

Universidade de São Paulo
Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas
Departamento de Astronomia

Renan Aryel Fernandes da Silva

Radioastronomia na Escola
Construção de um Radiotelescópio Didático de
Pequeno Porte

São Paulo - SP

19 de novembro de 2024

Versão corrigida. A original encontra-se no Serviço de Pós-Graduação do IAG/USP.

Renan Aryel Fernandes da Silva

Radioastronomia na Escola
Construção de um Radiotelescópio Didático de Pequeno
Porte

Dissertação apresentada ao Departamento de Astronomia do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientador: Dr. Roberto Dell'Aglio Dias da Costa

São Paulo - SP

19 de novembro de 2024

Renan Aryel Fernandes da Silva

Radioastronomia na Escola

Construção de um Radiotelescópio Didático de Pequeno Porte/ Renan Aryel Fernandes da Silva. – São Paulo - SP, 19 de novembro de 2024-

97p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Dr. Roberto Dell'Aglio Dias da Costa

Dissertação – Universidade de São Paulo

Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas

Departamento de Astronomia, 19 de novembro de 2024.

1. Radioastronomia. 2. Arduino. 2. Ensino de astronomia.

Renan Aryel Fernandes da Silva

Radioastronomia na Escola

Construção de um Radiotelescópio Didático de Pequeno Porte

Dissertação apresentada ao Departamento de Astronomia do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Trabalho aprovado. São Paulo - SP, 20 de setembro de 2024:

Dr. Roberto Dell’Aglío Dias da Costa
Orientador

Dr. Denis Furtado de Andrade
Especialista - IAG/USP

**Profa. Dra. Elysandra Figueredo
Cypriano**
IAG/USP

Prof. Dr. Moacir Lacerda
UFMS

São Paulo - SP
19 de novembro de 2024

*Dedico este trabalho aos profissionais que atuam, cada um na sua função,
para o bom funcionamento e melhoria da educação pública.*

AGRADECIMENTOS

Os agradecimentos principais são para meus pais, que sempre me apoiaram nos estudos desde criança. Também agradeço à minha namorada, Camila, pelo apoio imprescindível durante todo esse processo.

Agradeço à minha amiga, Adriana Corvalan, de Campo Grande, por ter me sugerido prestar o processo seletivo para mestrado profissional em um momento que eu me achava frustrado com as perspectivas do futuro.

Agradeço aos meus amigos, Alexandre e Nayhara, pelas noites de diversão com *boardgames* e todo apoio oferecido durante minhas estadias por Campo Grande.

Agradeço ao meu amigo, Antonio Cunha, pela ajuda com a moradia estudantil logo quando cheguei na USP, sem a qual eu não teria tido condições de me sustentar por muito tempo na cidade. Também agradeço a minha amiga, Loreany, pela ajuda e disposição nestes anos.

Agradeço aos meus colegas de mestrado, Leopoldo, Gabriel, Hayrton, Bruno, Murilo e Andre, pelo companheirismo durante essa jornada acadêmica.

Agradeço a Paula, pela ajuda com a orientação vocacional e as dinâmicas que me permitiram organizar melhor minhas tarefas e prioridades, sem dúvida cruciais para o sucesso dessa empreitada.

Agradeço à minha amiga, Taís Turaça, escritora talentosa, pelo incentivo em permanecer na carreira acadêmica.

Agradeço à Prof.^a Dr.^a Elysandra Cypriano pela orientação em suas disciplinas. Também aos demais professores do programa e aos servidores do IAG pelo suporte valioso prestado ao longo dos anos.

Por fim, agradeço ao meu orientador, Prof.^o Dr.^o Roberto Costa, pela paciência durante a orientação e os comentários sempre pertinentes em cima do trabalho aqui desenvolvido.

*“Se não existe vida fora da Terra,
então o universo é um grande desperdício de espaço.”
(Carl E. Sagan)*

RESUMO

Neste trabalho temos como objetivo avaliar a viabilidade de implementar um experimento de radioastronomia para o ensino de física aos estudantes dos anos finais do ensino fundamental e ensino médio. Desenvolvemos uma introdução teórica para compor um produto educacional, abordando o entendimento da luz como grandeza fundamental, até chegar nas recentes pesquisas de radioastronomia. Projetamos um sistema de captação de ondas de rádio do Sol utilizando antenas de banda Ku recicladas, Arduino e componentes comerciais de fácil aquisição, detalhando no produto educacional todo o passo a passo de como construir e operar o pequeno radiotelescópio. A seguir, fazemos duas demonstrações do equipamento em oficinas realizadas durante eventos de formação de professores do ciclo básico, o CEU1 do IAG e USP Escola, ambos em 2023. Por fim, refinamos o produto educacional, utilizando análise de conteúdo de Bardin aplicada sobre as avaliações dos professores participantes das oficinas.

