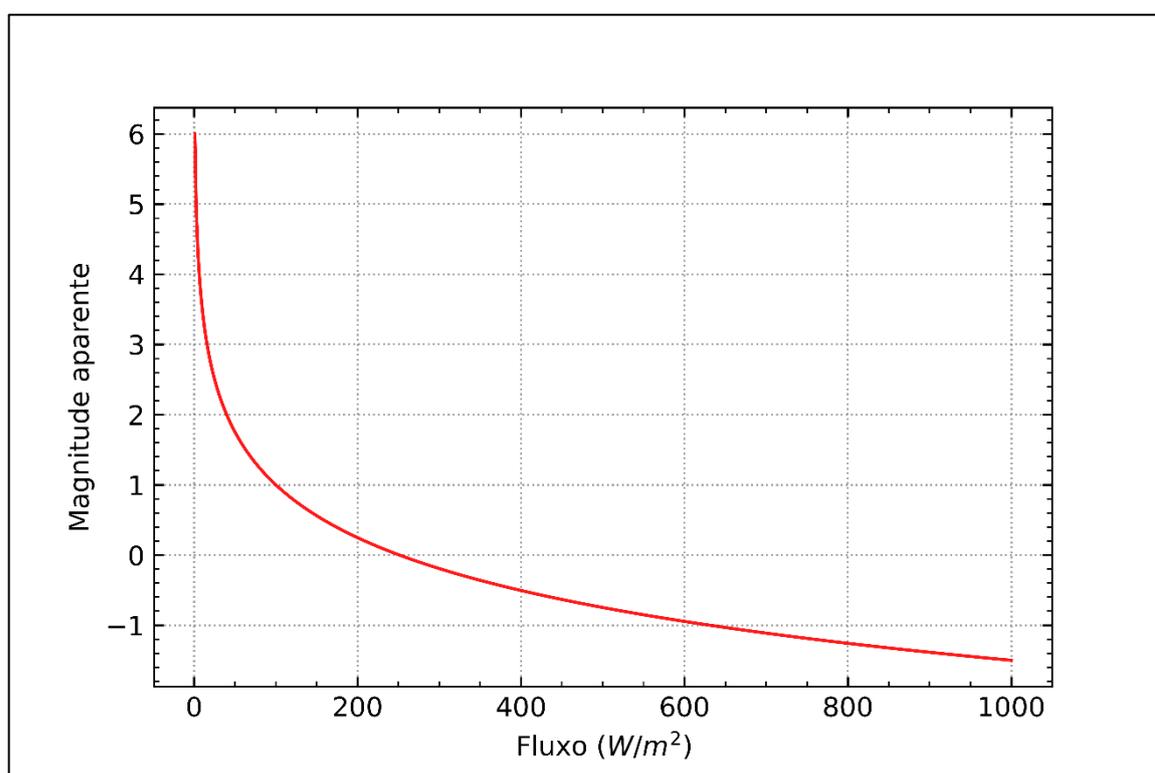
A magnitude aparente é o brilho de um corpo celeste medido por um observador. Segundo Oliveira Filho (2017), o brilho aparente de um astro é o fluxo medido na Terra e, normalmente, é escrita em termos da magnitude aparente  $m$ , que por definição é expresso pela Equação 4.

$$m = K \log F + C \quad (4)$$

A Equação 4 é conhecida como a fórmula de Pogson, que, em 1856, enunciou que a relação de magnitude aparente e fluxo luminoso detectado pelo olho humano

se dá de forma logarítmica, assim, uma estrela de magnitude 1, ( $m = 1$ ), é 100 vezes mais brilhante que uma estrela de magnitude 6 ( $m = 6$ ). A constante  $K$ , que aparece na Equação 4, vale  $-2,5$ , a constante  $C$  depende do conjunto instrumento fotométrico e telescópio utilizado. A Figura 2 ilustra a curva produzida pela Equação 4, que mostra a relação inversa entre fluxo luminoso e a magnitude aparente de um astro.

**Figura 2 – Relação entre o Fluxo Luminoso e a Magnitude Aparente.**



Fonte: Elaborado Pelos Autores (2020).

A diferença entre as magnitudes de duas estrelas pode ser escrita de acordo com a Equação 5, onde,  $F_2$  é o fluxo medido do objeto em estudo e  $F_1$  o fluxo de um astro referência, que por convenção gera uma magnitude aparente com valor nulo ( $m = 0$ ). Normalmente, utiliza-se a magnitude aparente da estrela Vega como  $m_1 \equiv 0$ .

$$m_2 - m_1 = K \log \frac{F_2}{F_1} \quad (5)$$

Considerando a intensidade  $I$  constante, podemos colocar o fluxo  $F$  em função da intensidade, para isso basta substituir a Equação 3 na Equação 5, o que resulta na Equação 6, em que  $I_1$  é a intensidade luminosa do astro de referência que produz uma magnitude nula, e  $I_2$  a intensidade luminosa do objeto do qual almeja-se estimar a magnitude.

$$m_2 - m_1 = K \log \frac{I_2}{I_1} \quad (6)$$

A partir da Equação 4, considerando a magnitude de referência como zero ( $m_1 = 0$ ), e escrevendo  $F_1$  em termos da intensidade  $I_1$ , que podemos considerar constante, obtemos o seguinte resultado:

$$K \log (I_1 \int \cos \theta d\Omega) + C = 0 \quad (7)$$

Quando calculada a integral que aparece na Equação 7, encontramos a área  $A$  descrita pelo ângulo sólido  $\Omega$ , na qual incide a energia luminosa. Isolando  $I_1$ , obtemos a Expressão 8 que mostra que a intensidade de referência  $I_1$  que produz uma magnitude nula, depende de termos constantes e, portanto,  $I_1$  é constante.

$$I_1 = 10^{(\log A + C_1)} = \text{constante} \quad (8)$$

A constante  $C_1$  que aparece na Equação 8 é igual a  $-C/K$  ( $C_1 = -C/K$ ).

Substituindo a constante da Expressão 8 na Equação 6 e considerando a magnitude aparente  $m_1$  nula, encontramos a Equação 9, que relaciona a intensidade luminosa relativa de um corpo celeste  $I_2$  com a sua magnitude aparente  $m_2$ , agora escritos de modo genérico como  $I$  e  $m$ .

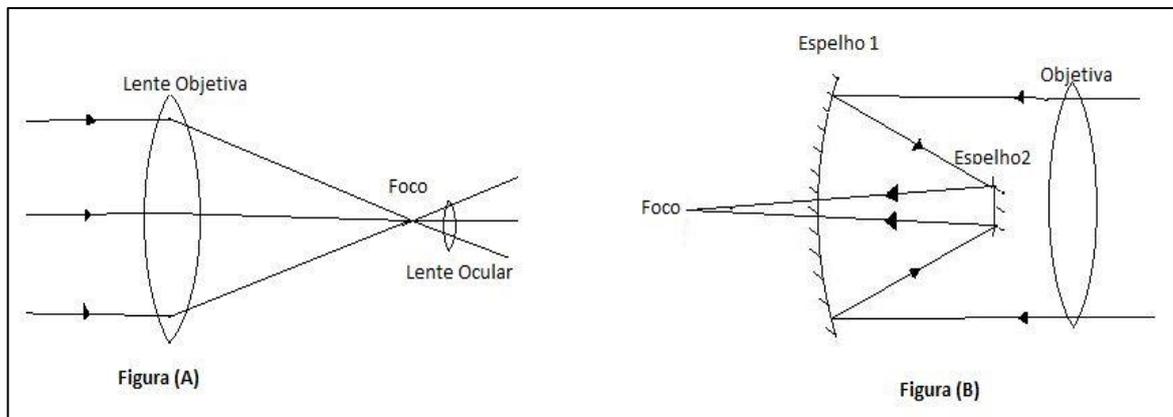
$$m = K \log I + \text{constante} \quad (9)$$

A constante que aparece na expressão, pode ser encontrada medindo a intensidade da estrela Vega, adotando sua magnitude como sendo nula.

