



COORDENADORIA DE ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO

CAINÃ ANTUNES SILVA

JAIR RODRIGO DE GOES BRISOLA

SISTEMA DE ORIENTAÇÃO MOTORIZADO PARA TELESCÓPIOS

Sorocaba/SP

2020

Cainã Antunes Silva
Jair Rodrigo de Goes Brisola

SISTEMA DE ORIENTAÇÃO MOTORIZADO PARA TELESCÓPIOS

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao Centro Universitário Facens como
exigência parcial para obtenção do diploma
de graduação em Engenharia da Computação.
Orientador: Prof. Me. Johannes Von
Lochter

Sorocaba/SP

2020

FICHA CATALOGRÁFICA

S586s

Silva, Cainã Antunes.

Sistema de orientação motorizado para telescópios / por Cainã Antunes Silva, Jair Rodrigo de Goes Brisola. – Sorocaba, SP: [s.n.], 2020.

57f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Centro Universitário Facens – Curso de Engenharia de Computação, 2020.
Orientador: Prof. Me. Johannes Von Lochter.

1. Alinhamento equatorial. 2. Motor de passo. 3. Astronomia.

I. Brisola, Jair Rodrigo de Goes. II. Centro Universitário Facens.

III. Título.

CDD 621.39

ELABORADA PELA “BIBLIOTECA FACENS”

Cainã Antunes Silva
Jair Rodrigo de Goes Brisola

SISTEMA DE ORIENTAÇÃO MOTORIZADO PARA TELESCÓPIOS

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao Centro Universitário Facens como
exigência parcial para obtenção do diploma
de graduação em Engenharia da Computação.
Orientador: Prof. Me. Johannes Von Lochter

Sorocaba, 27 de Novembro de 2020

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Antonio Gentil Ferraz Junior

Prof. Me. Johannes Von Lochter

Prof. Me. Sidney José Montebeller

“Se eu fosse esperar que as
pessoas fizessem minhas
ferramentas e tudo o mais para mim,
eu nunca teria feito nada”.

Isaac Newton

RESUMO

Desde a antiguidade, os conhecimentos advindos da astronomia têm moldado o comportamento da humanidade e entender o funcionamento do universo sempre foi fundamental para a vida terrestre, influenciando, por exemplo, a agricultura, calendários, navegações, entre muitas outras atividades humanas. Muitas tecnologias foram desenvolvidas com base na observação astronômica, desde a orientação baseada em cartas celestes, durante as grandes navegações, até sofisticados sistemas de GPS, previsão climática e meios de comunicação utilizados atualmente. Nesse contexto, os telescópios são instrumentos vitais à astronomia. Entretanto, um grande desafio para quem quer fazer observações astronômicas utilizando um telescópio é a localização de objetos específicos no céu noturno. Para tal, o telescópio deve ser alinhado a algum ponto de referência, o que irá depender do tipo de coordenada a ser utilizado. Este procedimento pode levar algumas horas para ser realizado. Em seguida, é necessário utilizar um sistema de coordenadas, altazimute ou equatorial, para localizar o objeto de estudo, o que não é fácil, visto que com o movimento da Terra os astros mudam constantemente de posição no céu. Assim, perde-se muito tempo com os ajustes, tempo precioso que poderia ser utilizado com observações, a situação piora quando se deseja realizar uma observação em campo, embora fugir da poluição luminosa dos grandes centros urbanos seja indispensável, o tempo de montagem e desmontagem do telescópio pode tornar a atividade impraticável. O objetivo do sistema de orientação motorizado para telescópios é reduzir o tempo necessário para alinhar e encontrar objetos no céu. Utilizando um sistema microcontrolado, as coordenadas são recebidas através do *software* Stellarium, e então dois motores de passo irão realizar as movimentações necessárias. Este sistema já existe no mercado externo, porém as taxas de importação inviabilizam sua compra. O presente trabalho visa a redução do tempo para localização de objetos no céu, com precisão aceitável, e a compensação do movimento de rotação terrestre, evitando que o alvo saia do campo de visão da lente objetiva, além de ser um recurso indispensável para a astrofotografia, de forma que todo o sistema possua um custo acessível.

Palavras-Chave: Alinhamento equatorial; Motor de passo; Astronomia.

ABSTRACT

Since ancient times, the knowledge derived from astronomy has shaped the behavior of humans, and to sense the functioning of the universe has always been fundamental to terrestrial life, influencing, for example, agriculture, calendars, navigation, among many other human activities. Many technologies were developed based on astronomical observation, from orientation based on celestial charts, during the great navigations, to sophisticated GPS systems, climate forecasting, and means of communication used today. In this context, telescopes are vital instruments for astronomy. However, a major challenge for those who want to do astronomical analysis using a telescope is the location of specific objects in the night sky. To do this, the telescope must be aligned with a reference point, which will depend on the type of coordinate to be used, and this procedure may take a few hours to complete. Then, it is necessary to use a coordinate system, altazimuth or equatorial, to locate the object of study, a process that is not easy, since the movement of the Earth and the stars are in constant change. Thus, a lot of time is expended with the adjustments, and the situation worsens when it is desired to carry out an observation in the field, also with the time of assembly and disassembly of the telescope can make the activity impractical, although escaping from the light of large urban centers is essential. Therefore, the purpose of the motorized guidance system for telescopes is to reduce the time needed to align and find objects in the sky. By using a microcontrolled system, the coordinates are received through the software Stellarium, and then two motion motors will perform the necessary movements. This system already exists in the foreign market, however import taxes make its purchase unfeasible. The present work aims to reduce the time to locate objects in the sky, with acceptable criteria, and to compensate for the terrestrial rotation movement, preventing the target from leaving the field of view of the objective lens, which is an indispensable resource for astrophotography and consequently offering a whole system with an affordable cost.

Key-words: Equatorial alignment; Stepper motor; Astronomy.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Esfera Celeste.....	19
Figura 2: Declinação Magnética.....	20
Figura 3: Sistema de coordenadas Horizontais.....	22
Figura 4: Coordenadas horizontais e localização do observador.....	23
Figura 5: Sistema de coordenadas equatoriais.....	25
Figura 6: Esquema óptico do telescópio refrator.....	26
Figura 7: Esquema óptico do telescópio Newtoniano.....	26
Figura 8: Telescópio refrator com montagem alto-azimutal.....	27
Figura 9: Telescópio refletor com montagem equatorial.....	28
Figura 10: Interface do <i>software</i> Stellarium.....	30
Figura 11: Microcontrolador PIC18F4550.....	32
Figura 12: Bateria estacionária de chumbo e carregador.....	34
Figura 13: Módulo <i>bluetooth</i> HC-05.....	36
Figura 14: Teclado matricial 4x3.....	37
Figura 15: Display LCD 16x2.....	38
Figura 16: Motor de passo.....	39
Figura 17: Drive DRV8825.....	40
Figura 18: Simulação do microcontrolador PIC18F4550.....	41
Figura 19: Diagrama de blocos.....	42
Figura 20: Alimentação e circuito regulador de tensão.....	43
Figura 21: Conexões do módulo HC-05.....	43
Figura 22: Interface Homem-Máquina.....	45
Figura 23: Drivers DRV8825 e motores de passo.....	46
Figura 24: Esquema eletrônico completo.....	46
Figura 25: Protótipo físico em funcionamento.....	47
Figura 26: Navegação entre as funções do sistema.....	48
Figura 27: Comunicação com o Stellarium.....	49

LISTA DE SIGLAS

IBM	International Business Machines
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
PC	Personal Computer
PNC	Polo Norte Celeste
PNG	Polo Norte Geográfico
PSC	Polo Sul Celeste
PSG	Polo Sul Geográfico
SIG	Special Interest Group
USB	Universal Serial Bus
USB-IF	USB Implementers Forum
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso

LISTA DE SIMBOLOS

A	Azimute
h	Altura
N	Norte
S	Sul
α	Ascensão reta
δ	Declinação
γ	Ponto Vernal
M	Polo Magnético
G	Polo Geográfico

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação dos dispositivos <i>bluetooth</i>	35
Tabela 2: Orçamento do projeto.....	50
Tabela 3: Comparação do orçamento entre montagens.....	50
Tabela 4: Comparação dos catálogos celestes entre montagens.....	51

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	18
2.1	Coordenadas Celestes.....	18
2.1.1	Esfera Celeste.....	18
2.1.2	Declinação magnética.....	19
2.1.3	Coordenadas Horizontais.....	21
2.1.4	Coordenadas Equatoriais.....	23
2.2	Telescópios.....	25
2.2.1	Montagens para telescópios.....	27
3	TECNOLOGIAS.....	29
3.1	<i>Software</i> Stellarium.....	29
3.1.1	Protocolo de comunicação LX200.....	30
3.2	Dispositivos eletrônicos.....	31
3.2.1	Microcontrolador.....	31
3.2.2	Fonte de alimentação.....	32
3.2.3	Módulo <i>bluetooth</i> HC-05.....	34
3.2.4	Teclado matricial.....	36
3.2.5	Display LCD.....	37
3.2.6	Motor de passo.....	38
3.2.7	Driver para motor de passo.....	40
4	DESENVOLVIMENTO.....	41
4.1	Microcontrolador PIC18F4550.....	41
4.2	Circuito de alimentação.....	42
4.3	Comunicação serial bluetooth.....	43
4.4	Interface homem máquina.....	44
4.5	Motores de passo.....	45

5	RESULTADOS.....	47
5.1	Custos, Vantagens e Desvantagens.....	49
5.2	Resolução e erro do sistema.....	51
5.2.1	Método Drift de alinhamento.....	52

1 INTRODUÇÃO

Observações astronômicas contribuem com o desenvolvimento de atividades e tecnologias humanas desde a antiguidade. As primeiras observações eram feitas a olho nu, que, embora limitadas, ainda sim permitiram grandes contribuições para a humanidade. Com o advento do telescópio astronômico, por Galileu, deu-se o fim da Astronomia Antiga. O telescópio permite uma observação mais detalhada do universo e isso possibilitou grandes avanços nas áreas da astrofísica, cosmologia, entre outras. Estes avanços, por sua vez, refletem diretamente sobre o comportamento da civilização nos dias atuais.

Entretanto, algumas características dos telescópios são fundamentais para entender a aplicação do presente trabalho. A ampliação de um telescópio, sem dúvidas, é uma das características fundamentais que permitiu ao homem uma observação mais detalhada do Cosmos, mas a luminosidade de um telescópio tem relevância igual ou até mesmo superior em algumas observações astronômicas. De acordo com Santiago Filho (2020), a luminosidade de um telescópio está relacionada a sua capacidade de absorção de luz. Esta característica influencia diretamente a observação de corpos celestes de baixa magnitude (que emitem ou refletem pouca luz) como nebulosas por exemplo. Uma forma de aumentar a luminosidade de um telescópio é utilizar uma técnica chamada astrofotografia, conforme Gnipper (2017) utiliza-se de longa exposição, onde o sensor de uma câmera fica exposto a uma imagem por um longo período, tem-se como resultado uma maior captação de luz.

Por fim, para que uma observação seja bem sucedida é fundamental uma montagem adequada. O termo montagem refere-se ao sistema de fixação e movimentação do telescópio. Este sistema deve ser robusto a fim de evitar tremulação na imagem e deve possibilitar a movimentação do tubo de imagem de forma que a lente objetiva do telescópio possa ser apontada para objetos no céu que estão mapeados em um sistema de coordenadas (equatorial ou altazimute. Esta movimentação requer uma série de procedimentos técnicos para o correto alinhamento. Telescópios com sistemas de orientação

motorizados, possuem circuitos eletrônicos microcontrolados que permitem a inserção de coordenadas e desta forma sua movimentação é automatizada por motores, eliminando os procedimentos citados anteriormente e economizando tempo. Além disso um sistema motorizado permite “compensar” o movimento de rotação da terra, assim, pode-se aumentar a luminosidade de um telescópio aplicando técnicas de astrofotografia com tempos de exposição mais longos sem que o resultado seja uma imagem borrada.

Os grandes telescópios montados em observatórios astronômicos possuem sistema de orientação motorizados, mas devido ao seu tamanho, esses telescópios são fixos e sua localidade não pode ser alterada. A falta de mobilidade é uma desvantagem visto que durante as últimas décadas é evidente um relevante crescimento dos grandes centros urbanos, gerando cada vez mais poluição luminosa, o que atrapalha a observação do céu noturno.

Devido ao exposto, viu-se a necessidade de desenvolver sistemas de montagens móveis para telescópios, assim, o observador pode evitar a poluição luminosa fugindo dos grandes centros urbanos. Mas o desenvolvimento deste tipo de sistema não é uma tarefa simples, é necessário pensar-se em todo o tipo de facilidade que se pode ter para a locomoção do equipamento que vai desde o peso para o transporte até a facilidade e tempo de montagem, porém sem que isso afete a qualidade da observação. Neste cenário, os sistemas motorizados são de grande importância, pois agilizam os processos de alinhamento do telescópio economizando um tempo que agora o observador não tem pois o gasta em locomoção.