Palavras-chave: radioastronomia. arduino. ensino de astronomia.

ABSTRACT

In this work we aim to evaluate the feasibility of implementing a radio astronomy experiment for teaching physics to students in the final years of elementary and high school. We developed an introduction to compose an educational product, addressing the understanding of light as a fundamental quantity, until reaching recent radio astronomy research. We designed a system for capturing radio waves from the Sun using recycled Ku-band antennas, Arduino and easily acquired commercial components, detailing in the educational product the entire step-by-step guide on how to build and operate the small radio telescope. Next, we made two demonstrations of the equipment in workshops held during basic cycle teacher training events, CEU1 at IAG and USP Escola, both in 2023. Finally, we refine the educational product, using Bardin's content analysis applied to the comments from teachers participating in the workshops.

Keywords: radio astronomy. arduino. astronomy education.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Vincent van Gogh, A Noite Estrelada, Saint Rémy, June 1889.	21
Figura 2 – Isaac Newton dispersando luz com um prisma de vidro	23
Figura 3 – Herschel e os raios invisíveis	24
Figura 4 – Fraunhofer e as linhas escuras do espectro solar.	25
Figura 5 – Espectro da luz solar e curva da sensibilidade relativa do olho ao contínuo solar.	25
Figura 6 – Experimentos de Bunsen	26
Figura 7 – Gustav Kirchhoff (esquerda) e Robert Bunsen em 1850	27
Figura 10 – Espectro eletromagnético conhecido	29
Figura 11 – Transparência da atmosfera para diferentes comprimentos de onda.	30
Figura 12 – Réplica da antena usada por Jansky, no Observatório Green Bank.	32
Figura 13 – Primeiro radiotelescópio construído por Grote Reber.	33
Figura 14 – Conjunto de antenas do Very Large Array, localizado no EUA.	33
Figura 15 – Radiotelescópios na Cordilheira dos Andes. Créditos: ALMA.	34
Figura 16 – Composição de vários comprimentos de onda da galáxia Centauro A	34
Figura 17 – Imagem do buraco negro supermassivo da galáxia M87 obtida pelo projeto Event Horizon Telescope. Créditos: EHT.	35
Figura 18 – Pioneiros da radioastronomia que detectaram a grande fonte de rádio na direção do centro galáctico e a imagem que temos hoje do objeto que produziu as emissões detectadas por eles	36
Figura 19 – (a) Matriz de intensidades de emissão colorida e (b) de cima para baixo, Júpiter, Sol e Lua observados em ondas de rádio e no óptico, respectivamente.	37
Figura 20 – Antenas de 6,1 m do Allen Telescope Array (ATA), na Califórnia - EUA.	38
Figura 21 – Ejeção de Massa Coronal (EMC) ocorrida em 31 de agosto de 2012.	39
Figura 22 – Representação artística da magnetosfera da Terra sob influência de uma tempestade solar. Créditos: NASA.	39
Figura 23 – Antena de banda Ku, 60 cm, e registro de emissão solar. Créditos: Autor.	45
Figura 25 – Diagrama geral exemplificando o funcionamento do radiotelescópio.	49
Figura 26 – Detalhes da antena tipo offset. Créditos: Autor.	49
Figura 27 – Diagrama do circuito de um LNB.	50
Figura 28 – SatFinder e arduino conectados e prontos para operar.	50
Figura 29 – Aplicativo para coleta de dados de arduino via bluetooth desenvolvido na plataforma AppInventor.	52

Figura 30 – Mostrador analógico do SatFinder utilizado para aferir a intensidade do sinal dos satélites alvo.	53
Figura 31 – Detalhes para obtenção do sinal do SatFinder. Créditos: Autor.	54
Figura 32 – Placa Funduino MEGA 2560, baseada no Arduino MEGA 2560.	54
Figura 33 – Fonte de alimentação e conectores. Créditos: Autor.	55
Figura 34 – Placa arduino modelo UNO e IDE programação. Créditos: Autor.	56
Figura 35 – Interface do SerialPlot durante uma observação de trânsito solar.	57
Figura 36 – Primeiras bases construídas para testar o radiotelescópio. Créditos: Autor.	59
Figura 37 – Testes de observação de trânsito solar com uma antena de 90 cm, de banda Ku. Créditos: Autor.	60
Figura 38 – Da esquerda para a direita, bússolas: de metal, de acrílico e smartphone.	60
Figura 39 – Registro do trânsito solar em 12-11-2022 utilizando antena de 90 cm.	61
Figura 40 – Antena de banda Ku utilizada nos testes. Créditos: Autor.	62
Figura 41 – Registro do trânsito solar em 22-11-2022.	62
Figura 42 – Registros de emissão do Sol. Créditos: Autor.	63
Figura 43 – Diferentes referências de altura em antenas de banda Ku. Créditos: Autor.	64
Figura 44 – Registros de emissão do Sol. Créditos: Autor.	65
Figura 45 – Registro de trânsito solar em 23-03-2023.	65
Figura 46 – Comparação de registros obtidos por duas antenas diferentes. Créditos: Autor.	66
Figura 47 – Detalhes técnicos das antenas utilizadas. Créditos: Autor.	66
Figura 48 – Esquerda: vista superior. Direita: vista lateral. Todas as medidas estão em centímetros. As marcações em “X” indicam os locais onde parafusar as partes.	68
Figura 49 – Confecção da base do radiotelescópio. Créditos: Autor.	69
Figura 50 – Detalhes da nova base. Créditos: Autor.	69
Figura 51 – Antena montada sem o LNB.	70
Figura 52 – Ajuste de azimute em antenas de banda Ku. Créditos: Autor.	70
Figura 53 – Observação realizada com uma antena de 90 cm.	71
Figura 54 – Tabela com os dados coletados do trânsito solar observado em 26 de março de 2023.	72
Figura 55 – Registro de trânsito solar em 26-03-2023.	72