## 2.2 Telescópios e Sistema de Magnitudes (Filtros)

O telescópio é um dos mais importantes instrumentos que o astrônomo pode utilizar. Sua função é captar toda radiação luminosa possível e trazê-la a um foco. Outros instrumentos são colocados próximos ao foco com o objetivo de detectar tal radiação (AMÂNCIO et al, 2008). Um telescópio que é constituído de lentes curvas, cuja finalidade é coletar a radiação que passa por elas e refratá-la, trazendo-a a um ponto chamado de foco, é chamado de telescópio *refrator* (Figura 3A). Existem também os chamados telescópios *refletores*, que utilizam lentes e espelhos curvos fazendo a radiação incidente convergir a um foco através da reflexão da luz (Figura 3B).

**Figura 3 – Esquema de Telescópios Refratores e Refletores.**



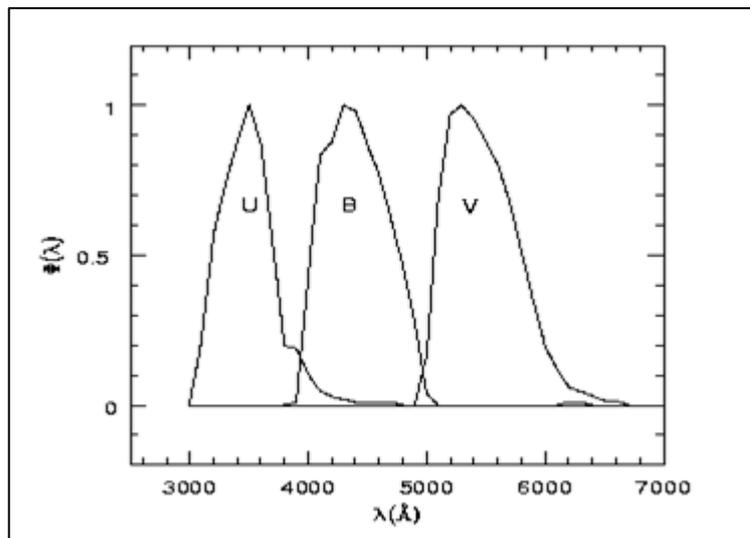
Fonte: Elaborado Pelos Autores

Alguns desses instrumentos possuem articulações mecânicas, que permitem apontá-los para muitas direções, e sistemas autônomos motorizados, fazendo com que “acompanhe” o astro evitando que o movimento aparente da esfera celeste o retire do campo de visão.

No estudo da fotometria, a magnitude aparente que é observada nos telescópios depende do filtro aplicado e das configurações do aparelho. Geralmente a sensibilidade espectral de um detector não é a mesma para diferentes comprimentos de onda (RAMOS,2016). Desse modo, o fluxo recebido pelo detector é uma fração do fluxo total captado pelo telescópio. Com isso, foi necessário desenvolver sistemas padrões de filtros para o estudo da magnitude aparente de corpos celestes.

Um dos Sistemas de filtros desenvolvidos e muito utilizado, segundo a literatura, é o sistema UVB (Ultravioleta, Azul e Visível), desenvolvido por Haroldo Lester Johnson e William Wilson em 1951. A Figura 4, mostra as curvas de transmissão para cada filtro do sistema UVB.

**Figura 4 – Curva de Transmissão dos Filtros UVB em Função do Comprimento de Onda.**



Fonte: (MARRANGHELLEO & PAVANI, 2011).

A Figura 4 mostra a transmitância (fração de luz de comprimento de onda específico que passa pelo filtro), de cada filtro para diferentes comprimentos de onda, cada filtro permite apenas uma faixa específica de passagem da radiação dependo de seu comprimento de onda, enquanto as outras faixas são impedidas. Podemos notar que os picos correspondem a 3600 Å (*Angströms*) ou 360 nm (nanômetros), para o ultravioleta (U) com intervalo de 300-420 nm aproximadamente, 420 nm para o azul (B) com intervalo de 380-510 nm e 550 nm para o visível (V), que corresponde a cor amarela, com intervalo de 490-660 nm. Uma estrela vermelha terá maior transmitância no filtro V, enquanto uma estrela azul terá maior transmitância no filtro B ou no filtro U.

O filtro B é usado para medir a banda de luz azul emitida por uma estrela, enquanto o filtro V é usado para medir a banda de luz amarela emitida. Esses dois valores são usados para obtermos o índice de cor (B-V) de uma estrela, (HERTEM, J.G *et al.*).

Segundo (GADOTTI, 2003), uma estrela vermelha é mais brilhante no filtro V do que no filtro B, inversamente, uma estrela azul possui maior brilho no filtro B do que no filtro V. De fato, o índice de cor (B-V) de uma estrela vermelha será positivo, e o da azul negativo.

A variação nas cores das estrelas é uma consequência direta de temperatura em sua superfície, (MUTLAQ.J, 2010). Mesmo que a magnitude aparente de uma estrela seja uma grandeza relativa, pode-se estimar sua temperatura que é uma grandeza intrínseca conhecendo seu índice de cor, (B-V). Para isso, mede-se sua magnitude no filtro B ( $m_B$ ), e mede-se sua magnitude utilizando o filtro V ( $m_V$ ), subtraindo a magnitude no filtro V da magnitude mediada no filtro B ( $m_B - m_V$ ), se obtém o índice de cor (B-V) e com isso estima-se a temperatura do corpo celeste.

O instrumento de medida de magnitude é um aparelho eletrônico e está sujeito interferências de causas externas, como variações de temperatura e campos

magnéticos externos, o que produz ruídos nas mediadas. Para diminuir essa interferência, utiliza-se técnicas para que os ruídos sejam subtraídos dos dados luminosos coletados. Uma dessas técnicas é conhecida como “*Dark Current*” (corrente de escuro), que considera como ruído a radiação captada mesmo quando área que capta luz está fechada (SAURIN, 2006).

Foi utilizado para a coleta dos dados luminosos dos corpos celestes um telescópio Celestron *refletor* CP800, cujo equipamento (fotômetro desenvolvido) foi acoplado em sua ocular. Todo procedimento de operação e coleta dos dados serão descritos a seguir.

## 2.3 Arduino e Visual Basic

No presente trabalho foram utilizados alguns recursos computacionais para auxiliar-nos no processo de coleta, armazenamento e tratamento dos dados. O Arduino foi usado de modo a realizar a comunicação com o *hardware*, e o *Visual Basic* foi utilizado para visualização gráfica e tratamento dos dados provenientes do Arduino.

### 2.3.1 Arduino

O Arduino é uma plataforma desenvolvida para prototipagem eletrônica, seus componentes basicamente são: o *hardware*, que é a placa de prototipagem onde é construído os projetos, e o *software*, que é o IDE (*Integrated Development Environment*), que utiliza linguagem baseada em C++. Os programas conhecidos como *sketchs*, são desenvolvidos com o auxílio de um computador, cuja comunicação se dá por meio de uma porta serial emulada a partir do drive da USB, e assim é feito o *upload* do *sketch* para a placa de prototipagem. Devido a facilidade de operação, sem a necessidade de circuitos eletrônicos complexos, e a objetividade da linguagem de programação, o Arduino permite que um desenvolvedor com pouco conhecimento técnico possa criar algumas aplicações (LEITE, 2018).

No presente trabalho, foi utilizado o Arduino MEGA, que utiliza um processador ATMEGA de 8 bits com velocidade de processamento em torno de 20 MHz, tem memória Flash de 32KB, 2KB de memória RAM e 1KB de memória EEPROM. Possui 52 pinos de entradas e saídas digitais. Esses pinos podem ser utilizados como entradas ou saídas digitais de acordo com a necessidade do projeto e conforme foi definido no *sketch* criado no IDE. Cada pino fornece uma tensão de saída de 5V e uma corrente elétrica de 40 mA, também é possível obter dados analógicos através do conversor analógico digital do microcontrolador, com valores de referência variando de 0 à 1023 que correspondem a variação de tensão de 0 V à 5 V (LEITE, 2018).