Entretanto, montagens motorizadas móveis para telescópios possuem custos elevados no Brasil, isto ocorre devido ao fato de que o sistema deve ser construído de forma que favoreça o transporte, assim, deve-se levar em consideração o peso total da montagem, incluindo todo o sistema de motorização com microcontrolador, motores, bateria de alimentação e ainda sim o peso reduzido não deve comprometer a estabilidade da montagem, estas características desejadas já tendem a aumentar naturalmente o preço final do produto e além disso, não existem fabricantes nacionais de montagens motorizadas para telescópios, deste modo, soma-se a taxa de importação para estes equipamentos.

O objetivo principal do projeto é realizar um protótipo funcional de um sistema de orientação motorizado para telescópios de baixo custo, e, com isso, diminuir o tempo necessário para alinhar e encontrar objetos no céu de uma maneira acessível. Será construído através de um sistema microcontrolado. As coordenadas serão recebidas através de uma conexão *bluetooth* com o *software* Stellarium, que é um *software* livre de astronomia para visualização do céu. Com isso, dois motores de passo irão realizar as movimentações necessárias para apontar o telescópio para o objeto selecionado no Stellarium. Além disso, o sistema contará com um controle manual acoplado ao telescópio, assim, caso não seja possível estabelecer comunicação com o Stellarium por qualquer motivo, o operador ainda pode inserir as coordenadas manualmente.

O céu noturno do hemisfério Sul possui uma riqueza de objetos celestes observáveis que é invejável aos habitantes do hemisfério Norte, e ainda pode-se dizer-se que, embora existente a poluição luminosa na América do Sul é muito pequena quando comparada com poluição existente na América do Norte, contudo, o acesso aos recursos necessários para uma observação astronômica de qualidade no Brasil é muito escasso e caro. As contribuições de brasileiros nas diversas áreas da astronomia poderiam ser muito maiores se os mesmos tivessem um maior acesso a recursos. Sendo assim, o trabalho visa apresentar uma alternativa mais acessível à comunidade de astrônomos, amadores e entusiastas brasileiros.

Para a elaboração do projeto foram realizadas pesquisas sobre sistemas motorizados pré-existentes, o que possibilitou a realização de uma triagem de componentes para o desenvolvimento de um sistema com melhor custo-benefício. A criação de um protótipo ajudou a verificar o funcionamento dos componentes selecionados quando integrados para que a montagem definitiva pudesse ser realizada posteriormente. Ao final foram realizados testes de funcionamento e após a execução de ajustes foi possível detectar a precisão do projeto medida através do ângulo de desvio de alimento entre telescópio o alvo

Nos capítulos seguintes deste trabalho serão apresentados estudos relacionados aos tipos de coordenadas celestiais utilizadas em astronomia, tipos de telescópios e seus respectivos tipos de montagens. Será abordado então os componentes necessários para a construção de um sistema de

orientação motorizado para telescópios, suas características e como integrá-los. Por fim será apresentado os resultados obtidos após teste funcional do projeto.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Existem diversos tipos de telescópios, cada um com suas características construtivas e peculiares que podem influenciar em seu tamanho e versatilidade. O ponto em comum, entre a variedade de telescópios comercializados, é que todos precisam estar fixados à um sistema mecânico que possibilite a movimentação e alinhamento do instrumento aos objetos celestes, este sistema é comumente chamado de montagem. Além disso, a localização dos astros no céu se dá através de alguns sistemas de coordenadas. Neste capítulo serão abordados os sistemas de coordenadas existentes, bem como os principais tipos de telescópios e suas respectivas montagens.

2.1 Coordenadas Celestes

Para localizar astros no céu é necessário fazer se uso de sistemas de coordenadas esféricas, onde a posição de um astro é dada a partir de dois ângulos. Os sistemas de coordenadas celestes mais utilizados são: coordenadas horizontais e coordenadas equatoriais. O conhecimento destes sistemas é fundamental para a construção do presente projeto.

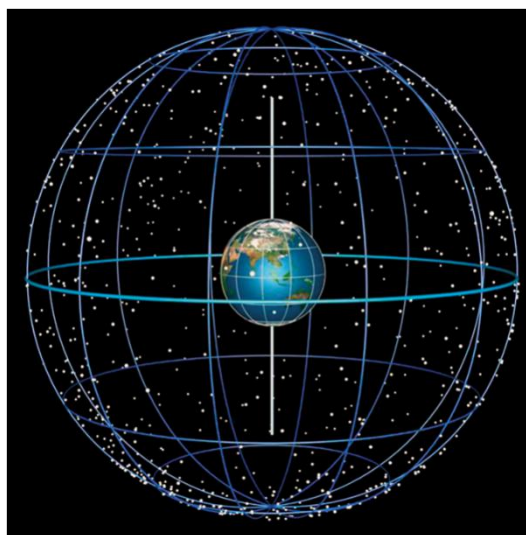
2.1.1 Esfera Celeste

Antes de introduzir os sistemas horizontal e equatorial de coordenadas, faz-se necessário estabelecer alguns conceitos elementares. Quando se aponta o dedo para alguma estrela, é escolhida uma direção no espaço. Todos os pontos situados ao longo da reta que, partindo do observador, passa pelo seu braço e atinge a estrela, estão na mesma direção no espaço. Mas a que distância está essa estrela? Para uma estrela "próxima", o tamanho do segmento de reta que une o observador a ela será menor do que no caso de uma estrela "distante". Uma mesma direção no espaço pode conter mais de uma estrela, situadas a diferentes distâncias (SANTIAGO; SALVIANO, 2005).

O fato é que as estrelas estão tão distantes, que se pode considerá-las a uma distância infinita. Portanto, em Astronomia de Posição preocupa-se apenas em caracterizar a direção na qual encontram-se os astros, sendo sua distância irrelevante. Essa conclusão permite definir então a esfera celeste. Trata-se de um conceito abstrato, mas muito importante: a esfera celeste nada mais é do que uma forma de atribuir uma forma material ao céu de um observador. A esfera celeste tem raio infinito e centro no observador. Mas como seu raio é infinito, qualquer observador situado sobre a superfície da Terra pode se considerar igualmente situado em seu centro. Qualquer objeto celeste (Sol, Lua, planetas, estrelas, o que for) em um dado instante está situado em um ponto da esfera celeste. Este ponto resulta do prolongamento *ad infinitum* da direção no espaço na qual vemos o objeto (SANTIAGO; SALVIANO, 2005).

Sendo assim, a esfera celeste é uma esfera imaginária na qual estão fixados os astros e que possui em seu centro a Terra, sendo que os centros do globo terrestre e da esfera celeste estão sobrepostos.

Figura 1: Esfera Celeste



¹Fonte: <http://infofisicaquimica.blogspot.com.html> Acesso em: 07 mai. 2020.

2.1.2 Declinação magnética

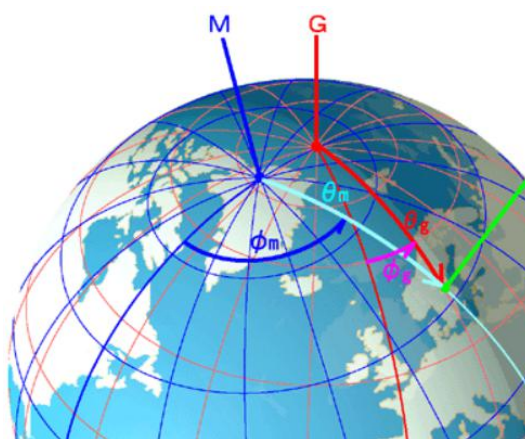
¹ Imagem retirada de: <http://infofisicaquimica.blogspot.com/2015/10/sintese-de-conteudos-7ano-2-orientacao.html>

Segundo Oliveira Filho e Saraiva (2019), as coordenadas geográficas não são iguais às magnéticas. O polo norte magnético é definido como o ponto onde o campo aponta na vertical. Entretanto, o campo geomagnético não é um simples dipolo, o que faz com que o polo magnético médio não seja igual ao polo geomagnético, e muda com o tempo devido a mudanças no núcleo da Terra.

De acordo com dados consultados em NOAA - *National Oceanic And Atmospheric Administration*, em 2019, o polo norte geomagnético está localizado em latitude 86,5 N e longitude 175,4 L (no Oceano Ártico) movendo-se em direção ao norte da Rússia, enquanto o polo sul geomagnético está localizado em latitude 64,1 S e longitude 135,9 L, na costa Sudeste da Antártica.

Por outro lado, os polos Norte e Sul geográficos são pontos no globo terrestre pertencentes a reta do eixo de rotação da Terra. Conforme observado na Figura 2, a diferença entre os polos magnético (M) e geográfico (G) da Terra é denominada Declinação Magnética.

Figura 2: Declinação Magnética



¹Fonte: <http://astro.if.ufrgs.br> Acesso em: 08 mai. 2020

Os sistemas de coordenadas descritos a seguir utilizam pontos cardeais como referência, e é importante frisar que tais pontos são baseados nos polos geográficos da Terra.

¹ Imagem retirada de: <http://astro.if.ufrgs.br/coord.htm>

2.1.3 Coordenadas Horizontais

Os sistemas de coordenadas horizontais utilizam dois valores para expressar a posição dos astros na esfera celeste, são eles o Azimute (A) e a altura (h).

O Azimute é uma medida angular que se dá sobre o plano do horizonte do observador, o mesmo plano que contém os pontos cardeais Norte, Sul, Leste e Oeste. Este plano divide a esfera celeste ao meio, sendo que a metade superior compõe a parte visível do céu e a metade inferior que fica abaixo do horizonte compõe a porção não observável da esfera celeste. A medida do Azimute tem origem no ponto cardinal Norte (N) do plano do horizonte e extremidade no meridiano do objeto observado no sentido horário, ou seja, Norte, Leste, Sul e Oeste, assim o ângulo do azimute está no seguinte domínio: $0^\circ \leq A \leq 360^\circ$.

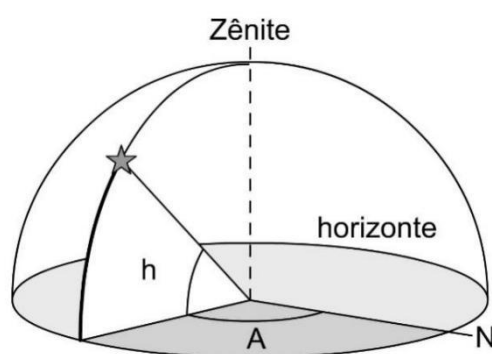
O Zênite é o ponto da esfera celeste que fica acima da cabeça do observador em uma reta perpendicular ao plano do horizonte, e que passa pelo observado e vai em direção a *ad infinitum*, do lado oposto ao zênite, na porção não observável da esfera temos o ponto Nadir.

Segundo Santiago e Salviano (2005), “o plano que contém tanto os pontos cardeais N e S quanto o zênite Z é o Plano Meridiano, cuja intersecção com a Esfera Celeste define o Meridiano Astronômico do observador”.

Por fim, a altura é um ângulo, medido sobre o meridiano do astro, com origem no horizonte e extremidade no astro. Definida dessa forma, a altura varia de $0^\circ \leq h \leq 90^\circ$ para os astros que estão acima do horizonte e de $0^\circ \geq h \geq -90^\circ$ para astros abaixo do horizonte (JUSTINIANO; BOTELHO, 2016).

A Figura 3 ilustra a obtenção dos valores de azimute e altura de um sistema de coordenadas horizontais na metade observável da esfera celeste.