LISTA DE SIGLAS

A/D - Analógico para Digital. [52](#), [53](#), [56](#), [57](#)

ALMA - Atacama Large Millimeter Array. [33](#)

BNCC - Base Nacional Comum Curricular. [42](#)

CCD - Charge-Coupled Device. [35](#)

EHT - Event Horizon Telescope. [34](#)

EMC - Ejeção de Massa Coronal. [38](#)

FI - Frequência Intermediária (950 MHz a 2150 MHz) de transmissão de sinal em cabos coaxiais. [51](#), [52](#)

GND - Ground. [59](#)

GPS - Global Positioning System. [39](#)

IDE - Integrated Development Environment. [55–58](#)

LNB - Low-noise block converter (conversor de baixo ruído). [51–55](#)

MDF - Medium Density Fiberboard, em português, placa de fibra de média densidade. Esse material é resultado da mistura da fibra da madeira com resinas sintéticas. [49](#)

RCA - Tipo de conexão analógica desenvolvida pela RCA Corporation, também chamada no Brasil de AV. [54](#)

SatFinder - Satellite Finder. [52–55](#)

SETI - Search for Extraterrestrial Intelligence. [36](#)

Sgr A* - Sagitário A*. [34](#)

VLA - Very Large Array. [32](#), [33](#), [40](#)

SUMÁRIO

	Lista de Siglas	17
1	INTRODUÇÃO	21
1.1	Sobre este projeto	22
1.2	Para a Astronomia, Tudo é Luz	23
1.2.1	Os Raios Invisíveis de Herschel	24
1.2.2	As Misteriosas Linhas de Fraunhofer	25
1.2.3	Calor e Luz Agora Sob o Olhar da Química	26
1.2.4	A Transparência da Atmosfera	30
1.3	O Universo Invisível da Radioastronomia	32
1.3.1	Origens da radioastronomia	32
1.3.2	Radioastronomia contemporânea	33
1.3.3	Como são formadas as imagens na radioastronomia	36
1.3.4	A busca por vida extraterrestre	37
1.3.5	Tempestades Solares e Monitoramento do Clima Espacial	38
1.4	Revisão Bibliográfica do Ensino de Astronomia	41
1.4.1	Deficiência na formação dos professores	41
1.5	Análise de Conteúdo de Bardin	44
1.6	Objetivo Deste Trabalho	45
2	DESENVOLVIMENTO	47
2.1	Um mar de antenas nos telhados	47
2.2	Construção do Radiotelescópio de Pequeno Porte	48
2.2.1	Visão geral do sistema eletrônico do radiotelescópio	48
2.2.2	Montagem do amplificador de sinal usando <i>satellite finder</i>	53
2.2.2.1	Alimentação do SatFinder	55
2.2.3	Conversão A/D com arduino	55
2.2.3.1	O que é arduino?	55
2.2.3.2	O conversor A/D	56
2.2.4	Visualização de dados do trânsito solar	57
2.3	Testes de captação solar com antenas de 90 e 60 cm	59
2.3.1	Testando a estrutura de apoio do radiotelescópio	59
2.3.1.1	Diferenças entre as antenas de 90 e 60 cm	66
2.3.2	Estrutura definida para construção	68
2.4	Exemplo de observação com o radiotelescópio	71

3	APLICAÇÃO E RESULTADOS	73
3.1	Aplicando a Análise de Conteúdo	74
3.1.1	Pré-análise	74
3.1.2	Exploração do material e interpretação	75
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	85
	REFERÊNCIAS	89
	ANEXOS	95
	ANEXO A – PRODUTO EDUCACIONAL	97