Com o intuito de obtermos uma melhor visualização gráfica dos dados obtidos, foi integrado ao Arduino uma comunicação de envio de dados para a plataforma de programação do Visual Basic, tal *software* permite o desenvolvimento de uma interface gráfica de modo a facilitar a operação e visualização dos resultados ao usuário.

### 2.3.2 Visual Basic (VB)

O Visual Basic é uma linguagem de programação orientada a objetos, os quais aparecem na tela como ícones (componentes) para serem inseridos em uma plataforma de trabalho (formulário). Esses ícones são ferramentas pré-programadas como botões, caixas de texto, barras de rolagem, entre outras ferramentas que realizam ações já pré-estabelecidas. “As vantagens de se desenvolver programas em VB estão relacionadas à praticidade e velocidade de construção, uma vez que não há necessidade de desenhar a interface do programa.” (LEITE, 2018, p. 61). *Tendo em vista a facilidade de criar códigos e interfaces gráficas através do Visual Basic, essa ferramenta foi utilizada para auxiliar no processo de aquisição e tratamento dos dados.*

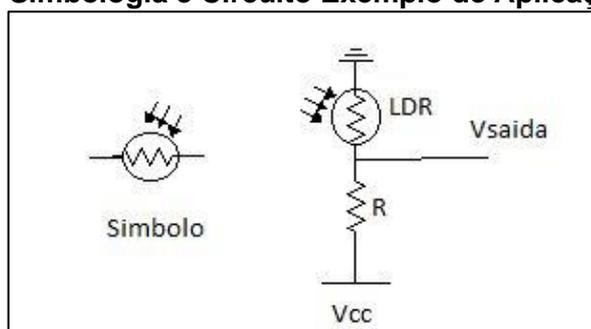
## 2.4 Transdutores

Transdutor, segundo Marcelo Wendling (2010), é o instrumento completo que contém o sensor usado para transformar uma grandeza física qualquer em um sinal elétrico que pode ser interpretado por um sistema de controle. No presente trabalho utilizamos os sensores de luz LDR e fototransistores para desenvolvimento do circuito de detecção da radiação luminosa. Nos tópicos a seguir discutiremos mais sobre esse assunto.

### 2.4.1 LDR

O LDR (*Light Dependent Resistor*), ou fotorresistor, é um tipo de resistor que varia sua resistência a partir da luminosidade captada. A Figura 5, mostra sua simbologia e um circuito divisor de tensão geralmente utilizado para detecção de luminosidade.

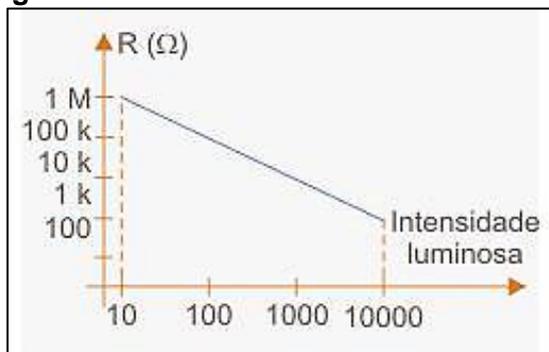
**Figura 5 – Simbologia e Circuito Exemplo de Aplicação ao LDR.**



Fonte: Elaborado Pelos Autores (2020).

A curva típica desse componente mostra a variação de sua resistência à medida que a intensidade luminosa incidente sobre sua superfície aumenta, Figura 6.

**Figura 6 – Curva característica de um LDR.**



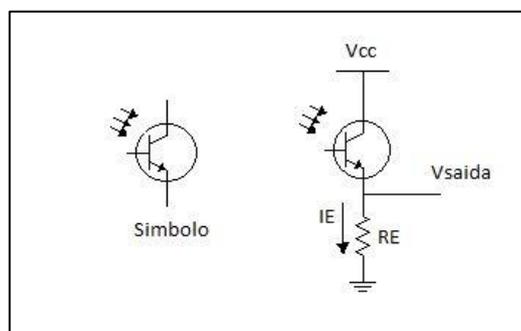
Fonte: Site N.BRAGA, 2016.

Nota-se que à medida que a intensidade luminosa incidente sobre o fotorresistor aumenta, sua resistência diminui linearmente. A variação da resistência obtida com diferentes graus de iluminação e a corrente máxima que o componente pode suportar dependem do material de que sua superfície é composta, ou seja, da área do fotorresistor exposta a luz (N. BRAGA, 2016). Outra característica desse dispositivo é o tempo de resposta, que é a velocidade com que a sua resistência muda ao variar a luminosidade sobre o mesmo, “LDRs são dispositivos de resposta lenta, tanto no que se refere à diminuição da resistência com a incidência da luz, como no aumento da resistência com o corte” (N. BRAGA, 2016).

### 2.4.2 Fototransistores

O foto-transistor pode ser entendido como um transistor comum em que a corrente da base é induzida por efeitos fotoelétricos, ou seja, conduz corrente elétrica se este for iluminado. A figura abaixo mostra o símbolo de representação de um foto-transistor e um exemplo de aplicação em um circuito.

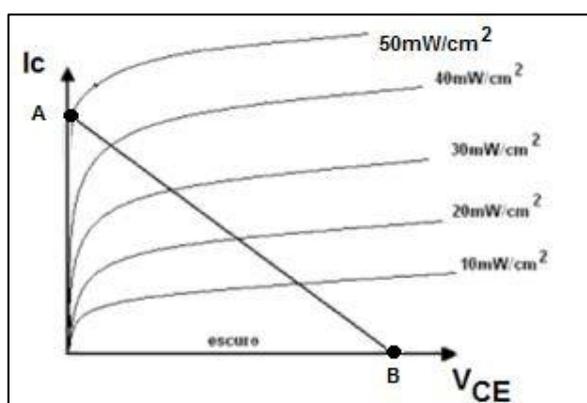
**Figura 7 – Símbolo e circuito Exemplo do Foto Transistor.**



Fonte: Elaborado Pelos Autores (2020).

$V_{cc}$  é a tensão de entrada e  $I_E$  a corrente de saída. O resistor de saída  $R_E$  deve ser devidamente calculado para que os níveis de oscilação sejam significativos e perceptíveis. Eles podem ser utilizados de forma que a corrente gerada na liberação de cargas pela luz seja amplificada. Desse modo os fototransistores utilizados como sensores apresentam ganho de sinal, (N. BRAGA, 2016). “Ganho de sinal” é o termo utilizado quando o sinal de saída é maior do que o sinal de entrada. No presente trabalho utilizamos um amplificador operacional com o objetivo de obtermos ganho no sinal de entrada adquirido pelo fototransistor.

**Figura 8 – Curva de um Foto-transistor.**



Fonte: Site Eletônica 24h.

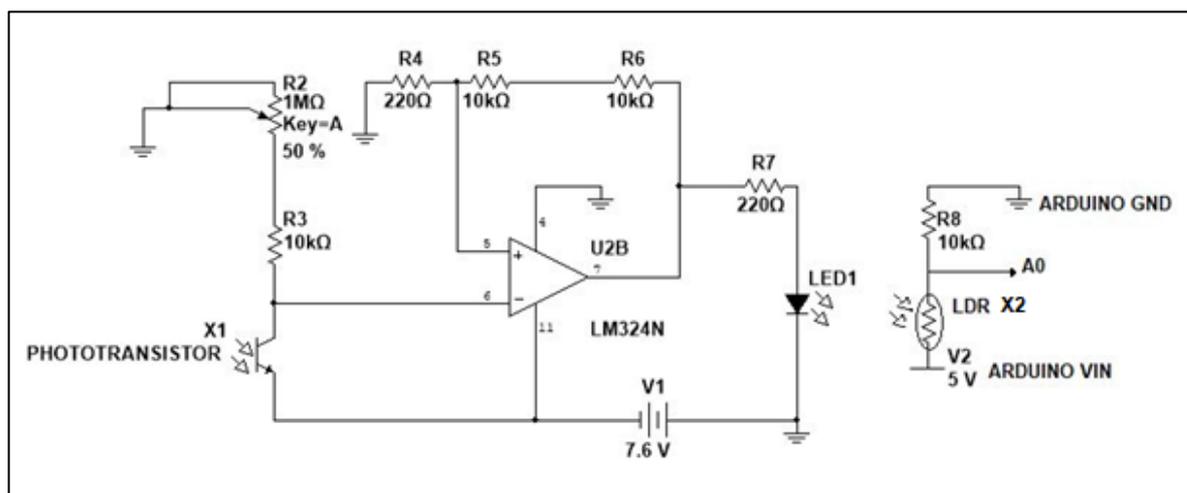
Uma das vantagens de se utilizar o foto-transistor é que sua curva tem grande sensibilidade no ponto de emissão de fontes comuns, como LEDs infra vermelhos, (WENDLING.M). A Figura 8, mostra a variação da corrente de base  $I_c$ , quando estabelecida uma tensão entre o coletor e o emissor estando a base exposta a radiação luminosa.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. Circuito eletrônico

O circuito utilizado neste trabalho possui um fototransistor como sensor óptico, que recebe a radiação luminosa proveniente do astro. Tal componente tem sua tensão de saída amplificada por um amplificador operacional, cujo ganho pode ser regulado por meio de um potenciômetro. Desse modo é possível regular a sensibilidade do equipamento e, conseqüentemente, os valores referentes à ruídos. O circuito esquemático pode ser visto na Figura 9.