Figura 3: Sistema de coordenadas Horizontais



¹Fonte: <https://daed.on.br>. Acesso em: 08 mai. 2020

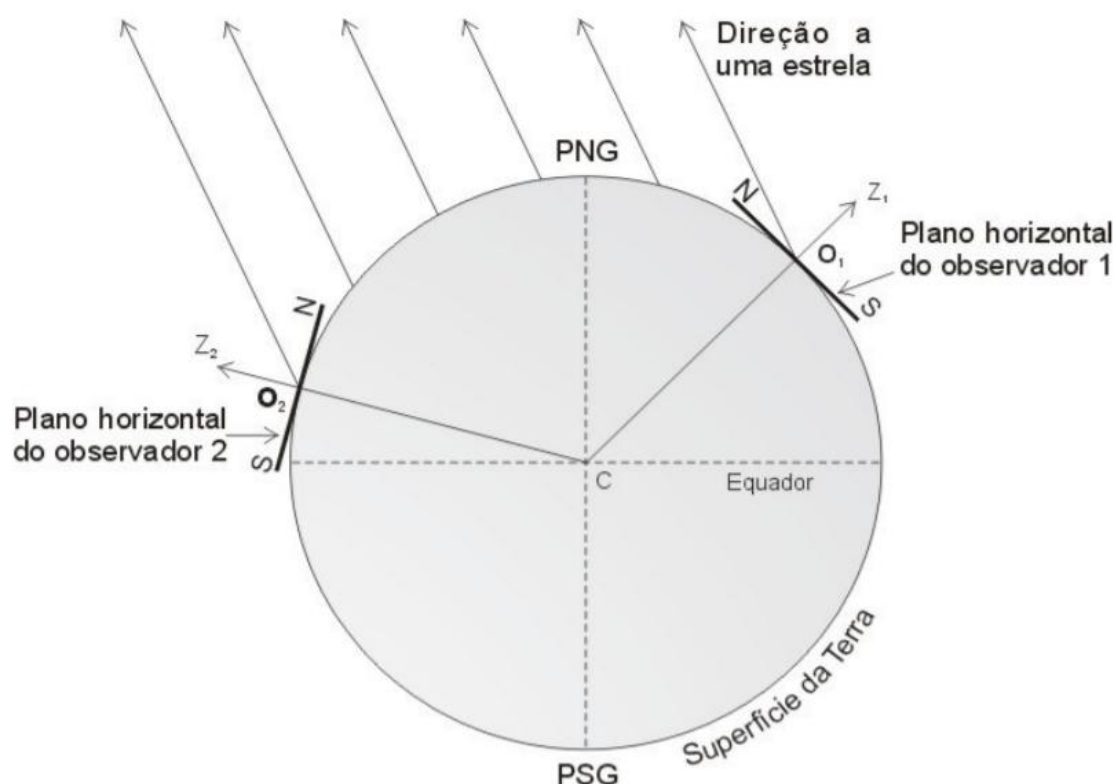
É importante observar que neste sistema de coordenadas os astros mudam constantemente de posição no céu devido ao movimento de rotação da terra, sendo assim, os valores de A e h variam com a passagem do tempo.

Outra variável que influencia nas coordenadas horizontais é a localização do observador no globo terrestre. Pelo fato de o tamanho da Terra ser desprezível para as observações astronômicas, a direção do astro observado sempre será a mesma, mas o zênite do observador depende claramente de sua localização na terra. A figura a seguir ilustra esta situação mostrando dois observadores em um mesmo meridiano terrestre, porém em pontos diferentes, a direção de uma estrela na esfera celeste é a mesma, porém o zênite de cada observador é diferente (SANTIAGO; SALVIANO, 2005).

Como consequência a coordenada h do observador 1 será diferente do observador 2, conforme observado na Figura 4.

¹ Imagem retirada de: <https://daed.on.br/astro/coordenadas-horizontais>

Figura 4: Coordenadas horizontais e localização do observador



¹Fonte: <https://www.if.ufrgs.br>. Acesso em: 07 mai. 2020

2.1.4 Coordenadas Equatoriais

Diferentemente do sistema horizontal, os astros na esfera celeste possuem posições fixas no sistema de coordenadas equatoriais, independentemente do tempo e da posição do observador na Terra. Portanto, o sistema de coordenadas equatoriais é ideal para a uma navegação astronômica universal.

Neste sistema, a intersecção do plano que contém o equador terrestre com a esfera celeste gera um círculo denominado equador celeste. Este plano servirá como referência para o sistema de coordenadas equatoriais assim como o plano do horizonte do observado no sistema de coordenadas horizontais. A partir deste plano podemos definir a declinação (δ) do objeto observado, sendo que $0^\circ \leq \delta \leq 90^\circ$ para posições ao norte do equador celeste e

¹ Imagem retirada de: https://www.if.ufrgs.br/oei/santiago/fis2005/livro_v1.pdf

$0^\circ \geq \delta \geq -90^\circ$ para posições ao Sul do equador celeste (JUSTINIANO et al., 2017).

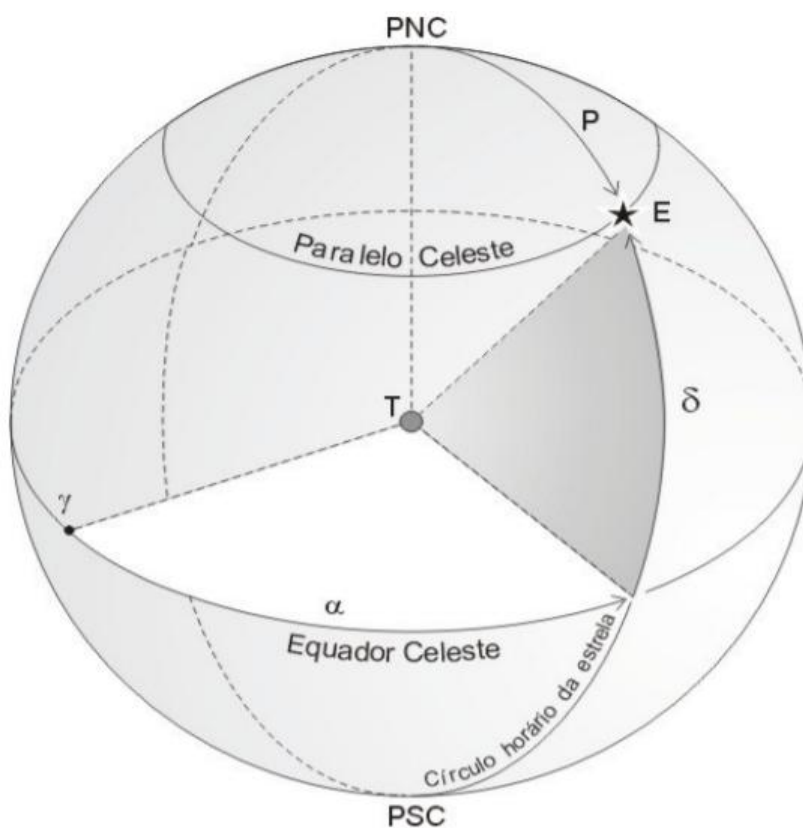
Para a segunda coordenada deste sistema, é necessário que haja um ponto de referência sobre o equador celeste. Por convenção, foi definido que este referencial seria o ponto vernal (γ), que é o momento em que Sol, movendo-se sobre a ¹eclíptica, cruza o equador celeste vindo do Sul (equinócio de outono para o hemisfério Sul) (TOUS, 1996).

Segundo Justiniano et al. (2017), “a ascensão reta (α) é um ângulo, medido sobre o equador celeste, com origem no ponto gama e extremidade no meridiano do astro”. O valor da ascensão reta cresce a partir de γ no sentido anti-horário (Leste) e seu domínio está entre $0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$. Também pode-se encontrar sistemas onde α tem seu domínio expresso por $0h \leq \alpha \leq 24h$, neste caso a cada 1h o deslocamento é de 15° e o céu pode ser considerado como um grande relógio onde os astros têm o papel dos ponteiros.

Na Figura 5 é possível ver a obtenção dos valores de α e δ no sistema de coordenadas equatoriais:

¹ “Eclíptica é um grande círculo no céu percorrido pelo Sol ao longo de um ano” (SANTIAGO; SALVIANO, 2005)

Figura 5: Sistema de coordenadas equatoriais



¹Fonte: <https://www.if.ufrgs.br>. Acesso em: 08 mai. 2020

2.2 Telescópios

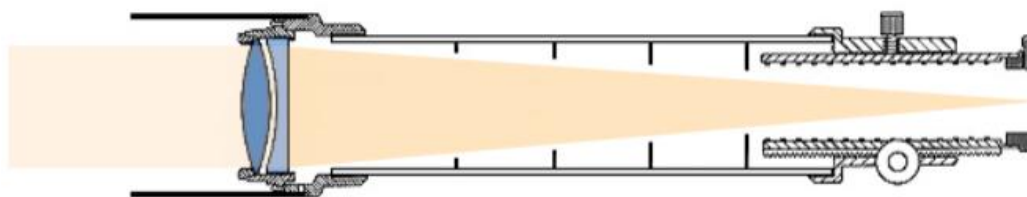
Até 1609 todas as observações astronômicas eram feitas a olho nu. Foi nesse ano que Galileu Galilei construiu uma luneta, e pela primeira vez, o homem pode ver o céu de mais perto (FORÇA et al., 2007).

Atualmente os telescópios podem ser construídos de diversas formas diferentes, para este projeto o tipo de telescópio utilizado não possui grande relevância, sendo assim, as configurações dos telescópios mais utilizados serão abordadas brevemente a seguir:

Telescópio refrator (galileano/kepleriano): É um telescópio constituído apenas por lentes e baseia-se nos fenômenos da refração da luz. Conta com uma lente convergente, no tubo, que encaminha a luz diretamente para a ocular como pode ser observado na Figura 6 (FORÇA et al., 2007).

¹ Imagem retirada de: https://www.if.ufrgs.br/oei/santiago/fis2005/livro_v1.pdf

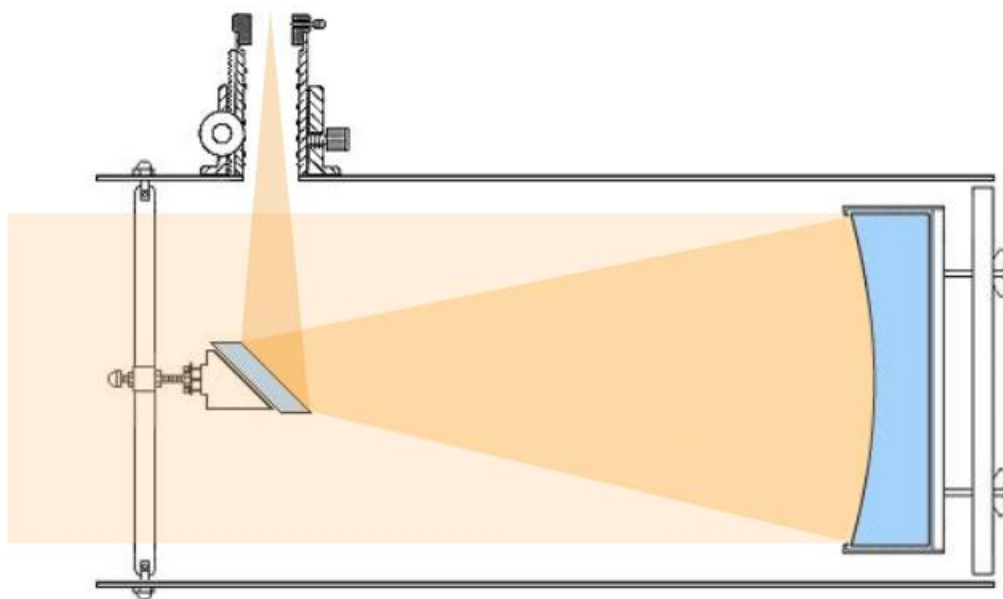
Figura 6: Esquema óptico do telescópio refrator.



¹Fonte: <https://www.telescopiosastronomicos.com.br> Acesso em: 12 mai. 2020

Telescópio refletor (newtoniano): É um telescópio constituído por espelhos e baseia-se nos fenômenos da reflexão da luz. Conta com um espelho primário grande e côncavo, no fundo do tubo, que recebe a luz do objeto e a reflete convergindo-a para um espelho secundário plano e diagonal, na parte superior do tubo, que a desvia para a ocular como observado na Figura 7 (FORÇA et al., 2007).

Figura 7: Esquema óptico do telescópio Newtoniano.



²Fonte: <https://www.telescopiosastronomicos.com.br> Acesso em: 12 mai. 2020

Telescópio catadióptrico (composto): Este telescópio já combina lentes como espelhos. Existem essencialmente dois modelos: os Schmidt-

¹ Imagem retirada de: <https://www.telescopiosastronomicos.com.br/refratores.html>

² Imagem retirada de: <https://www.telescopiosastronomicos.com.br/refletores.html>

Cassegrain e os Maksutov-Cassegrain. São telescópios mais versáteis, mas também mais caros (FORÇA et al., 2007).

Além da configuração óptica, outro aspecto com maior relevância para o projeto é a configuração de montagem do telescópio que será abordada a seguir.

2.2.1 Montagens para telescópios

O termo montagem refere-se ao conjunto mecânico que confere sustentação e movimentação ao telescópio. Uma montagem adequada deve ser robusta a fim de evitar tremulações durante as observações. Com relação a movimentação existem os seguintes tipos de montagens:

Montagem Alto-azimutal: montagem mais simples composta por dois eixos que permitem a movimentação do telescópio sobre as coordenadas azimute e altura. Geralmente em telescópios de pequeno porte, o eixo do azimute possui movimentação livre e o eixo da altura é acompanhado de uma haste com um fuso para ajuste fino.