1 INTRODUÇÃO

*Veio de longe, e o meu amor
despenhou-se do vácuo
Como um negro sol incendiado,
varando milênios
De solidão e desencontro,
recuperando
Infinitos perdidos, espaços
Abandonados, arrastando no seu
vórtice
Astros sem luz, estrelas
moribundas
Mundos sem amanhã.*

Todo amor
Vinicius de Moraes

Aqueles que têm o privilégio de ainda poder olhar um céu estrelado numa noite escura, podem contemplar uma das mais belas paisagens do cosmos, a noite estrelada. O famoso pintor Vincent van Gogh eternizou em óleo sobre tela uma representação dessa bela paisagem (Figura 1). A contemplação do cosmos nos coloca frente a questões que podem parecer intimidadoras, e de fato o são, mas em nosso tempo temos ferramentas e conhecimento suficientes para, ao menos, desafiar os portões dos céus e investigar os mistérios das noites estreladas.



Figura 1 – Vincent van Gogh, A Noite Estrelada, Saint Rémy, June 1889.

1.1 SOBRE ESTE PROJETO

Queremos desenvolver aqui um experimento que permita examinar algo que é invisível aos olhos, mais especificamente, as ondas de rádio emitidas pelo Sol no comprimento de onda de 25 mm (12 GHz), que é também a faixa comercial utilizada na recepção de TV via satélite.

Apresentaremos um manual ([Anexo A](#)) que ensina a construir e operar um pequeno radiotelescópio como proposta didática para o ensino de física e astronomia aos estudantes do ciclo básico. Em seguida, avaliaremos a viabilidade de aplicação do experimento, utilizando um questionário estruturado e interpretado por meio da análise de conteúdo de Bardin, com base nos comentários recebidos de docentes atuantes no ensino básico. Ao final desta pesquisa, com esses dados em mão, refinamos o produto educacional na forma de um manual didático de como construir e operar o pequeno radiotelescópio, que está disponível no [Anexo A](#).

A seguir, neste Capítulo 1, traremos uma síntese de como o entendimento do que é a luz evoluiu desde Newton e Huygens, até chegar em uma grandeza física fundamental para compreender os fenômenos do cosmos, desde as poderosas emissões energéticas de buracos negros distantes até as tempestades solares que ocorrem no nosso sistema solar. Em seguida, revisaremos o que tem sido discutido a respeito da formação de professores para o ensino de astronomia e definiremos a metodologia de análise de dados adotada neste trabalho. Por fim apresentaremos os objetivos desta pesquisa.

No Capítulo 2 comentaremos sobre a ideia de reciclar antenas de TV via satélite. Falaremos sobre o processo de desenvolvimento do pequeno radiotelescópio e os pontos principais de seu funcionamento. Também apresentaremos o resultado de diversos testes de observação do Sol.

No Capítulo 3 discutiremos os resultados obtidos a partir da fala de diversos professores a respeito da viabilidade de aplicar esse experimento em suas realidades escolares.

Por fim, no Capítulo 4, faremos as considerações finais acerca dos objetivos da pesquisa.

1.2 PARA A ASTRONOMIA, TUDO É LUZ

Por meio da luz podemos tanto contemplar belas paisagens quanto desvendar os mistérios do cosmos. Conforme o dicionário brasileiro da língua portuguesa Michaelis ¹, a palavra “luz”, dependendo do contexto, pode ter até 26 significados diferentes, tanto de caráter científico quanto figurativo. Mas vamos nos ater ao significado físico da luz:

A porção da irradiação eletromagnética à qual os órgãos da visão reagem e cujo comprimento de onda varia de 3.000 a 7.000 angstroms.

Ter acesso a essa definição contemporânea talvez seja de causar inveja aos mais destacados intelectuais da antiguidade. Isaac Newton (1643-1727) e Christiaan Huygens (1629-1695), já sob a luz do renascimento, escreveram trabalhos para tentar explicar os fenômenos e propriedades da luz, mas sem chegar numa concepção formal a respeito da natureza da luz.

Huygens pensava na luz como sendo pulsos não periódicos propagados pelo éter, ideia que mais tarde evoluiu, com Leonhard Euler (1707-1783), para uma teoria ondulatória da luz. Newton pensava que uma concepção corpuscular seria uma hipótese provável, porém, a ideia carecia de evidências (Moura, 2016). Em Ótica (1670), Newton apresentou seus famosos experimentos com prismas que dispersavam a luz em várias cores, a luz branca era, na verdade, uma composição de diversas cores. Esses experimentos fascinaram os cientistas da época e abriram caminho para novas investigações acerca da natureza da luz (Figura 2).



Figura 2 – Isaac Newton dispersando luz com um prisma de vidro.