**Figura 9 – Circuito Esquemático.**

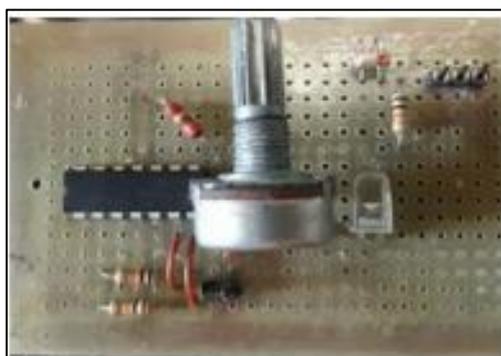


Fonte: Elaborado Pelos Autores (2020).

Foram utilizados no desenvolvimento do circuito eletrônico um amplificador operacional LM324; um potenciômetro de 1 M $\Omega$ ; quatro resistores de 10 K $\Omega$ ; dois resistores de 220 K $\Omega$ ; um LED de alto brilho na cor vermelha, um LDR e um par de baterias de íons de lítio.

A radiação luminosa é captada pelo fototransistor X1 e amplificada em 90 vezes pelo circuito integrado LM324. O sinal é enviado para o LED que varia seu brilho de acordo com o sinal luminoso proveniente do astro captado pelo fototransistor. A variação de brilho do LED é captada pelo LDR X2 posicionado defronte ao LED, e assim a informação é interpretada pela plataforma Arduino que envia os dados adquiridos para plataforma Visual Basic. A figura abaixo mostra o circuito desenvolvido.

**Figura 10 – Circuito Eletrônico Desenvolvido.**



Fonte: Elaborado Pelos Autores (2020).

Uma caixa metálica foi adaptada para comportar o circuito e fazer a blindagem eletrostática por meio do aterramento do mesmo, com o intuito de diminuir as

influências da variação de temperatura e de campos externos, diminuindo assim o ruído captado. Um tubo de PVC foi adaptado ao equipamento, de modo a permitir acoplá-lo a ocular do telescópio. A placa Arduino foi instalada sobre a caixa metálica de modo a facilitar sua locomoção devido ao movimento de seguimento do astro executado pelo telescópio. A Figura 11 mostra o equipamento funcional e o modo como fica acoplado ao telescópio.

**Figura 11 – Equipamento Funcional Acoplado ao Telescópio.**

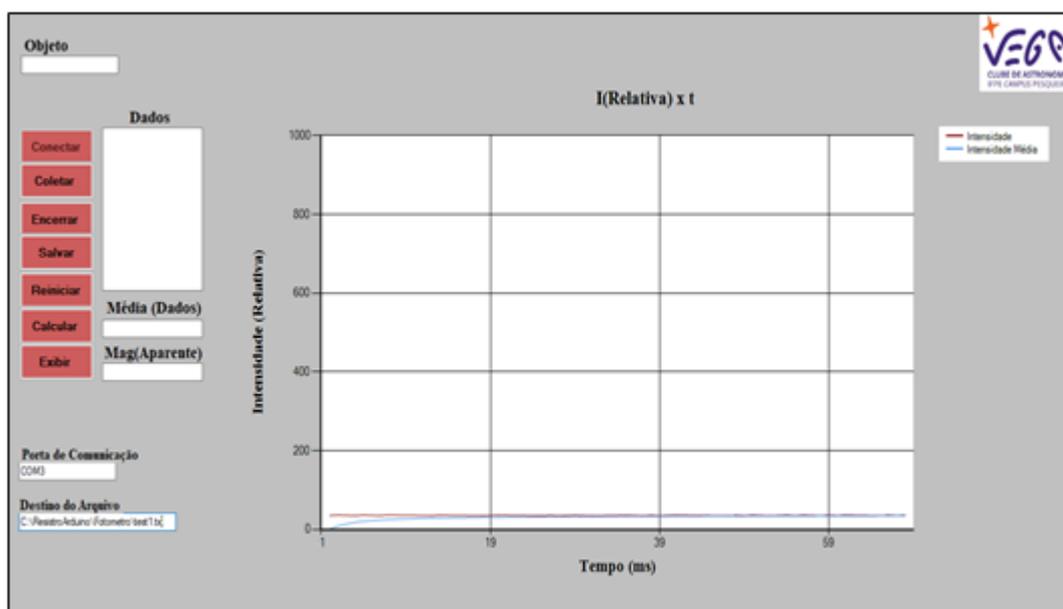


Fonte: Elaborado Pelos Autores (2020)

### **3.2. Softwares de aquisição e controle de dados**

O *software* desenvolvido na plataforma Arduino analisa as variações de tensão no LDR através do conversor analógico digital, esses dados são importados por meio da porta de comunicação e compartilhados com o *software* desenvolvido no Visual Basic, onde são interpretados. A figura 12 mostra a interface do *software* desenvolvido no Visual Basic 2010.

Figura 12 – Interface do software desenvolvido no Visual Basic 2010.



Fonte: Elaborado Pelos Autores (2020)

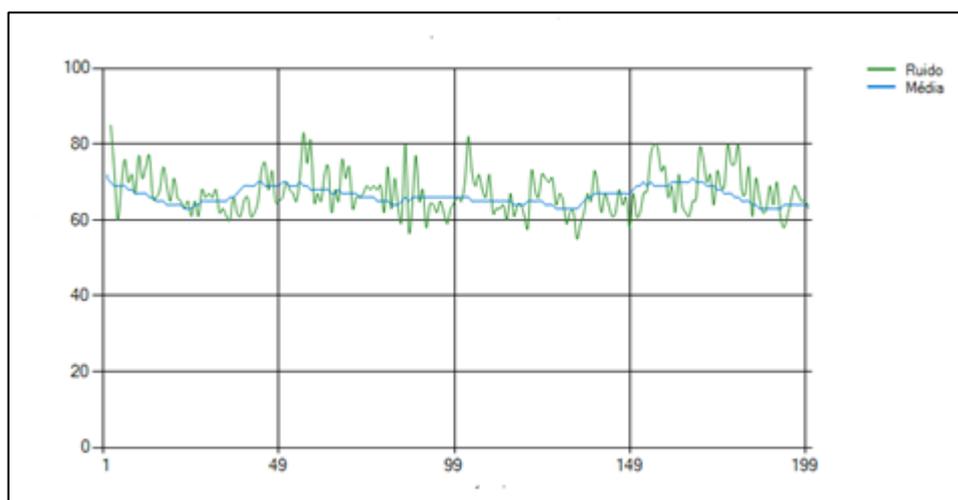
Como o LDR varia sua tensão em função da intensidade luminosa incidente, chamamos de “*Intensidade Relativa*”  $I(R)$ , à variação de tensão adquirida pelo Arduino.