Figura 8: Telescópio refrator com montagem alto-azimutal



¹Fonte: Adaptado de: <https://www.arqueria.com.br>. Acesso em: 10 mai. 2020

¹ Imagem retirada de: <https://www.arqueria.com.br/opticos/telescopios/telescopio-70mm-skylife-vega-az2-edicao-especial-cd-rom>

Montagem Equatorial: esta montagem possui dois eixos para movimentação do telescópio sobre as coordenadas ascensão reta e declinação, ambos são movidos por fusos (maior precisão), cada eixo também possui uma escala em sua base para verificação de sua posição angular. A montagem equatorial possui ainda um terceiro eixo que deve ser alinhado com o Polo celeste visível na região do observador. Este eixo adicional faz com que seja mais fácil “seguir” a trajetória de um astro no céu, para isso deve-se fixar o eixo da declinação na posição do astro e então é possível acompanhá-lo movendo apenas o eixo da ascensão reta.

Figura 9: Telescópio refletor com montagem equatorial



¹ Fonte: Adaptado de: <https://produto.mercadolivre.com.br>. Acesso em: 10 mai. 2020

¹ Imagem retirada de: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1443331616-telescopio-newtoniano-equatorial-1000x114mm-greika-com-tripe-JM?matt_tool=89244470&matt_word&gclid=CjwKCAjwkun1BRAIEiwA2mJRWfekXbFWtxCpqUQ0kR_ZdJd2SORdSkPL0cUYM5odfcAkLYJg68E8zhoCBnAQAvD_BwE&quantity=1&variation=51027035058

3 TECNOLOGIAS

Para a construção do projeto será necessário utilizar uma série de ferramentas de automação associadas à um sistema de navegação para coordenadas celestes. A automação do sistema contará com um sistema microcontrolado, interface homem-máquina e motores de passo como atuadores e a navegação será realizada pelo *software* Stellarium. Neste capítulo, todas as tecnologias implementadas no trabalho serão explanadas, esta etapa garante conhecimento suficiente para o domínio e manipulação de cada componente que irá compor o protótipo final.

3.1 *Software* Stellarium

O *software* Stellarium é um observatório virtual de código aberto que permite a visualização de astros no céu com enorme precisão. O *software* captura as informações do usuário, como a localização e a hora local para calcular com precisão a posição de cada astro no céu, permitindo que o usuário utilize o Stellarium como mapa celeste para observações astronômicas. Possui uma coleção de vários catálogos estelares tornando-se um *software* completo que dá suporte tanto a astrônomos amadores como para os mais experientes, além de ser amplamente usado como material didático em planetários e em sala de aula.

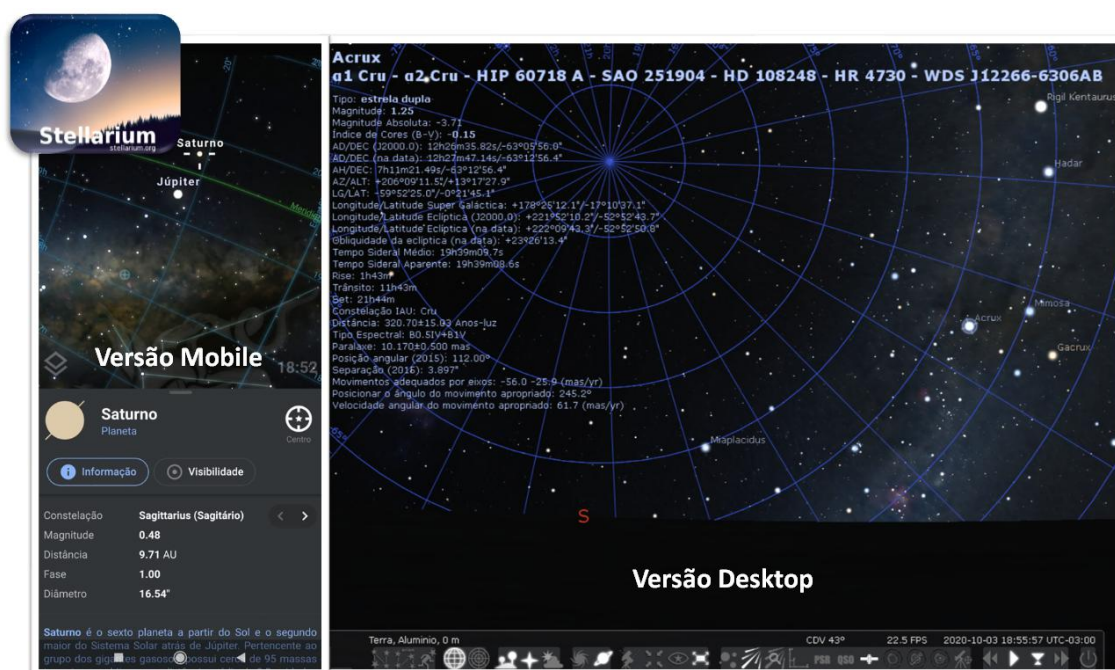
Ao selecionar um objeto na esfera celeste virtual, o Stellarium fornece uma série de dados de tal objeto como: nome do objeto, a qual catálogo pertence, tipo de astro, magnitude, ascensão reta, declinação, azimute, altura entre outras.

Além disso este *software* possui inúmeras funções que permitem fazer simulações de movimento de astros, eclipses, chuva de meteoros, e também simular a atmosfera terrestre e seus efeitos na observação astronômica.

A escolha deste *software* para o presente projeto se deu pelo fato de que, além de possuir todas as funções mencionadas anteriormente, há ainda a função de controle de telescópio, que envia as coordenadas horizontais e/ou

equatoriais para o circuito de controle de posicionamento do telescópio através de uma comunicação serial. Desta forma, é possível gerar um sistema rápido de navegação entre objetos no céu. A comunicação serial do Stellarium pode ser realizada através do *bluetooth* (versão mobile) e suporta diversos protocolos de comunicação. O protocolo utilizado neste projeto é o LX200 da Meade Telescope e será abordado a seguir.

Figura 10: Interface do *software* Stellarium.



Fonte: Elaborada pelo autor.

3.1.1 Protocolo de comunicação LX200

O protocolo de comunicação LX200 é utilizado em telescópios da marca Meade, empresa multinacional americana com sede em Irvine, Califórnia, que fabrica telescópios com sistema de navegação motorizado já embutido entre outros produtos. A empresa disponibiliza a documentação deste protocolo em seu site.

Visto que o *software* Stellarium também implementa o protocolo LX200, foi decidido que este seria utilizado no sistema de orientação motorizado para telescópios no presente projeto.

A função do protocolo é estabelecer uma comunicação entre o controlador do telescópio e o *software* de navegação. Assim, é possível enviar comandos como “*go to*” a partir do Stellarium, assim como as coordenadas de um objeto no céu para o controlador do telescópio. Este recebe e processa essas informações, realiza as movimentações necessárias e retorna à posição atualizada do telescópio ao Stellarium. Como foi explicado anteriormente, os objetos movimentam-se no céu com o passar do tempo, por isso, a troca de informações e dados entre telescópio e *software* é constante e assim é possível fazer com que o telescópio “siga” o astro enquanto ele se move pelo céu.

3.2 Dispositivos eletrônicos

Para a montagem do sistema de orientação foi necessário eleger uma série de componentes eletroeletrônicos que serão apresentados a seguir.

3.2.1 Microcontrolador

O microcontrolador é a peça central para este projeto, tendo como função a coordenação de todo o sistema eletrônico, como o controle dos motores de movimentação dos eixos do telescópio, funcionamento da interface homem-máquina (controle de mão) e comunicação serial entre o circuito e o *software* Stellarium. Para tanto, foi escolhido o microcontrolador PIC18F4550. Este dispositivo possui uma série de características que serão abordadas a seguir, e que tornou-as atrativo para sua aplicação no presente trabalho.

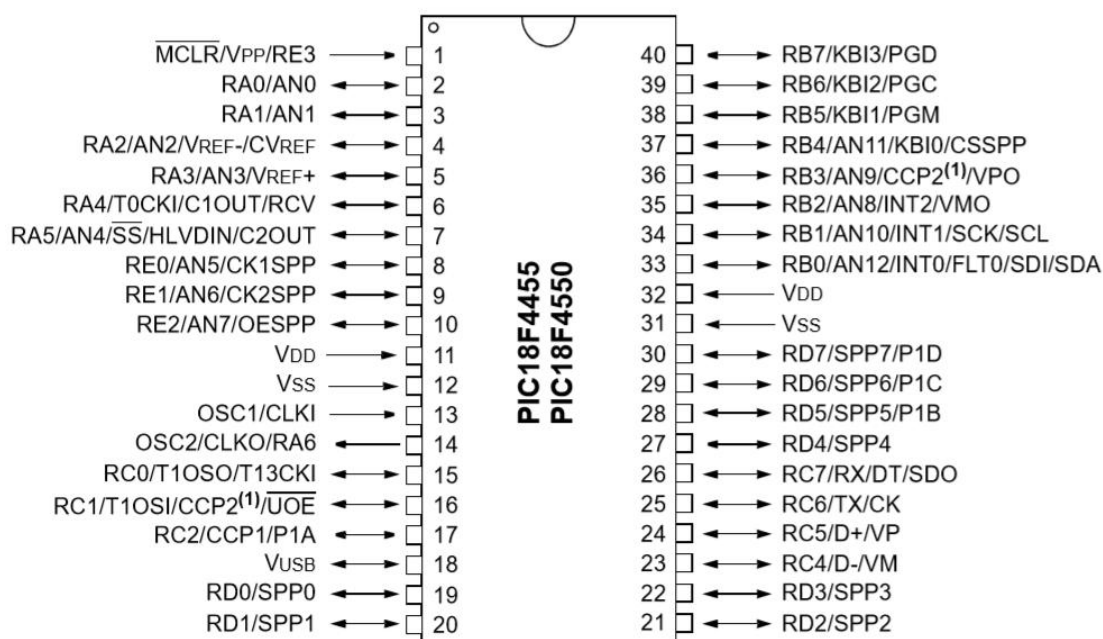
Os microcontroladores da família PIC18, são componentes que combinam alto desempenho computacional e preços econômicos, ainda apresentam melhorias adicionais com relação aos seus antecessores, como alta resistência e memória de programa Flash melhorada. Com design melhorado, o microcontrolador PIC18F4550 torna-se uma ótima escolha para a maiorias das aplicações de alta performance.

Com uma frequência de operação de 48MHz, este componente possui 32KB de memória de programa, 2KB de memória de dados, 256 bytes de memória não volátil (EEPROM), 20 fontes de interrupção, 5 ports de I/O's (total

de 40 pinos de entrada/saída), 4 *Timers*, 1 módulo PWM, comunicação serial USART melhorada e 13 canais de entrada para conversor analógico/digital de 10 bits, de forma que as características citadas suprem com folga as necessidades do projeto.

A figura 10 mostra os pinos do microcontrolador PIC18F4550 e suas respectivas funções.

Figura 11: Microcontrolador PIC18F4550.



Fonte: Datasheet Microchip microcontroladores família PIC18.

3.2.2 Fonte de alimentação

Visando a mobilidade, foi definido que o sistema de alimentação principal seria composto por uma bateria de 12v. Este componente irá fornecer energia tanto para os motores de passo (ligação direta ao driver), quanto para o sistema de controle (circuito regulador de tensão).

Para determinar a capacidade da bateria, foram realizados cálculos que levam em consideração o consumo médio de energia do sistema e uma autonomia de pelo menos três horas de funcionamento.

A maior parte de consumo de energia se dá através dos motores de passo, que, de acordo com o fabricante, consomem 1,5A cada quando em

potência máxima. No sistema de orientação motorizado para telescópios, os motores trabalham a maior parte do tempo com cerca de metade de sua capacidade (exceto quanto equipamentos extras como câmeras, por exemplo, são adicionados aos telescópios). Além disso, os motores funcionam simultaneamente apenas durante o reposicionamento do telescópio (*go to*) e em seguida apenas o motor do eixo de ascensão reta permanece ligado fazendo o acompanhamento do objeto. Desta forma, para determinar o consumo médio de corrente elétrica, foi considerado apenas um motor em funcionamento multiplicado por um de 1,5 (este fator considera que o segundo motor fica ligado por apenas metade do tempo). O sistema de controle consome uma corrente elétrica muito pequena e, por isso, não foi considerado no cálculo de consumo apresentado a seguir:

Consumo médio:

$$I_{med} = I_m \times 1,5$$

$$I_{med} = 1,5 \times 1,5$$

$$I_{med} = 2,25A$$

Onde:

$$I_{med} = \text{Corrente média consumida (A)}.$$

$$I_m = \text{Corrente do motor de passo (A)}.$$

Este cálculo estima o uso dos motores em capacidade máxima (telescópio carregado com acessórios pesados – câmeras), e, considerando uma autonomia mínima de três horas em funcionamento, a capacidade da bateria se dá da seguinte maneira:

Capacidade da bateria:

$$C_{bat} \geq I_{med} \times 3$$

$$C_{bat} \geq 2,25 \times 3$$

$$C_{bat} \geq 6,75 Ah$$

Onde:

$$C_{bat} = \text{Capacidade da bateria (Ah)}$$

$$I_m = \text{Corrente média consumida (A)}$$

Com base nos cálculos anteriores, foi escolhida uma bateria estacionária de chumbo ácido regulada por válvula de 12V e 7Ah. A bateria deve ser acompanhada de um carregador adequado.