Créditos: Apic/Getty Images.²

¹ Disponível em: <<https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/luz>>

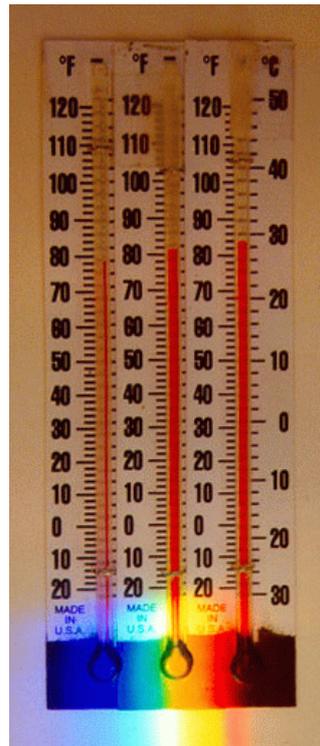
² Disponível em: <<https://www.biography.com/news/isaac-newton-quarantine-plague-discoveries>>

1.2.1 Os Raios Invisíveis de Herschel

Outro passo importante no desenvolvimento da ciência, foi a descoberta da radiação infravermelha pelo astrônomo William Herschel (1738-1822), uma forma de luz invisível aos olhos humanos. Herschel era bastante conhecido entre a comunidade científica de sua época por descobrir o planeta Urano, além de outras importantes contribuições observacionais. Ele desenvolveu experimentos sobre o poder de aquecimento dos raios coloridos, ou seja, das cores obtidas a partir da luz branca.



(a) Frederick William Herschel (National Portrait Gallery, London).



(b) Reprodução do experimento em escola.

Figura 3 – Herschel e os raios invisíveis.³

Basicamente, Herschel utilizava um prisma para separar o espectro da luz solar e, com um termômetro, media a temperatura em cada uma das cores (Figura 3(b)). Assim, ele percebeu que as cores apresentavam diferentes poderes de aquecimento.

Em abril de 1800, Herschel apresentou no artigo *Experiments on the Refrangibility of the Invisible Rays of the Sun* uma de suas maiores descobertas experimentais. Seus experimentos revelaram que um termômetro, quando colocado além da cor vermelha, indicava um aumento de temperatura em relação ao que era obtido no vermelho. Essa era, como conhecemos hoje, a radiação infravermelha. Porém, do outro lado do espectro além do violeta, ele não encontrou mudança perceptível (uma limitação de seus equipamentos),

³ Disponível em: <https://www.all-science-fair-projects.com/science_fair_projects/760.html>

o que o levou a pensar que não existissem os que ele chamou de raios invisíveis além do violeta. Hoje sabemos que ali existe o ultravioleta.

Herschel também concluiu que o Sol emitia algum tipo de raio de calor invisível, porém, ele pensava que, ao contrário do que se sabe hoje, o calor radiante e a luz eram propriedades essencialmente diferentes. Anos depois essa concepção foi superada, mas as questões levantadas nesse estudo levaram a investigações que possibilitaram contribuir bastante com o desenvolvimento da ciência (Oliveira; Silva, 2014).

1.2.2 As Misteriosas Linhas de Fraunhofer

Joseph von Fraunhofer (1787-1826), considerado o precursor da espectroscopia, foi um grande construtor de lentes que contribuiu bastante para o aperfeiçoamento da ótica. Em 1814, utilizando um prisma de maior qualidade para separar as cores do espectro solar, ele descobriu que as já conhecidas linhas escuras do gradiente de cores sempre se repetiam nos mesmos lugares, ou seja, havia um padrão (Figura 4).



Figura 4 – Fraunhofer e as linhas escuras do espectro solar.
Créditos: Fraunhofer-Gesellschaft

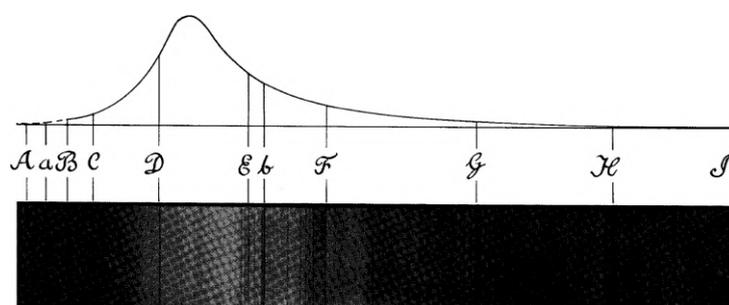


Figura 5 – Espectro da luz solar e curva da sensibilidade relativa do olho ao contínuo solar.
Créditos: American Journal of Physics 43, 59-68 (1975)

Embora Fraunhofer não tivesse sido o primeiro a observar aquelas linhas, foi ele quem reconheceu nelas uma propriedade inerente da luz solar e não uma falha do

equipamento óptico (Society, 2021). Às linhas escuras mais proeminentes, ele atribuiu nomes de letras em ordem do vermelho ao violeta (A, a, B, C, D, E, b, F, G, H e I) (Figura 5). De acordo com sua contagem, ele identificou 574 linhas escuras entre B (vermelho) e H (violeta) (Leitner, 1975). O que seriam essas misteriosas linhas escuras? O certo era que a cada nova descoberta o cosmos ficava mais misterioso e fascinante. Posteriormente, com os trabalhos de Kirchhoff e Bunsen, descobriu-se que as falhas eram causadas pela presença de gases que absorviam certos comprimentos de onda entre a fonte, o Sol, e o receptor na Terra.