O botão “*Conectar*” estabelece a conexão com a porta de comunicação indicada pelo usuário na caixa de texto “*Porta de Comunicação*”. Os dados provenientes do Arduino são coletados ao clicar no botão “*Coletar*”, os valores são armazenados na caixa de texto “*Dados*”. Por meio de uma janela gráfica é possível observar as variações da intensidade luminosa em função do tempo e a curva referente a média desses valores.

O botão “*Encerrar*” cessa a coleta e os dados podem ser salvos como arquivo de texto e a imagem do gráfico como JPG apertando o botão *salvar*. O botão “*Reiniciar*” exclui todos os dados e as curvas do gráfico para que novas medidas sejam efetuadas. O botão “*Calcular*” calcula a média da intensidade relativa mostrado na caixa de texto “*Média (Dados)*”, e calcula a magnitude aparente gerada por essa média mostrando tal valor na caixa de texto “*Mag(Aparente)*”.

### 3.3. Método de coleta dos dados luminosos

Com o fotômetro desenvolvido acoplado ao telescópio, fecha-se toda a abertura receptora de luz do mesmo, assim, como não há radiação luminosa sendo captada pelo fotômetro os dados obtidos pelo equipamento são referentes a ruídos contidos no circuito causados por fatores já descritos no texto, com isso obtemos os “*Dark Current*” do instrumento. O gráfico abaixo, mostra a variação dos ruídos em função tempo.

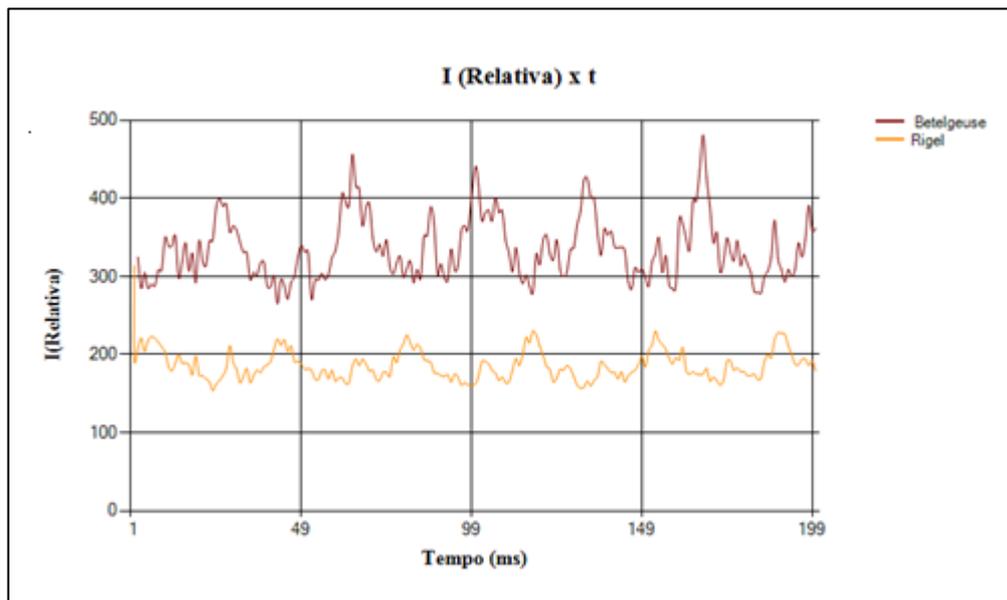
**Gráfico 1 – Variação do Ruído no Sistema em Função do Tempo (*Dark Current*).**

Fonte: Elaborado Pelos Autores (2020).

A curva verde se refere a variação dos ruídos em função do tempo, a curva azul mostra a média desses valores. Pode-se ajustar os valores do “*Dark Current*” aumentando ou diminuindo a sensibilidade do instrumento regulando a resistência do potenciômetro, que foi ajustado de modo que os valores médios desses dados sejam mínimos.

Salvaram-se os dados no computador e o telescópio foi alinhado para a estrela, cuja magnitude aparente é bem definida, para que assim pudéssemos encontrar uma relação entre os valores de “*intensidade Relativa*” adquiridos pelo fotômetro e as magnitudes relativas desses objetos. Os dados luminosos foram coletados no dia 11 de dezembro de 2020, durante uma noite de observação. Os atros em estudo foram: Aldebaran, Anilam, Alnitak, Bellatrix, Betelgeuse, Capella, Mintaka, Rigel e Sirius. O Gráfico 2 mostra a curva de luz das estrelas Betelgeuse e Rigel.

Gráfico 2 – Curvas de Luz de Betelgeuse e Rigel.



Fonte: Elaborado Pelos Autores (2020).

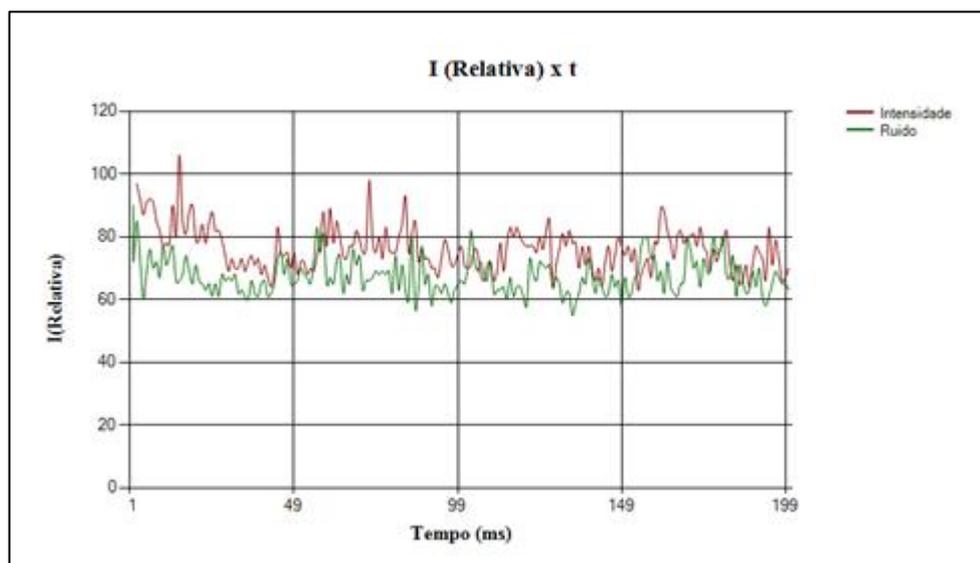
Pode-se notar no gráfico 2 as variações no brilho dos astros. Tais variações são decorrentes de perturbações atmosféricas que refratam a radiação luminosa proveniente desses objetos celestes.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. Calibração do instrumento Fotométrico

Os sinais coletados são a soma das intensidades luminosas dos objetos com o “*Dark Current*” (ruídos), que são fator intrínseco do instrumento. No gráfico abaixo foi possível observar podemos ver a comparação entre os dados coletados da estrela Rigel e o ruído do instrumento.

Gráfico 3 – Comparação Entre os Valores de Rigel e do Dark Current.



Fonte: Elaborado Pelos Autores (2020).

Para adquirir os valores reais das variações do brilho das estrelas, subtraímos o valor médio do “*Dark Current*” do valor médio dos dados de intensidade medidas de cada objeto. Após esse processo foi calculado o desvio padrão das intensidades médias e levantamos as curvas de intensidade versus magnitude aparente. Com o intuito de encontrar uma equação com melhor coeficiente de correlação entre essas grandezas, consultamos os valores das magnitudes dos astros medidas no filtro V, através do banco de dados do SIMBAD Astronomical Database - CDS (Strasbourg). A Tabela 1 mostra as médias das intensidades  $\overline{I(R)}$  de cada estrela e os valores médios das intensidades “*Dark Current*” subtraído ( $\overline{I(R)} - \overline{Dark}$ ), a nova variável da subtração conhecida como  $\overline{I(r)}$ , assim como o desvio padrão ( $Dp$ ) nas mediadas de intensidade e os valores das magnitudes ( $m$ ) consultadas no catálogo do SIMBAD.