Figura 12: Bateria estacionária de chumbo e carregador.



¹Fonte: adaptado de <https://produto.mercadolivre.com.br>. Acesso em: 04 out 2020.

O circuito também pode ser alimentado por uma fonte de tensão contínua de 12v e 3A. Neste caso, a corrente elétrica drenada da fonte deve levar o funcionamento simultâneo dos dois motores de passo. Nesta opção, o sistema é permanentemente alimentado, podendo funcionar por tempo ilimitado, mas é necessário estar próximo a uma rede de alimentação.

3.2.3 Módulo *bluetooth* HC-05

Como dito anteriormente, o *software* Stellarium, permite realizar a transferência das coordenadas de um objeto no céu para o microcontrolador.

Na versão mobile do Stellarium é possível ser feito uma conexão entre *smartphone* e o controlador do telescópio através do *bluetooth*, o qual é um padrão de comunicação sem fio de curto alcance, que tem uma proposta de ser de baixo custo, atrelado ao baixo consumo de energia. Foi criado em uma junção de várias empresas, como Intel, IBM, Nokia e Toshiba, que formaram um grupo em 1998, que foi se expandido no ano seguinte (SIQUEIRA,2006).

Com o trabalho dessas empresas do grupo SIG, foi desenvolvida a especificação *bluetooth*. Para uma aceitação mais rápida entre as empresas,

¹ Imagem retirada de: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1604322383-bateria-7ah-12v- JM#reco_item_pos=1&reco_backend=machinalis-v2p-pdp-boost-v2&reco_backend_type=low_level&reco_client=vip-v2p&reco_id=97d0bb9e-7257-4f4a-a664-7bbcd5ff3360

foi utilizado padrões abertos, totalmente disponíveis a todas as empresas. (SIQUEIRA,2006)

O *bluetooth* permite a troca de informações entre dispositivos, seja *smartphones*, *notebooks*, *smartbands*, computadores, dentre outros, utilizando a frequência de rádio de curto alcance, de 1 a 100 metros (SIQUEIRA, 2006).

Os dispositivos *bluetooth* são classificados nas três classes, que determinam o alcance de propagação, como visto a seguir:

Tabela 1: Classificação dos dispositivos *bluetooth*.

Classe	Alcance Máximo (Metros)
1	100
2	10
3	1

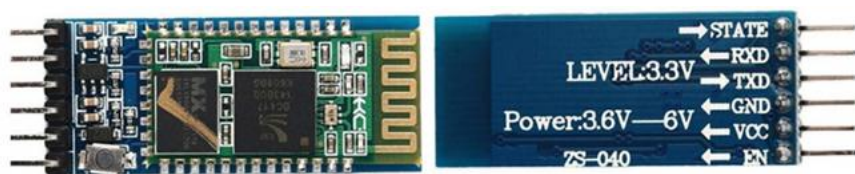
Fonte: Siqueira (2006)

Para a conexão do aplicativo mobile do Stellarium com o Microcontrolador, é intermediada pelo HC-05, que é um módulo *bluetooth*. A escolha do HC-05 se deu pelo fato de ter um fácil uso, assim como possui um baixo custo e tem uma alta disponibilidade no comércio.

O modulo *bluetooth* HC-05 trabalha em dois modos, o modo mestre, que realiza e aceita o pareamento com demais dispositivos, assim como o modo escravo, que apenas faz o uso do pareamento. Esse módulo pertence a classe 2, como visto anteriormente, possui um alcance de aproximadamente de 10 metros.

A figura 13 mostra a pinagem do módulo. No sistema de orientação este módulo será alimentado com 5V contínuo através dos pinos VCC e GND e trocará dados com o microcontrolador através dos pinos TXD e RXD. Através de uma antena integrada ao módulo será possível a troca de dados com o aplicativo no *smartphone*.

Figura 13: Módulo *bluetooth* HC-05.



Fonte: Adaptado de <https://www.amazon.in/HC-05-Bluetooth-Module-10g/dp/B00X86U4RW>.

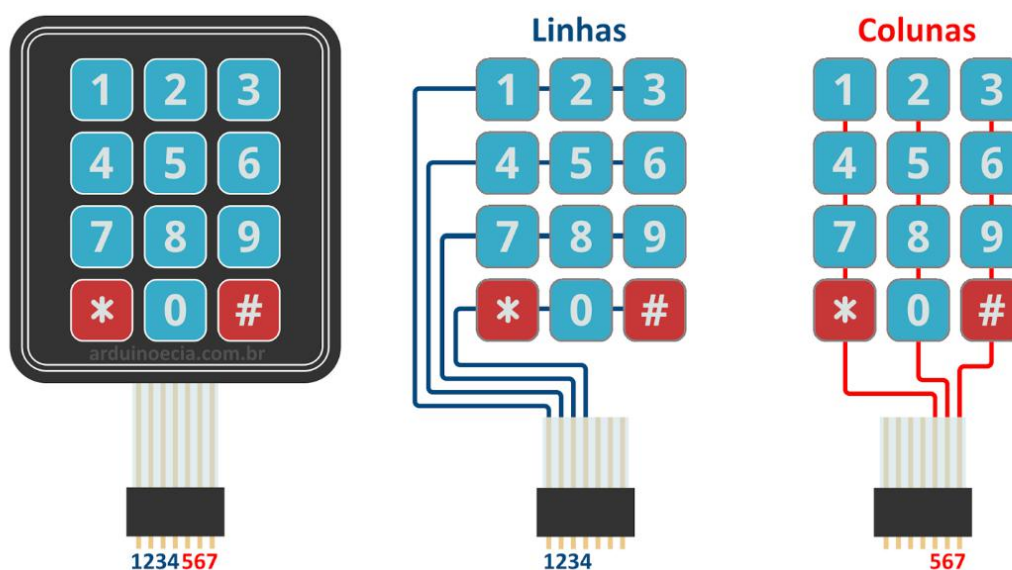
Acesso em: 04 out 2020.

3.2.4 Teclado matricial

O teclado matricial é um dispositivo que possui uma matriz de botões que serão varridos pelo algoritmo do microcontrolador. Cada botão possui uma função específica, na qual a do teclado no sistema de orientação é enviar comandos para o microcontrolador para situações onde for possível conectar-se com o *software* de navegação, além de compor juntamente ao display LCD uma interface homem máquina que permite ao usuário navegar entre as funções do sistema de orientação.

A figura 14 mostra o teclado matricial e suas conexões. Cada botão é uma chave normalmente aberta que, ao ser pressionada, promove a passagem da corrente elétrica entre a linha e a coluna. O algoritmo do microcontrolador varre os sinais vindos do teclado e determina qual botão foi pressionado através do cruzamento de linha e coluna.

Figura 14: Teclado matricial 4x3.



¹Fonte: <http://2.bp.blogspot.com>. Acesso em: 04 out 2020.

3.2.5 Display LCD

A função do display neste projeto é exibir os dados do sistema de orientação para o usuário e juntamente com teclado matricial compor uma interface homem máquina que permita a navegação entre menus e acesso a funções do sistema.

O display utilizado é o LCD alfanumérico 16x2, ou seja, 16 caracteres em duas linhas, com iluminação traseira (*backlight*). A figura 15 demonstra o display e sua pinagem.

¹ Imagem retirada de: http://2.bp.blogspot.com/-JJk5Sw5-B7c/VVjZn2l9W4I/AAAAAAAAADzw/wR-AtvK03nQ/s1600/Teclado_Matricial_4x3_linhas_e_colunas.png

Figura 15: Display LCD 16x2.



¹Fonte: <https://produto.mercadolivre.com.br>. Acesso em 04 de out 2020.

3.2.6 Motor de passo

Segundo Brite e Santos (2008), “os Motores de Passo são dispositivos eletromecânicos que convertem pulsos elétricos em movimentos mecânicos que geram variações angulares discretas”. Este dispositivo recebe uma série de impulsos elétricos que fazem com que seu rotor rotacione em pequenos incrementos angulares, denominados “passos”. A sequência dos pulsos e sua frequência determinam respectivamente a direção e velocidade de rotação do eixo do motor.

O Motor de passo é utilizado principalmente quando é necessário realizar movimentos precisos e por isso são amplamente empregados na área de robótica devido à alta demanda de movimentos precisos das máquinas desenvolvidas nesta área. O número de polos dos rotores determinam a quantidade de “passos” desses motores (PATSKO, 2006).

No interior dos motores são encontradas bobinas que, quando energizadas, geram um campo magnético. O rotor, por sua vez, é construído de ímãs naturais. A interação magnética (atração/repulsão) entre as bobinas e

¹ Imagem retirada de: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1069962884-8-unidades-display-lcd-16x2-backlight-azul-frete-gratis-JM>

ímãs do rotor dão origem a movimentação do eixo do motor. Existem três modos de operações básicas do motor de passo: um do tipo *half-step*, com o consumo de energia e torque baixos, e os outros dois do tipo *full-step* com consumo energia e torque elevados (PATSKO, 2006).

A escolha dos motores de passo como unidades motoras do presente projeto se deu justamente pela sua alta precisão, o que é necessário para alinhar o telescópio a objetos no céu noturno, e pela suavidade de seus movimentos, visto que, qualquer movimento brusco pode alterar o resultado desejado consideravelmente.

O sistema de orientação motorizado para telescópios foi idealizado para equipamentos refletores em montagem equatorial. Este tipo de telescópio possui um sistema de contra peso que minimiza os esforços necessários para a movimentação do sistema de engrenagem de cada eixo. Entretanto, técnicas de astrofotografia de longa exposição podem exigir o acoplamento de câmeras DSLR ou sensores CCD ao conjunto, que, por sua vez, pode desequilibrar o balanceamento da montagem exigindo maior torque nas engrenagens de movimentação.

Levando em consideração o que foi exposto, foram escolhidos dois motores de passo Nema 17 modelo 17HS4401 comumente utilizados em impressoras 3D ou máquinas CNC. Com ângulo de passo de 1,8 graus, corrente de 1,5A e torque de 0,4N.m (4Kg.cm) esse motor associado ao contrapeso pode suportar tubos telescópicos de até 4Kg.

Figura 16: Motor de passo.



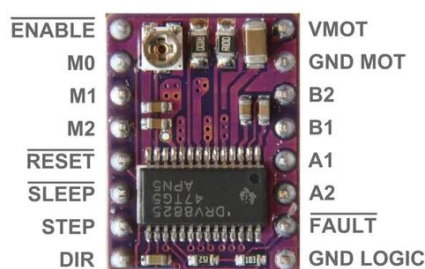
¹Fonte: <https://produto.mercadolivre.com.br>. Acesso em 04 de out. 2020.

¹Imagem retirada de: [/MLB-1518029491-motor-de-passo-nema-17-modelo-17hs4401-42kgfcm-cabo-1m-](https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1518029491-motor-de-passo-nema-17-modelo-17hs4401-42kgfcm-cabo-1m-)

3.2.7 Driver para motor de passo

Para controlar os motores de passo foram utilizados dois drivers DRV8825 com dissipador de calor. A função deste driver é receber o sinal vindo do microcontrolador através dos pinos de passo e direção e então, comutar o acionamento das bobinas do motor através dos pinos A1, A2, B1 e B2.

Figura 17: Drive DRV8825.



¹Fonte: <https://produto.mercadolivre.com.br>. Acesso em: 04 out 2020.

O driver DRV8825 possui ainda limitação de corrente ajustável, proteção contra sobrecarga e seis resoluções de passo (1/1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16 e 1/32). Ele opera de 8,2V a 45V, e pode fornecer até 1,5A por fase continuamente sem a necessidade de um dissipador ou ventilação forçada (podendo chegar a 2,2 A por bobina com ventilação forçada suficiente).

¹ Imagem retirada de: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1178633382-driver-drv8825-pololu-reprap-ramps-5-x-pcs- JM>

4 DESENVOLVIMENTO

Com a finalidade de obter-se um resultado mais assertivo, foi realizada uma simulação virtual do projeto. Desta forma, cada funcionalidade do sistema pôde ser testada e validada separadamente.