1.2.3 Calor e Luz Agora Sob o Olhar da Química

Na década de 1850, Robert Bunsen (1811-1899), um notável químico experimental, desenvolveu o bico de bunsen a partir de um queimador inventado por Aimé Argand e Michael Faraday (Figura 6(a)). Essa invenção se mostrou bastante vantajosa nos testes secos de química analítica, pois possibilitou produzir, de maneira segura, chamas muito quentes. Qualquer laboratório de química hoje possui bicos de Bunsen. Robert identificava metais e seus sais componentes por meio da análise da cor da chama apresentada durante a queima de amostras deles (Caceres, 2021). Na Figura 6(b) podemos ver que o lítio ao ser queimado produz luz vermelha, o sódio produz amarelo e o cobre tons de verde. Os cientistas descobriram que a cor e a composição química estavam relacionadas.

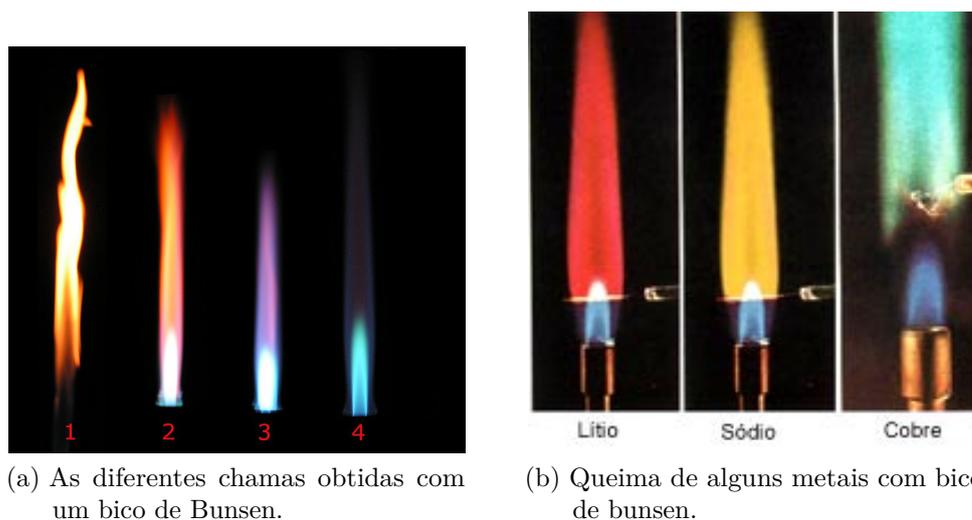


Figura 6 – Experimentos de Bunsen.⁴

⁴ a) Por Arthur Jan Fijałkowski - Obra do próprio, CC BY-SA 3.0, disponível em: <<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=279768>> e b) disponível em: <<https://www.apolo11.com/espectro.php>>



Figura 7 – Gustav Kirchhoff (esquerda) e Robert Bunsen em 1850.⁵

Bunsen trabalhou com Gustav Kirchhoff (1824-1887)(Figura 7), que sugeriu usar um prisma para observar o espectro da luz originada da queima das substâncias. Os dois realizaram análises espectrais de diversas substâncias e descobriram que cada elemento químico apresentava um espectro característico durante a queima.