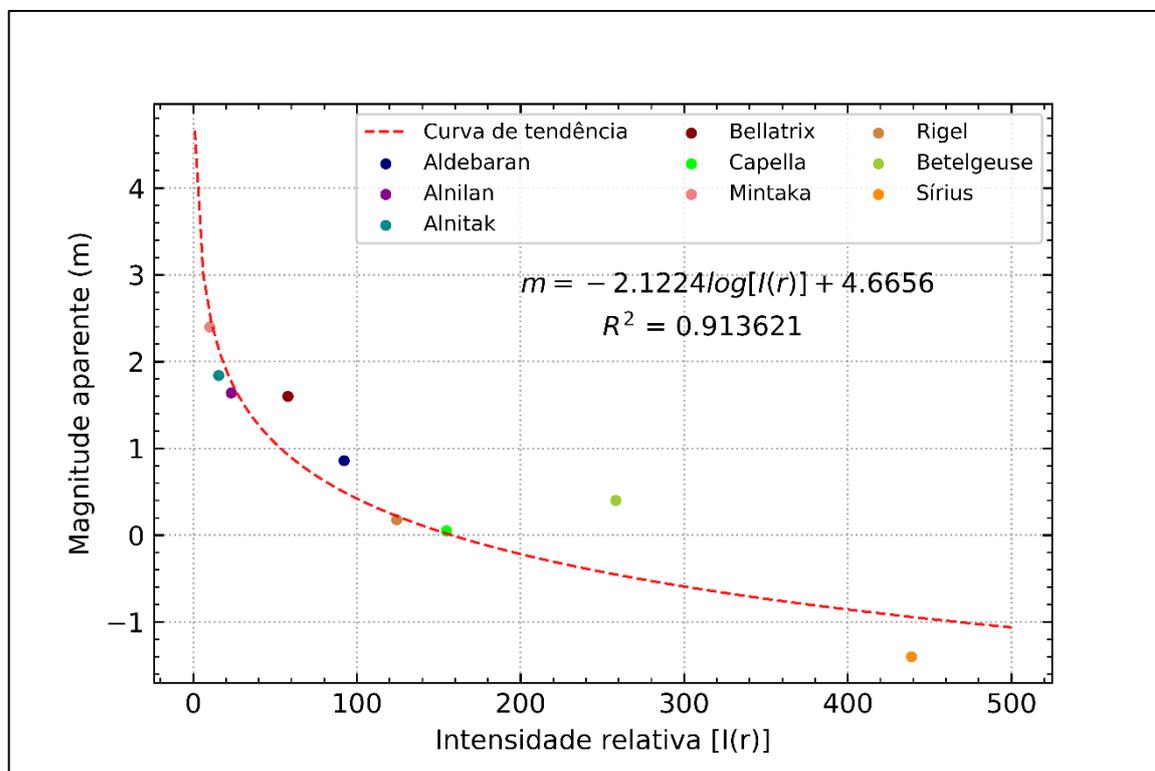
Tabela 1 – Dados das intensidades médias subtraindo o *Dark Current*.

Objetos	$\overline{I(r)}$	$Dp \pm$	$m$
Aldebaran	92,10	18,56	0,86
Alnilam	23,13	12,29	1,64
Alnitak	15,44	11,60	1,84
Bellatrix	57,75	14,81	1,60
Betelgeuse	258,22	41,10	0,40
Capella	154,65	18,46	0,05
Mintaka	10,06	9,18	2,40
Rigel	124,28	124,88	0,18
Sírius	438,88	84,44	-1,4
Dark Current	-	-	-

Fonte: Elaborado Pelos Autores (2020).

O Gráfico 4, apresenta a curva de magnitude aparente consultadas no SIMBAD versus intensidade  $I(r)$  medida por nosso equipamento.

**Gráfico 4 – Correlação Entre Magnitude Aparente e Intensidade Relativa  $I(r)$ .**



Fonte: Elaborado Pelos Autores (2020).

Como os valores de Betelgeuse se mostraram muito discrepantes em relação a linha de tendência, seus dados foram descartados, e foi encontrada a função que melhor relaciona a intensidade e a magnitude aparente, que pode ser vista no Gráfico 4. Assim, foi calculado o desvio padrão dos valores das magnitudes geradas por nossa equação  $m[I(r)]$ , esses valores podem ser vistos na tabela 2.

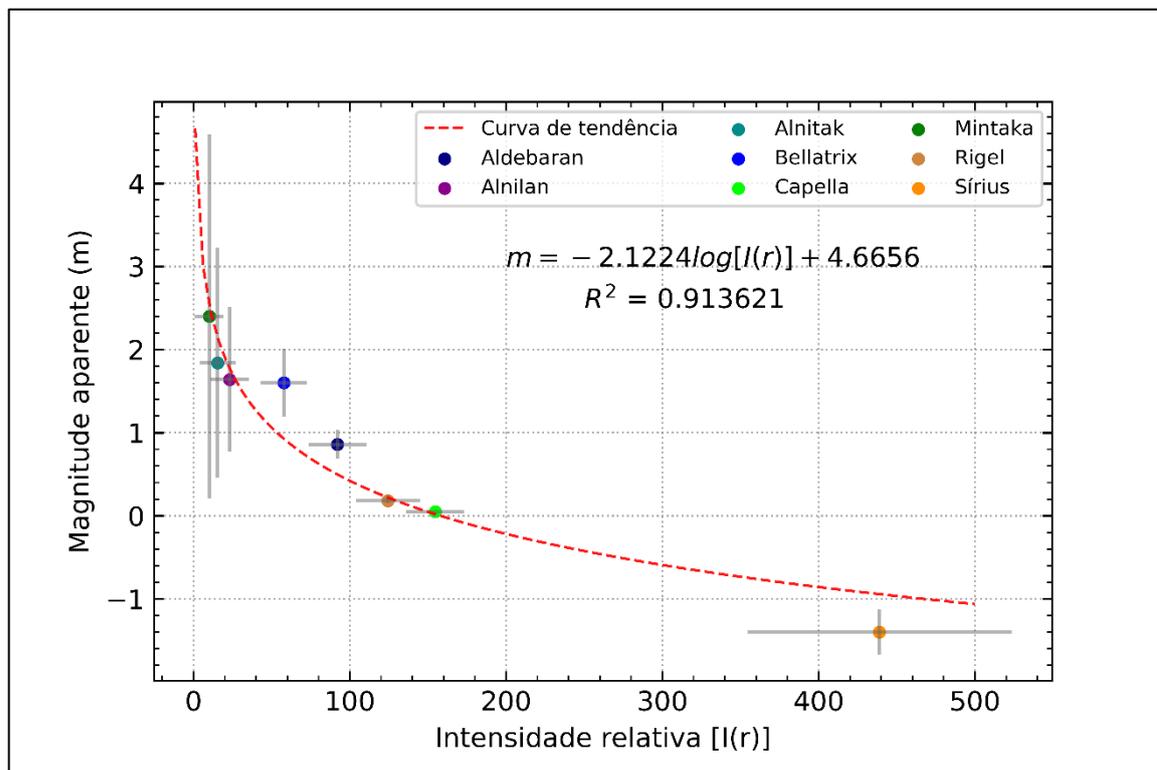
**Tabela 2 – Valores encontrados a partir da função de calibração.**

Objetos	$m[I(r)]$	$Dp \pm$
Aldebaran	0,51	0,18
Alnilam	1,79	0,66
Alnitak	2,01	0,90
Bellatrix	0,95	0,24
Capella	0,02	0,11
Mintaka	2,26	1,10
Rigel	0,23	1,14
Sírius	-0,92	0,21

Fonte: Elaborado Pelos Autores (2020).

No Gráfico 5 é possível visualizar através das barras de erro o desvio padrão das medidas de intensidade.

**Gráfico 5 – Correlação entre magnitude aparente e intensidade relativa  $I(r)$ .**



Fonte: Elaborado Pelos Autores (2020).