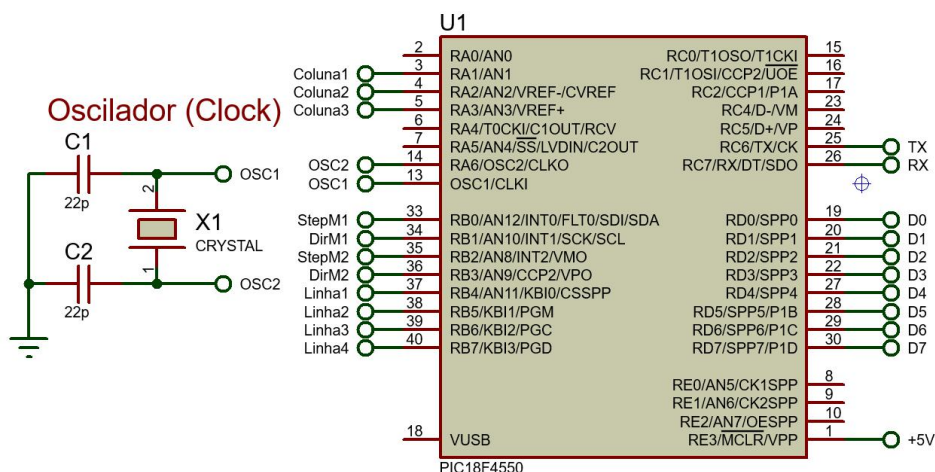
Com base nos resultados obtidos na simulação, foi possível construir um protótipo funcional do projeto, reunindo apenas as funções validadas de maior relevância para o objetivo proposto.

A simulação do circuito eletrônico foi realizada no *software* Proteus. Esta simulação também foi essencial para a elaboração e teste das estruturas eletrônicas básicas para o funcionamento de cada componente funcional do projeto.

4.1 Microcontrolador PIC18F4550

Conforme mencionado anteriormente no item 3.2.1, o microcontrolador escolhido foi o PIC18F4550. No ambiente simulado, foi possível identificar a infraestrutura necessária para seu correto funcionamento, que é composta basicamente por uma fonte de tensão contínua de 5V, obtida por um circuito regulador de tensão, e um circuito oscilador de 48MHz composto por cristal piezo elétrico e dois capacitores cerâmicos de 22pF. A figura 18 demonstra como esta parte do projeto foi arquitetada no *software* Proteus.

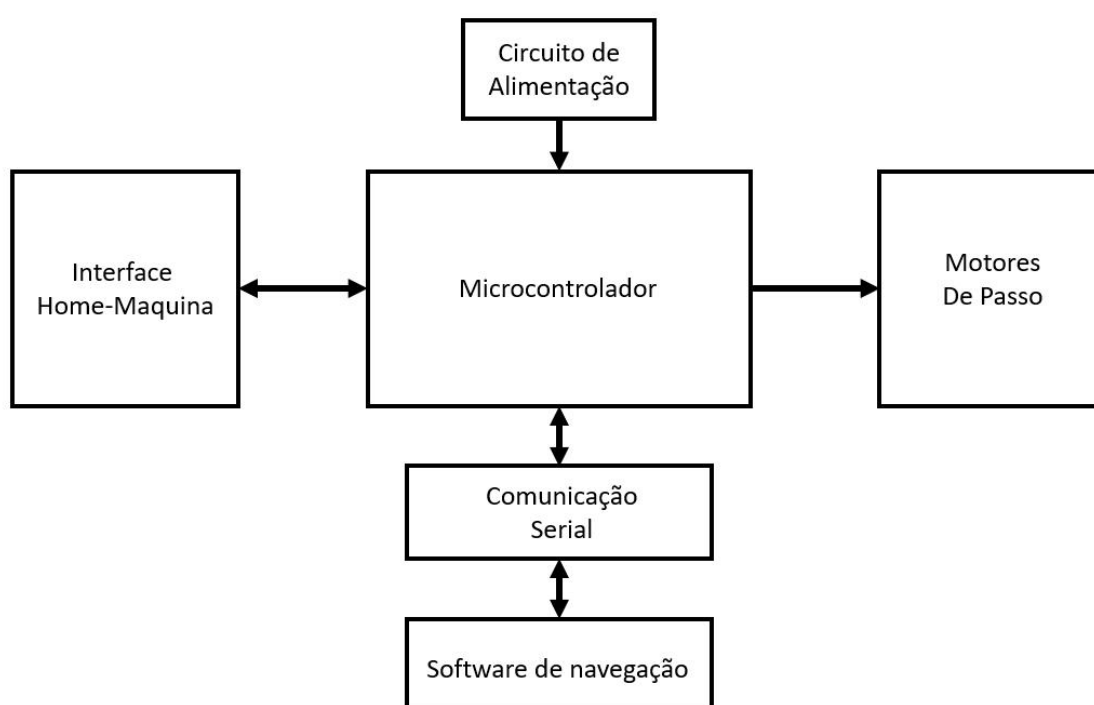
Figura 18: Simulação do microcontrolador PIC18F4550.



Fonte: Elaborada por autor.

O PIC18F4550 foi programado no ambiente de desenvolvimento MPLAB 2.0 e sua gravação se deu através de um circuito denominado PicKit3. O algoritmo elaborado tem a função de interligar todos os outros dispositivos do projeto, recebendo dados do teclado matricial, enviando dados ao display LCD, controlando os motores de passo e comunicando-se com o *software* Stellarium através do canal de comunicação serial USART. A figura 19 demonstra, através de um diagrama de blocos, o fluxo de sinal entre os componentes do projeto.

Figura 19: Diagrama de blocos.



Fonte: Elaborada pelo autor.

4.2 Circuito de alimentação.

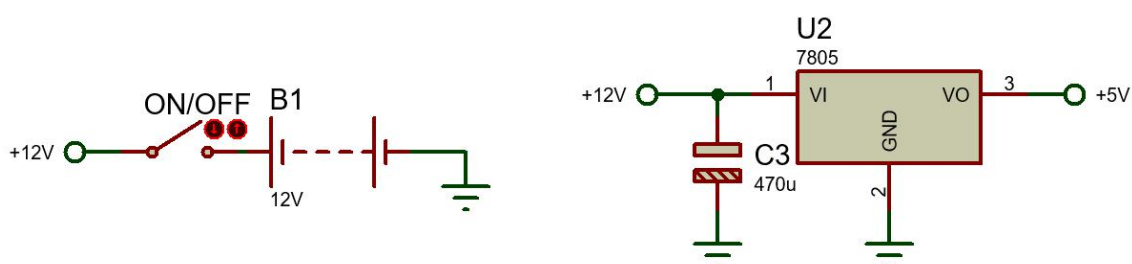
O sistema foi projetado para trabalhar com uma tensão de 12V, sendo que, a alimentação dos motores de passo é realizada com os mesmo 12V de entrada e os demais componentes necessitam de 5V e, portanto, necessitam de um circuito regulador de tensão.

A fonte de alimentação pode ser uma bateria de chumbo de 12V e 7Ah ou uma fonte retificadora de 12V e 3A, como mencionado no item 3.2.2. Ambas

podem ser acopladas nos mesmos conectores de entrada havendo um botão liga/desliga para controle.

O circuito regulador de tensão é composto por um circuito integrado 7805 e um capacitor eletrolítico de 470 μ F como filtro. Os 12V são aplicados no terminal de entrada VI e a saída VO fornece os 5V regulados, tendo o termino GND em comum. A figura 20 mostra o circuito projetado.

Figura 20: Alimentação e circuito regulador de tensão.

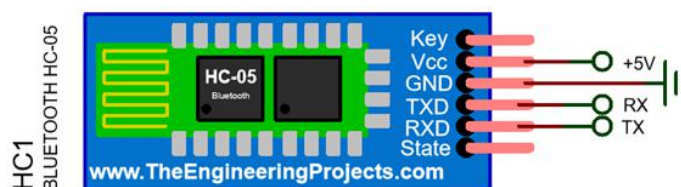


Fonte: Elaborada pelo autor.

4.3 Comunicação serial bluetooth.

O circuito de comunicação serial é composto pelo módulo Bluetooth HC-05, conectado aos pinos de comunicação USART do microcontrolador. Vale ressaltar que os pinos são invertidos, ou seja, o pino RX do microcontrolador é conectado ao pino TXD do módulo, enquanto o pino TX do microcontrolador é conectado ao pino RXD do módulo. A figura 21 mostra as conexões no módulo HC-05.

Figura 21: Conexões do módulo HC-05.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Uma vez selecionada a comunicação serial, dá se início ao processo de identificação do modelo de telescópio, isto é realizado através da troca de dados entre o microcontrolador e o aplicativo mobile Stellarium, fazendo uso do

protocolo de comunicação LX200. O Stellarium requisita ao microcontrolador os dados do telescópio, como o tipo de montagem, dados de localização, posicionamento atual dos eixos, entre outros. Após a identificação do modelo do telescópio, o aplicativo permite o envio de comandos de movimentação para o microcontrolador, fornecendo as coordenadas celestes do objeto que se deseja observar. O microcontrolador, por sua vez, devolve as coordenadas da posição atual dos eixos. Esta troca de informações ocorre várias vezes por segundo, o que permite um controle preciso e em tempo real do telescópio, além de permitir o acompanhamento de objetos na eclíptica (planetas) e de objetos com movimento galáctico, estes recursos não são possíveis no modo manual.

Vale ressaltar que a versão mobile do *software* Stellarium é paga, e a função de conexão com um telescópio só está disponível na versão plus. A versão desktop é gratuita, porém a conexão se dá através de uma porta serial RS232, visto que este tipo de conexão não é mais utilizado notebooks atuais, a mesma não foi implementada ao projeto.

4.4 Interface homem máquina.

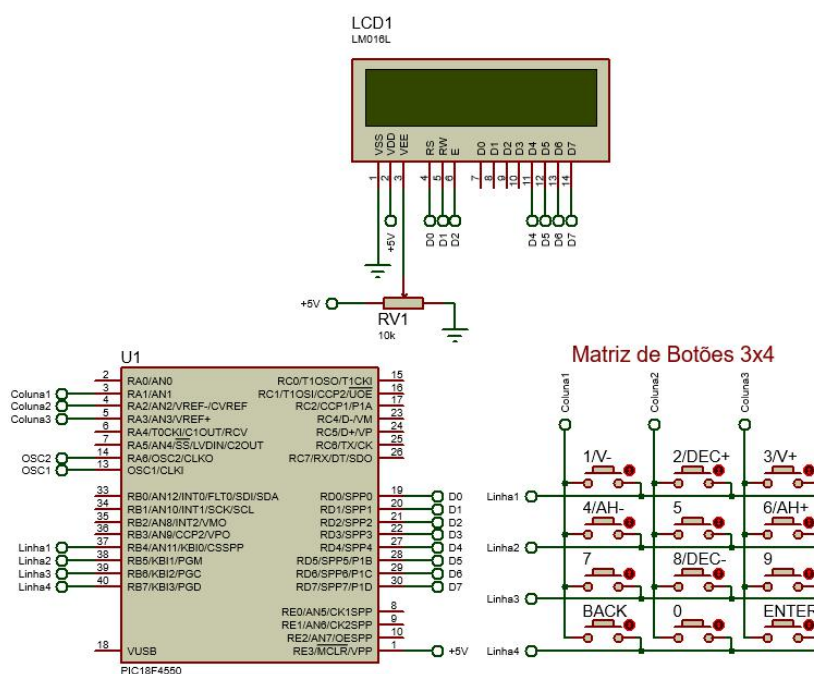
Durante a idealização do projeto, houve o interesse na implantação de um sistema que funcionasse como interface homem-máquina. A vantagem vislumbrada na integração desta funcionalidade seria garantir que a motorização funcionasse de forma independente ao *software* Stellarium. A etapa de simulação teve contribuição essencial na escolha dos componentes que compõe a interface, além de permitirem simular como seria sua integração ao sistema microcontrolado.

Para compor a interface homem-máquina, foram escolhidos um teclado matricial 3x4 (3 colunas por 4 linhas) e um display LCD alfanumérico 16X2 (16 caracteres e 2 linhas). No ambiente simulado, foi possível verificar como seriam as conexões elétricas entre teclado matricial e microcontrolador, além de ser possível realizar o teste dos algoritmos de varredura do teclado e comunicação com o display. A figura 22 demonstra como ficaram dispostas as conexões elétricas entre os componentes acima citados.

O display LCD comunica-se com o PIC18F4550 através do port D, que foi configurado como saída. Através da biblioteca LCDKIT.c adaptada para o microcontrolador, foi possível implementar funções que permitem a escrita (print()) e posicionamento do curso (lcd_gotoxy()) no LCD.

O teclado matricial foi conectado aos pinos RA1, RA2 e RA3 (configurados como saídas) e aos pinos RB4, RB5, RB6 e RB7 (configurados como entradas). Seu algoritmo de varredura alimenta sequencialmente os pinos relativos as colunas enquanto varre os pinos conectados às linhas da matriz, a fim de identificar o botão pressionado.

Figura 22: Interface Homem-Máquina.



Fonte: Elaborada pelo autor.

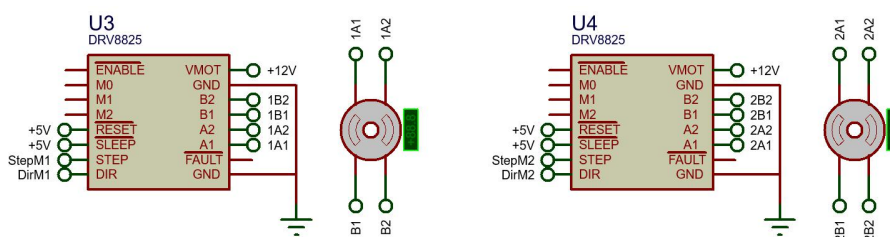
4.5 Motores de passo.

Os motores de passo têm suas bobinas conectadas aos terminais A1, A2, B1 e B2 do driver DRV8825. Este driver tem duas funções, ele promove o acoplamento do sinal de 5V vindo do microcontrolador aos 12V de alimentação dos motores, e facilita a programação de controle da energização das bobinas.

Através do pino DIR, o sinal vindo do microcontrolador pode selecionar o sentido de rotação do motor. Já através do pino STEP, o microcontrolador pode

enviar uma sequência de pulsos elétricos que irão determinar a quantidade de passos que o eixo deverá dar. O DRV8825 encarrega-se de receber estes dados oriundos do microcontrolador e determinar quais bobinas do motor de passo devem ser energizadas para que o movimento seja realizado corretamente. O esquema de ligação dos drivers e motores é apresentado na figura 23.

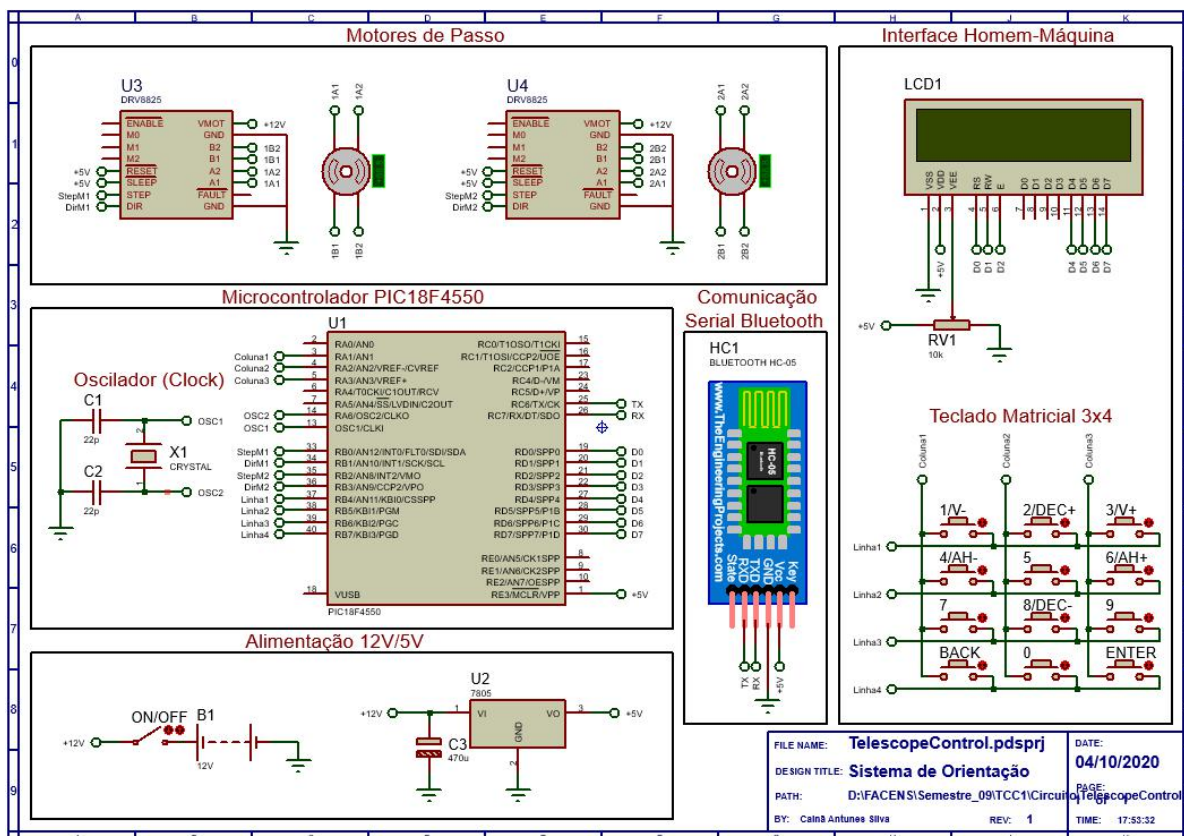
Figura 23: Drivers DRV8825 e motores de passo.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A figura 24 mostra o circuito elaborado completo.

Figura 24: Esquema eletrônico completo.



Fonte: Elaborada pelo autor.

5 RESULTADOS

Após a simulação, o projeto foi transferido para uma placa eletrônica didática, a qual contém todos os componentes simulados. Essa etapa foi fundamental para identificar pontos críticos no circuito eletrônico, como por exemplo, as interferências eletromagnéticas que podem influir, principalmente, no funcionamento do display. Outra dificuldade encontrada foi a complexidade de criar-se um algoritmo capaz de gerar a interpolação dos movimentos dos eixos e prever possíveis colisões entre o tubo telescópico e o tripé, ficando definido que esta função não seria implementada ao projeto. O resultado obtido encontra-se na figura 25.

Figura 25: Protótipo físico em funcionamento.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A interface criada permite que o usuário indique para qual polo o telescópio está orientado, em seguida, é solicitado que se verifique o alinhamento inicial da montagem. Após confirmar a verificação, é possível escolher entre dois modos de operação: manual ou automático. A navegação entre as telas do display LCD é mostrada na figura 26.

Figura 26: Navegação entre as funções do sistema.

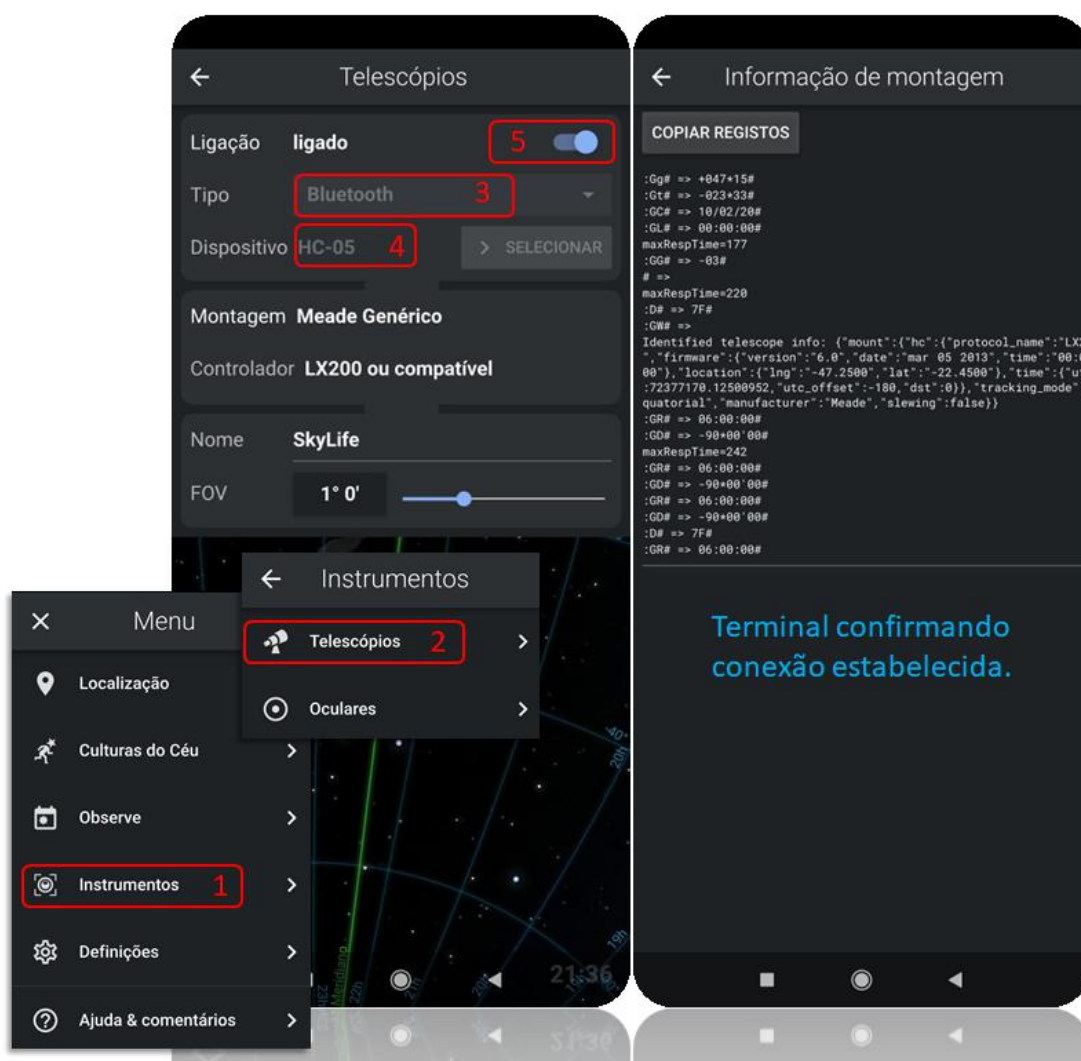


Fonte: Elaborada pelo autor

No modo manual, as posições dos eixos de ascensão reta e declinação podem ser incrementadas independentemente através do teclado matricial. Após posicionar o telescópio, o usuário pode ativar a função de acompanhamento do astro, que movimenta o eixo de ascensão reta na mesma velocidade de rotação da Terra e em sentido contrário. O resultado é um campo de visão estático fixado no objeto de interesse. Este recurso é muito útil para técnicas de astrofotografia com longa exposição. Vale ressaltar que a precisão do acompanhamento é dependente de um bom alinhamento do telescópio.

Já no modo automático, o sistema solicita a conexão com o aplicativo Stellarium, para tanto, o usuário deve parear seu *smartphone* com o módulo HC-05, entrar no aplicativo e acessar o seguinte caminho: menu, instrumentos e telescópios. Neste último, é possível configurar a comunicação. Deve-se escolher a conexão tipo *bluetooth* e então selecionar o módulo HC-05 dentre os dispositivos pareados. Por fim, basta ligar a conexão. O aplicativo irá identificar o modelo de telescópio e iniciará uma troca de dados de coordenadas constante com o microcontrolador. Agora é possível selecionar um objeto no Stellarium e clicando na função “go to”, o telescópio irá alinhar-se ao objeto fazendo seu acompanhamento. A figura 27 demonstra todo o procedimento citado.

Figura 27: Comunicação com o Stellarium.



Fonte: Elabora pelo autor.

5.1 Custos, Vantagens e Desvantagens

Esse projeto tem o foco de possuir um baixo-custo, que, em comparação aos produtos semelhantes do mercado, consegue ser mais acessível, seja para uma pessoa iniciante da área de astronomia, ou até para os mais experientes que não querem investir muito dinheiro em um sistema controlador, para assim focar seu orçamento com o telescópio e seus componentes. Esse objetivo foi alcançado ao decorrer do desenvolvimento. A tabela 2 mostra todos os componentes que foram necessários para o desenvolvimento do projeto com os seus respectivos valores.

Tabela 2: Orçamento do projeto.

Qtd	Nome	Descrição	Custo
01	Aplicativo Stellarium	mobile plus	R\$ 40,00
01	Microcontrolador	PIC18F4550	R\$ 58,81
01	Cristal piezoelétrico	48MHz	R\$ 2,50
02	Capacitores cerâmicos	22pF	R\$ 0,20
01	Bateria estacionária de chumbo	12V 7Ah	R\$ 54,90
01	Carregador para bateria	12V	R\$ 133,00
01	Regulador de tensão	7805	R\$ 1,42
01	Capacitor eletrolítico	470µF	R\$ 0,33
01	Módulo <i>bluetooth</i>	HC-05	R\$ 22,00
01	Teclado matricial	4x3	R\$ 10,00
01	Display LCD	16x2	R\$ 18,49
02	Motores de passo	17HS4401	R\$ 79,99
02	Driver	DRV8825	R\$ 20,00
01	Chave eletrônica	ON/OFF	R\$ 1,90
01	Potenciômetro	10KΩ	R\$ 1,33
01	Montagem Equatorial Germânica	Eq3 Exos Nano	R\$ 890,00
-	Cabos e conectores	-	R\$ 4,00
TOTAL =			R\$ 1.338,87

Fonte: Elaborada pelo autor.

Juntando todos os equipamentos utilizados no desenvolvimento, temos um montante de 1.338,87 reais, uma diferença no valor de até 81% comparado aos produtos semelhantes, como observado a seguir na tabela 3.