Apartir da regressão logaritmica, foi estimado que 91% dos pontos estão dentro da curva, não levando em consideração os desvios, o que apresenta um bom grau de precisão para a função encontrada, representada na Equação 10 a seguir. Inserindo essa equação no *software* desenvolvido foi possível medir a magnitude aparente de outros astros e avaliarmos a precisão do instrumento.

$$m = -2,1224 \log[I(r)] + 4,6656 \quad (10)$$

A equação encontrada assemelha-se com a Equação 9 já discutida no texto, apesar das grandezas que estamos medindo, a rigor, não serem valores de intensidade luminosa, mas sim uma intensidade relativa, ou seja existe uma relação entre o que medimos e a intensidade luminosa convencional. Com tudo, o formato da equação nos mostra um certo grau de concordância entre os resultados encontrados e os modelos convencionais.

Foi possível notar no gráfico 4 que o ponto referente a estrela Betelgeuse foi o ponto que mais se afastou da linha de tendência. Isso pode ser explicado através do índice de cor das estrelas. Estrelas de índice de cor (B-V) positivo como Beteugeuse,

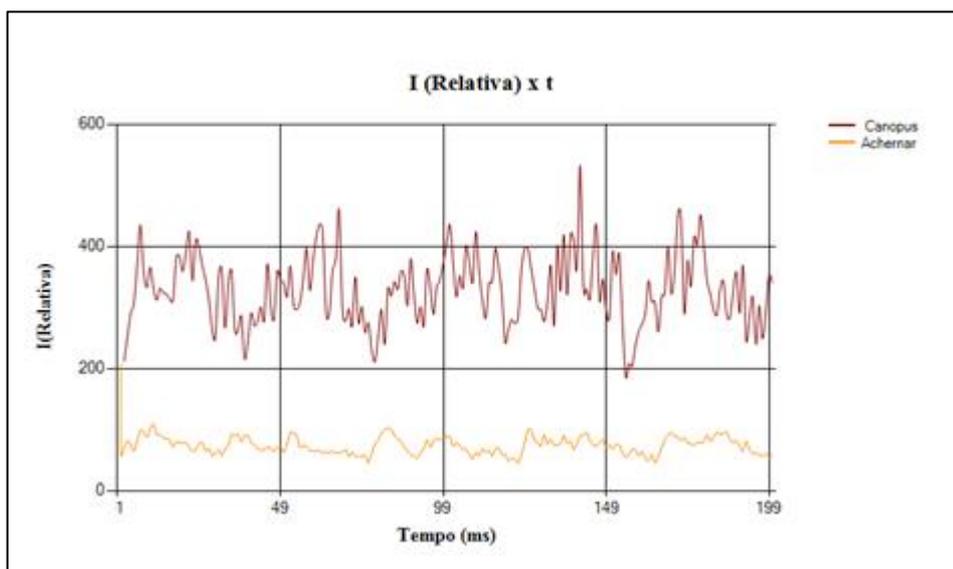
são estrelas mais avermelhadas, ou seja, emitem radiação luminosa em comprimentos de onda que tem maior transmitância é no filtro V. Já estrelas de índice de cor (B-V) negativo emitem radiação luminosa em comprimentos de onda na região do azul, como Rigel, por exemplo, e por isso sua maior transmitância é no filtro B. Como não utilizamos filtros no processo de coleta dos dados, acreditamos que o instrumento tenha maior sensibilidade em comprimentos de onda os quais Betelgeuse tem maior emissão. Como Aldebaran é uma estrela vermelha e também se afastou da curva, esse fato corrobora com a hipótese do equipamento ter maior sensibilidade em comprimentos de onda na região do vermelho ou até infravermelho, e por isso as medidas de intensidade de Betelgeuse alcançaram valores altos quando comparados com os outros astros.

Foi possível observar essa discrepância no gráfico 2, quando comparamos os valores de intensidade de Betelgeuse e Rigel, o valor das magnitudes de Betelgeuse e de Rigel são de 0,42 e 0,18 respectivamente, valores de magnitudes relativamente próximos. Quando calculada qual deveria ser a intensidade relativa de Betelgeuse a partir da equação 8, dada sua magnitude, obtemos um valor para  $\overline{I(r)}$  de 102,32, enquanto o valor médio da intensidade relativa medida de Rigel, que tem uma magnitude próxima a magnitude de Betelgeuse é de 124,28, ou seja, valores relativamente próximos e que estão em concordância. No entanto o valor da intensidade relativa média medida de Betelgeuse foi de 248,22, mais que o dobro de sua intensidade encontrada a partir da função de calibração.

#### **4.2. Medindo a Magnitude Aparente de Objetos Celestes**

Uma vez encontrada a função, a implementamos no código do *software* e refizemos todo procedimento de coleta de dados, tendo como amostra outros objetos celestes. Também foi implementado um comando que subtrai a média do valor do “*Dark Current*” obtido no dia da coleta dos dados. Tais medidas foram executadas no dia 14 de dezembro de 2020, os astros estudados foram, Achernar, Canopus, Fomalhaute e o planeta Marte. Nos gráficos 6 e 7 podemos visualizar as curvas de luz desses objetos.

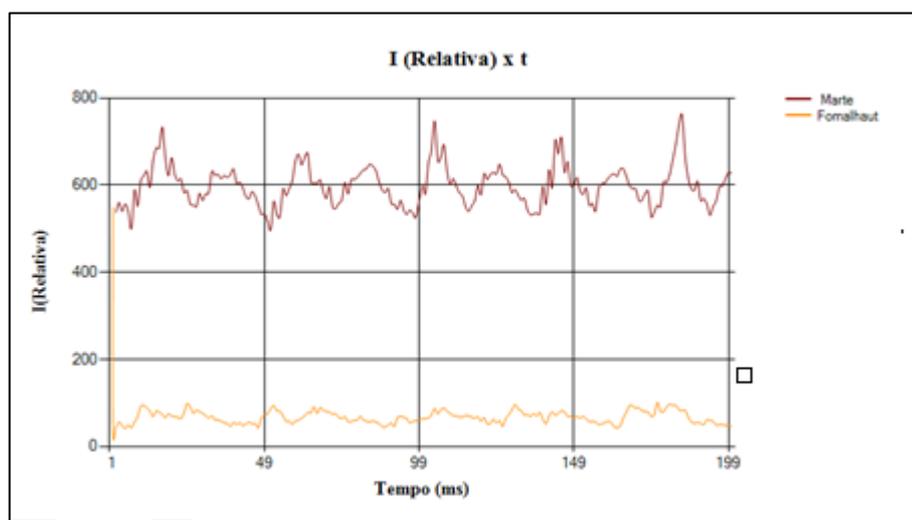
**Gráfico 6 – Curvas de luz de Canopus e Achernar.**



Fonte: Elaborado Pelos Autores (2020).

No gráfico acima, pode-se perceber que os valores de intensidade da estrela Canopus são muito superiores a os valores de Achernar, já que Canopus tem valor de magnitude negativa. Além disso como já mencionado, a inconstância nos valores de intensidade das estrelas se deve a variações atmosféricas e também a contrastes no processo de seguimento do astro excutado pelo telescópio.

**Gráfico 7 - Curvas de luz de Marte e Fomalhaut.**



Fonte: Elaborado Pelos Autores (2020)

As magnitudes obtidas foram comparados com as magnitudes dos astros no dia da coleta de dados, as magnitudes medidas e as magnitudes consultadas no SIMBAD, assim como os valores do desvio padrão das magnitudes encontradas podem ser vistos na tabela abaixo:

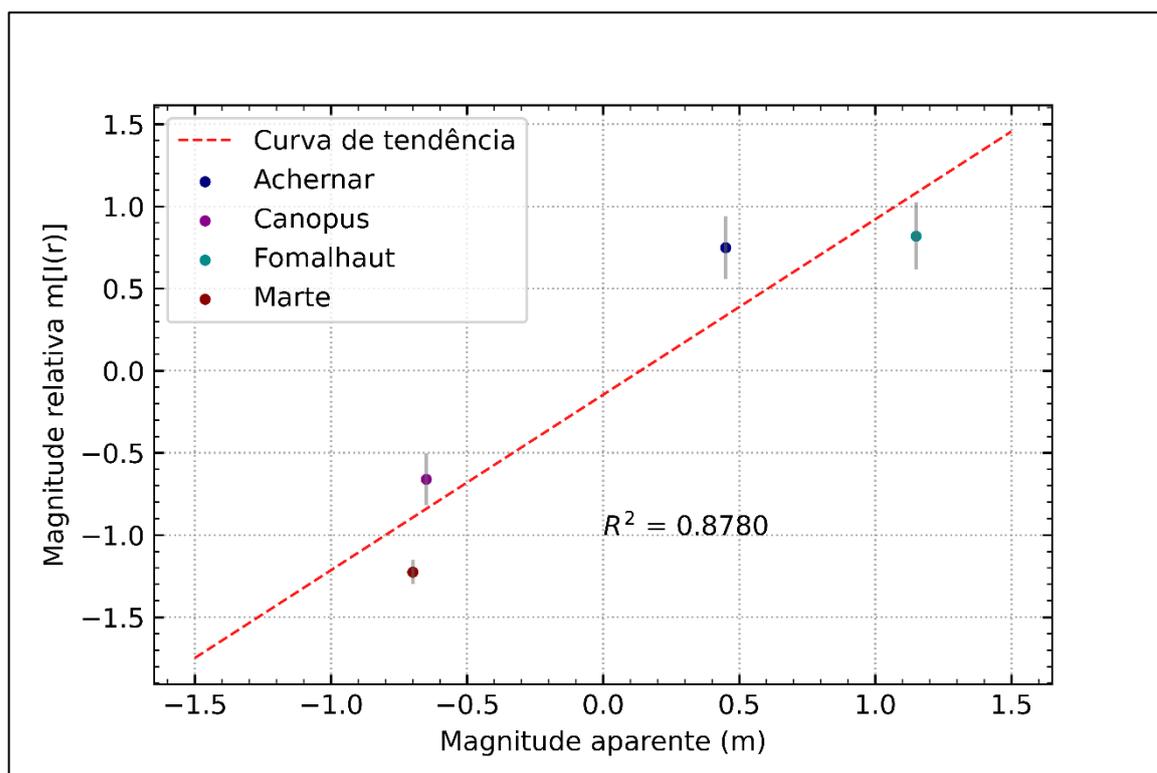
Tabela 3 - Valores encontrados.

Objetos	$m[I(r)]$	$Dp \pm$	$m$
Achernar	0,75	0,19	0,45
Canopus	-0,66	0,16	-0,65
Fomalhaut	0,82	0,20	1,15
Marte	-1,23	0,07	-0,70

Fonte: Elaborado Pelos Autores (2020).

Os resultados obtidos se aproximam dos dados consultados no SIMBAD, indicando um bom grau de precisão da equação encontrada. Podemos observar no gráfico 8 a relação entre os valores de magnitudes que obtivemos e os valores da magnitudes dos astros.

Gráfico 8 - Correlação entre os nossos resultados e as magnitude dos astros.



Fonte: Elaborado Pelos Autores (2020)

Foi possível observar que o planeta Marte foi o objeto que mais se afastou da linha de tendência, isso devido a flutuações da magnitude do planeta por este não

manter uma distância fixa com relação a Terra. Como o instrumento foi calibrado com base na magnitude de estrelas cujos valores não variam, a equação de calibração encontrada não se aplicada a análise de magnitudes de planetas.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos, podemos afirmar que o instrumento fotométrico desenvolvido é uma boa ferramenta para o estudo de magnitudes aparentes dos corpos celestes. Acreditamos que a precisão do equipamento pode ser elevada, se for efetuado outro processo de calibração utilizando mais dados amostrais e um sistema de filtros, que irá garantir que o instrumento tenha o mesmo grau de resposta para as intensidades luminosas das estrelas independente do comprimento de onda que emitem.

Como todo processo de coleta dos dados podem ser visualizados de forma gráfica em tempo real através do *software* desenvolvido, o equipamento além de ter uma aplicação experimental voltada a pesquisa aplicada à astronomia, também pode servir como ferramenta didática no ensino de Física e Astronomia.

Temos como pretensões futuras a implementação do sistema de filtros UVB, para que através das medidas de magnitude aparente possamos determinar o índice de cor do astro em estudo, e por consequência a sua temperatura.

## REFERÊNCIAS

AMÂNCIO, C.S.F. **Astronomia Uma Visão Geral do Universo**. 2 ed-São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo,2003.

**Banco de Dados Astronômico Simbad - CDS (ESTRASBURGO)**. Disponível em: <<http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>>. Acesso em: 09 Dezembro 2020.

GADOTTI.D. **Magnitudes, Cores e Populações Estelares**. Disponível em:<<http://www.sc.eso.org/~dgadotti/mscthesi/node11.html>>. Acesso em: 21 jan. 2020.

HETEM, J.G; AMÔRES, E. B; SHIDA, R. Y. **As Cores das Estrelas**. Disponível em:<<http://www.telescopiosnaescola.pro.br/coresdasestrelas.pdf>>. Acesso em:19 jan. 2021.

LEITE, I. J. M. **Experimento de Física Moderna para Determinação da constante de Planck Utilizando Arduino e Visual Basic: uma alternativa na formação e na prática docente**. 2018.180 p. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2018.

MARRANGHELLO, G. B; PAVNI, D. B. Usando a Câmera Fotográfica digital como ferramenta para Distinguir as Cores das Estrelas. **A Física na Escola**. São Paulo v.12, n.1, p.20-26, maio.2011 Disponível em:< <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/116449>>. Acesso em: 02 jan. 2020.

MOREIRA.KOHL. **Curso de astronomia observacional**. 2004.Disponível em: [http://staff.on.br/maia/AstrofObser\\_kohl.pdf](http://staff.on.br/maia/AstrofObser_kohl.pdf). Acesso em: 26 dez. 2020.

MUTLAQ.J. **Cores e Temperatura de estrelas.** 2010. Disponível em: <[https://docs.kde.org/trunk5/pt\\_BR/extragear-edu/kstars/ai-colorandtemp.html](https://docs.kde.org/trunk5/pt_BR/extragear-edu/kstars/ai-colorandtemp.html)>. Acesso em: 27 Janeiro 2021.

N.BRAGA. **Analisando a Velocidade de Resposta de um LDR – Uso do Telescópio no Laboratório da Escola – 3 (INS390).** Disponível em: <<https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/usando-os-instrumentos/12814-analisando-a-velocidade-de-resposta-de-um-ldr-uso-do-osciloscopio-no-laboratorio-da-escola-3-ins390>>. Acesso em: 05 dez. 2020.

N.BRAGA. **Diodos Semi Condutores.** Disponível em:<<https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/almanaque-tecnologico/7410-diodossemicondutores-alm296>>. Acesso:05 dez. 2020.

OLIVEIRA FILHO, KEPLER S. **Astronomia e Astrofísica.** Saraiva, 4 ed. – São Paulo: Livraria da Física, 2017.

RAMOS, G.L. **Determinação de Períodos de Pulsação Estelar Através da Entropia Condicional de Shannon.** Disponível em:<[https://imef.furg.br/images/stories/Monografias/Fisica\\_bacharelado/2016/Gabriel\\_tcc.pdf](https://imef.furg.br/images/stories/Monografias/Fisica_bacharelado/2016/Gabriel_tcc.pdf)>. Acesso em: 18 jan. 2021.

SAURIN, T. A. **Fotometria CCD UBVRI de Aglomerados de Estrelas das Nuvens de Magalhães.** 2006. 122.p. Dissertação (Programa de Pós Graduação em Física) – Universidade Federal de Santa Maria, 2006. Santa Maria. Disponível em:<<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/9181/TIAGOABREUSAURIN.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 05 dez. 2020.

VIANA, S.M.O. **Estrelas Variáveis.**2001.109. p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Astronomia) – Faculdade de ciências da Universidade do Porto, 2001. Disponível em: <[https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/10069/3/3885\\_TM\\_01\\_P.pdf](https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/10069/3/3885_TM_01_P.pdf)>. Acesso em: 02 dez. 2020.

WENDLING.M. **Sensores.** São Paulo: Universidade Estadual Paulista, 2010. Disponível em: <<https://www.feg.unesp.br/Home/PaginasPessoais/ProfMarceloWendling/4---sensores-v2.0.pdf>>. Acesso: 05 dez. 2020.