Tabela 3: Comparação do orçamento entre montagens.

Montagem	Preço aproximado (Reais)
iOptron CEM25P	R\$ 7.300,00
Celestron AVX.	R\$ 6.500,00
Presente Trabalho	R\$ 1.338,87

Fonte: Elaborada pelo autor.

As montagens encontradas no mercado possuem uma série de recursos próprios, como sistema de navegação embutido, GPS, relógio interno catálogo de objetos celestes próprio, auto alinhamento entre outros. Estes recursos tornam os equipamentos mais caros. No presente projeto a ausência destes recursos, que são essenciais para o funcionamento do sistema, é contornada utilizando-se os recursos do *smartphone* do usuário. O *software* Stellarium coleta dados como localização e hora local do *smartphone* e os fornece ao microcontrolador, o aplicativo ainda funciona como sistema de navegação externo.

As vantagens no uso do Stellarium em comparação com os equipamentos comerciais citados são o custo reduzido e o fato de ser um *software* de código aberto, o que faz com que a quantidade de objetos celestes disponíveis em seu catálogo seja muito superior ao encontrado em outros sistemas de navegação (a tabela 4 demonstra esta disparidade).

Tabela 4: Comparação dos catálogos celestes entre montagens.

Montagem	Quantidade de objetos
iOptron CEM25P	150.000
Celestron AVX.	40.000
Presente Trabalho	600.000

Fonte: Elaborada pelo autor.

A desvantagem do sistema montado é a dependência da conexão com o aplicativo para um funcionamento mais assertivo, além da inserção de erro significativo que pode ser causado devido a um mau alinhamento do telescópio, visto que este procedimento não é implementado pelo projeto e depende totalmente da paciência, habilidade e meticulosidade do usuário.

5.2 Resolução e erro do sistema.

A resolução do sistema de navegação desenvolvido, ou seja, o menor ângulo de movimentação possível, é determinado pelo ângulo de um passo do motor, que no caso equivale a 1,8. Esse valor deve ser associado ainda á relação de transmissão das engrenagens.

Nos eixos do telescópio SkyLife, está relação entre engrenagens equivale a 1:144, ou seja, para uma volta completa do eixo do telescópio são necessárias 144 voltas do eixo do motor. Isso significa que o menor movimento possível pode ser calculado da seguinte maneira:

Se 144 voltas no motor equivalem a 360 deg no eixo do telescópio, então

$$1 \text{ volta no motor} = \frac{360 \text{deg}}{144 \text{voltas}}, \text{ logo}$$

$$1 \text{ volta no motor} = 2,5 \text{ deg no eixo do telescópio}$$

Se 360 deg no motor equivalem a 2,5 deg no eixo do telescópio, então

1,8 deg (passo do motor) é equivalente a resolução do telescópio:

$$360 \text{ deg} - 2,5 \text{ deg}$$

$$1,8 \text{ deg} - \text{resT}$$

logo,

$$360 \text{resT} = 1,8 \cdot 2,5$$

$$\text{resT} = \frac{4,5}{360}$$

$$\text{resT} = 0,0125 \text{ deg ou } 3''$$

Onde resT = resolução do telescópio

Uma resolução de movimento de 0,0125° ou 3" é suficiente para localizar a maioria dos corpos celestes visíveis dentro do poder separador da maioria dos telescópios comerciais.

Com relação ao erro que este sistema de orientação possui, fora a questão da resolução dos movimentos, há ainda a questão do alinhamento do telescópio. Como foi explicado na introdução deste projeto, para o correto funcionamento do sistema é necessário que o eixo da ascensão reta esteja alinhado com um dos polos celestes (Norte ou Sul). Erros de alinhamento aumentam os erros de posicionamento do sistema de orientação.

5.2.1 Método *Drift* de alinhamento

Para minimizar erros, indica-se o método *Drift* de alinhamento. Este método é composto por duas etapas. A primeira consiste em um alinhamento grosseiro. Primeiro deve-se ajustar a inclinação do eixo, que deve ter o mesmo ângulo da latitude local. Em seguida deve-se apontar o eixo para o polo celeste visível na região, isto pode ser feito de forma intuitiva (estender o braço esquerdo para o nascer do sol – Leste - e o braço direito para o pôr do sol – Oeste – neste caso o polo sul fica a frente e o norte nas costas), ou com o auxílio de uma bússola (lembrar que o polo magnético não é o mesmo que o polo celeste, sendo necessário calcular a declinação magnética – ver item 2.1.2). Quanto mais preciso for este alinhamento inicial, mais fácil será a próxima etapa do método. Na segunda etapa deve-se escolher um ponto luminoso no céu (estrela) próximo ao horizonte no azimuth leste. O uso de uma ocular reticulada pode ajudar muito neste processo. Ao alinhar a retícula com a estrela ligue o acompanhamento e aguarde um tempo até que a estrela comece a fugir do centro de visão.

Se a estrela fugiu para o sul, quer dizer que o telescópio está apontando um pouco para cima do polo, então deve-se ajustar a altitude para baixo.

Se a estrela fugiu para o norte, quer dizer que o telescópio está apontando um pouco para baixo do polo, deve-se ajustar a montagem para cima.

Os ajustes devem ser realizados até que a estrela não se mova mais no eixo Norte Sul.

Após conseguir um alinhamento satisfatório na latitude é hora de realizar os ajustes no azimuth. Apontando o telescópio para uma estrela próximo ao Zênite (ver figura 3), ligar o acompanhamento e aguardar até que ela se mova para fora do centro de visão.

Se a estrela fugir para o NORTE, quer dizer que o telescópio está apontando um pouco para o oeste do polo, então deve-se ajustar o azimuth para LESTE.

Se a estrela fugir para o SUL, quer dizer que o telescópio está apontando um pouco para o leste do polo, então deve-se ajustar o azimuth para OESTE.

Este método tem maior eficiência quando se utiliza aumentos altos para o telescópio ($>150X$) e com sua execução, os erros de funcionamento do sistema serão reduzidos consideravelmente.

6 Conclusão

A observação do universo é o objeto de estudo mais antigo do mundo, a astronomia trouxe a humanidade muitas respostas, formulando, por exemplo, hipóteses sobre o surgimento do universo e formação da Terra. Além disso, o melhor entendimento dos mecanismos de funcionamento do universo influencia diretamente as tecnologias atuais e futuras. Neste contexto, os telescópios são instrumentos protagonistas que possibilitaram a evolução desta área de estudo. Contudo, apenas um telescópio poderoso não garante materiais apropriados para estudos astronômicos.

Esse trabalho aborda o movimento motorizado de telescópios, assunto que, ao longo dos estudos realizados, demonstrou ser de extrema importância na área da astronomia. Devido a movimentação de rotação da Terra, os telescópios necessitam de um sistema motorizado para a sua orientação. Os telescópios mais sofisticados possuem este recurso que auxilia na localização e acompanhamento de objetos celestes, porém com custos muito elevados.

A fim de reduzir o custo deste recurso e tornar observações astronômicas de qualidade mais acessíveis, foi desenvolvido um sistema microcontrolado para controle de motores de passo que por sua vez servem como tração dos eixos de um telescópio. Integrado ao software Stellarium, de código aberto, é possível localizar e acompanhar astros celestes. A ideia é apresentar à comunidade de astrônomos amadores uma alternativa de custo reduzido e acessível.

O projeto desenvolvido permite a navegação manual dentro do sistema de coordenadas equatoriais, o que faz com que seja possível a localização de objetos invisíveis a olho nu através da inserção de coordenadas específicas. Além disso, quando conectado ao software Stellarium, é possível posicionar o telescópio de forma automática. Utilizando a função “go to”, o aplicativo envia comandos para que o tubo ótico seja apontado para o objeto selecionado na tela do smartphone.

Conclui-se que a motorização de telescópios é indispensável para a astronomia, tanto no que se diz respeito a localização de objetos no céu, quanto a obtenção de imagens por técnica de longa exposição. O presente trabalho atende a estes requisitos através do sistema de navegação e acompanhamento desenvolvidos.

O objetivo proposto no Capítulo 1 deste projeto foi cumprido, visto que o protótipo desenvolvido realiza todas as funções essenciais de uma montagem motorizada, com um custo muito reduzido quando comparado com as soluções encontradas no mercado, sendo até 81% mais barato.

Além do baixo custo proposto neste trabalho, um outro objetivo é o acesso dessa tecnologia a entusiastas da astronomia que estão iniciando sua jornada na área e não tem como investir muito dinheiro em um sistema de motorização como esse. Por isso, tudo o que foi desenvolvido durante esse TCC é de acesso livre ao público, com um código aberto para que qualquer pessoa possa usar, editar e aprimorar esse projeto. Para uma fácil organização, foi criado um repositório no Github (RODRIGUES,2020).

Para trabalhos futuros, o foco é desenvolver a estrutura mecânica, que tem como finalidade acoplar os motores de passo no telescópio. Essa estrutura é variável, isto é, para cada telescópio o projeto da estrutura vai ser diferente devido as dimensões dos diversos modelos no mercado.

Este trabalho foi muito importante para todos os integrantes do grupo, pois, através dele, foi possível colocar grande parcela do conhecimento adquirido durante toda a jornada no curso, possibilitando o entendimento e aplicação de conceitos de hardware como o desenvolvimento de circuitos eletrônicos microcontrolados e toda sua infraestrutura de funcionamento, integração com dispositivos periféricos, uso de drivers, além de permitir o aperfeiçoamento de competências relacionadas ao uso de protocolos de comunicação durante a comunicação serial entre o sistema microcontrolado e o software de navegação.

REFERÊNCIAS

ARDUINO. **Arduino Due**. Disponível em: <https://store.arduino.cc/usa/duo>. Acesso em: 10 maio 2020.

BRITE, Felipe Gonçalves; SANTOS, Vinicius Puga de Almeida. **Motor de Passo**. Niterói: Pet Tele, 2008. 15 p. Disponível em: <http://www.telecom.uff.br/pet/petws/downloads/tutoriais/stepmotor/stepmotor2k81119.pdf>. Acesso em: 12 maio 2020.

FORÇA, Ana Claudia et al. A evolução dos instrumentos de observação astronômica e o contexto histórico-científico. **XVII SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA**, 2007.

GNIPPER, Patrícia. **O que é e como começar a praticar a astrofotografia agora mesmo**. 06 out. 2017. Disponível em: <https://canaltech.com.br/espaco/o-que-e-e-como-comecar-a-praticar-a-astrofotografia-agora-mesmo-101598/>. Acesso em: 28 jan. 2020.

JUSTINIANO, Artur; BOTELHO, Rafael. Construção de uma carta celeste: Um recurso didático para o ensino de Astronomia nas aulas de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 38, n. 4, 2016.

JUSTINIANO, Artur et al. Astro3D: um simulador do movimento de corpos celestes. : um simulador do movimento de corpos celestes. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [s.l.], v. 39, n. 4, p. 1-1, 8 jun. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2017-0125>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172017000400604. Acesso em: 08 maio 2020.

OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza; SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira. **Sistemas de Coordenadas**. 2019. Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/coord.htm>. Acesso em: 08 maio 2020.

SANCHES, Paulo. Telescópios: Tipos e características. **Revista de Ciência Elementar**, [s.l.], v. 5, n. 1, p. 1-1, 30 mar. 2017. ICETA. <http://dx.doi.org/10.24927/rce2017.009>. Disponível em: <https://rce.casadasciencias.org/rceapp/art/2017/009/>. Acesso em: 09 maio 2020.

SANTIAGO, Basílio; SALVIANO, Adriano. **ASTRONOMIA GEODÉSICA: posicionamento pelas estrelas**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005. 160 p. Disponível em: https://www.if.ufrgs.br/oei/santiago/fis2005/livro_v1.pdf. Acesso em: 07 maio 2020.

SANTIAGO FILHO, Sebastião. **Características Físicas: aumento, magnitude limite, poder separador etc**. Disponível em: <https://www.telescopiosastronomicos.com.br/caracteristicas.html>. Acesso em: 25 fev. 2020.

TOUS Sur Orbite. Direção de Odile Perrin. Produção de Philippe Baudarte.

Realização de Nicollas Gessner. Coordenação de Jean Francois Schneider. Intérpretes: Bruno Alexiu. Roteiro: Gilberto Luet. Música: Marc Hillman. [s.l.]: Fontome Animation, 1996. 1 H264 (8 min.), VHS, son., color. Série Semana 39: **O que é equinócio? Dias de 22 horas**. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=wLMmcVfDiw>. Acesso em: 08 maio 2020.

RODRIGUES. **Sistema de orientação motorizado para telescópios**. Disponível em: <https://github.com/rodrigoes/Sistema-de-orientacao-motorizado-para-telescopios>. Acesso em: 11 nov. 2020.