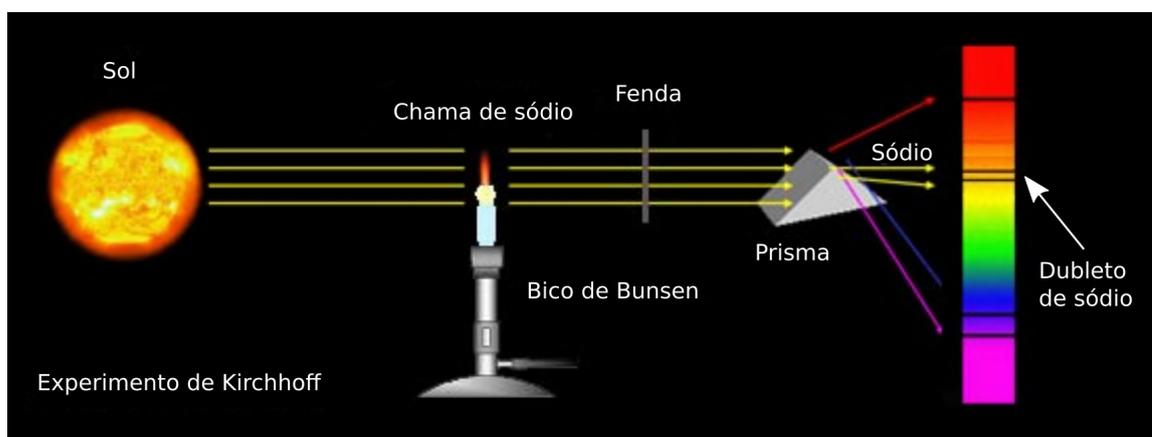


Figura 8 – Experimento de Kirchhoff.⁶

Em 1859 eles descobriram que a luz da queima do sódio correspondia a algumas falhas do espectro da luz solar. Essas duas linhas, representadas na Figura 8, são chamadas de dublete de sódio e são decorrentes da absorção de luz solar que o gás sódio queimando no Bico de Bunsen provoca. Quando Kirchhoff realizou esse experimento, ele esperava que a luz do sódio preencheria perfeitamente o espaço faltante, mas ocorreu o contrário, as faixas escuras ficaram mais evidentes. Ou seja, quando o sódio era queimado sozinho em laboratório, ele produzia linhas de emissão, semelhante ao espectro de emissão da Figura 9 que coincidiam perfeitamente com uma das partes faltantes do espectro solar (de absorção)

⁵ Disponível em: <<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=6890735>>

⁶ Adaptado de “Construa um espectroscópio caseiro com caixa de papelão!” Disponível em: <<https://www.apolo11.com/espectro.php>>

quando as duas imagens eram comparadas. Porém, quando a luz solar incidia sob essa chama do sódio, a absorção daquelas faixas de luz aumentava em vez de diminuir, gerando um espectro de absorção (Filho; Saraiva, 2020).

Kirchhoff então substituiu a luz solar por um sólido quente que emitiria um espectro contínuo, semelhante ao do Sol. Como esperado, o espectro projetado da luz do sólido apresentava as mesmas linhas escuras do Sol na posição das linhas do sódio quando atravessava a chama de sódio. Ele então concluiu que o Sol era um gás ou sólido muito quente, capaz de emitir um espectro contínuo, envolto por uma atmosfera de gases mais frios que absorviam faixas do espectro solar. Estas camadas mais frias, que provavelmente continham sódio dentre seus componentes, produziam as linhas escuras captadas no espectro do Sol. No decorrer de seus estudos ele descobriu mais elementos que apresentavam resultados semelhantes noutras cores, como o magnésio, cálcio, cromo, cobalto, etc (Oliveira; Silva, 2014).

Os cientistas então perceberam que a origem das Linhas de Fraunhofer era decorrente da presença de diferentes elementos químicos na atmosfera do Sol, esses elementos absorviam parte da luz emitida. Havia uma relação direta entre as emissões dos elementos e a luz absorvida pelos mesmos, como no caso do sódio, dessa forma, foi possível determinar a composição química do Sol, de outras estrelas e demais objetos do céu.

Baseado nesses experimentos, Kirchhoff formulou as três leis da espectroscopia que também estão ilustradas na Figura 9:

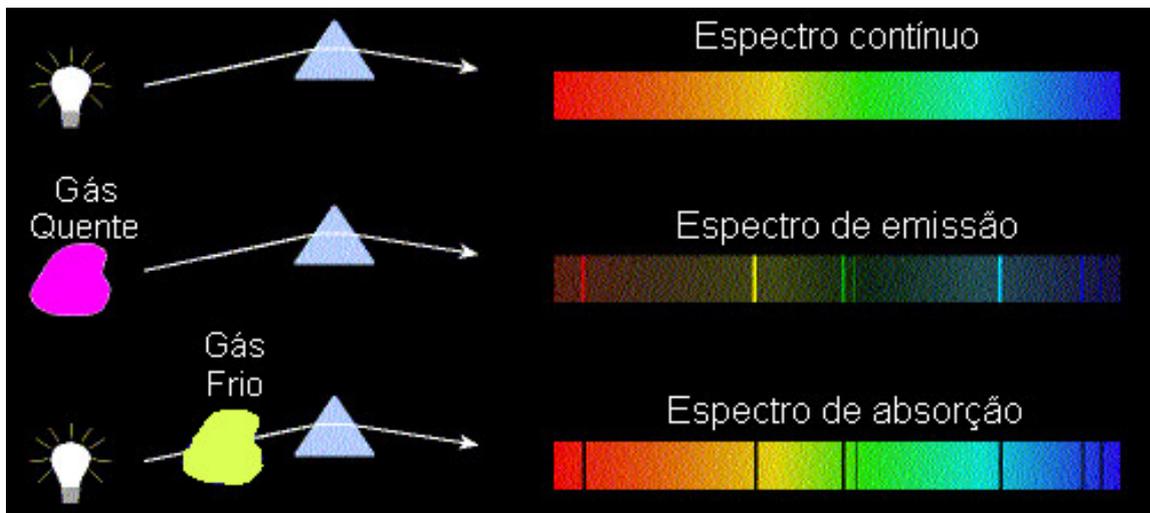


Figura 9 – Leis empíricas de Kirchhoff para o estudo dos espectros.⁷

- i) *Um corpo opaco quente, sólido, líquido ou gasoso, emite um espectro contínuo;*
- ii) *Um gás transparente produz um espectro de linhas brilhantes (de emissão). O número e a posição destas linhas depende dos elementos químicos presentes no gás;*

⁷ Disponível em: <<http://astro.if.ufrgs.br/rad/espec/espec.htm>>

iii) Se um espectro contínuo passar por um gás à temperatura mais baixa, o gás frio causa a presença de linhas escuras (um espectro de absorção, como o do Sol). O número e a posição destas linhas depende dos elementos químicos presentes no gás.

Dessa forma, as bases da espectroscopia moderna foram estabelecidas e astrônomos em vários centros de pesquisa agora se dedicavam a observar e registrar espectros estelares. O espectro de emissão da informações, por exemplo, da composição de nebulosas e nuvens de gás interestelar. Já o espectro de absorção nos permite deduzir a composição química da fotosfera das estrelas. A química do Sol e das nebulosas distantes foi desvendada, assim como, a descoberta de novos elementos químicos na Terra.

James Clerk Maxwell (1831-1879) em seu artigo, *A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field* de 1865, ajudou a esclarecer mais sobre a natureza da luz, ao demonstrar matematicamente que a luz é o resultado da interação de um campo elétrico e um magnético, ou seja, uma onda eletromagnética como é chamada atualmente. Johann Balmer, em 1885, conseguiu descrever, por meio de experimentos, a relação matemática existente entre os quatro comprimentos de onda emitidos na luz visível pelo átomo de hidrogênio excitado, que ficaram conhecidos como Série de Balmer. Outras séries foram descobertas depois em comprimentos de onda na faixa do infravermelho (Série de Paschen) e ultravioleta (Série de Lyman). Isso contribuiu para o entendimento da estrutura atômica e a formulação do modelo atômico atual, composto de um núcleo envolto por uma nuvem eletrônica. Além do espectro visível, os átomos e moléculas, seja em estado excitado, rotacionando ou vibrando, emitem luz nas faixas dos Raios-X, ultravioleta, infravermelho e rádio.

A luz então não se restringia ao aspecto visual, era algo muito mais amplo do que pensaram os primeiros estudiosos. Sendo assim, da mesma maneira como a luz visível permitiu a Kirchhoff determinar a composição do Sol, as demais formas de radiação eletromagnética permitem hoje determinar a composição e características físicas de objetos celestes distantes da Terra. Na [Figura 10](#) podemos ver as variadas faixas de luz que podem ser usadas para realizar estudos científicos pela astronomia. A nossa compreensão do cosmos aumentou em muito com o entendimento da natureza da luz.

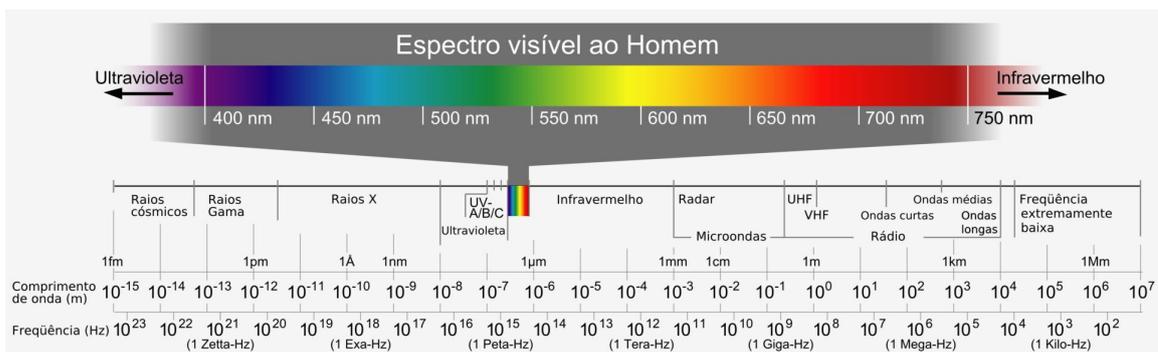


Figura 10 – Espectro eletromagnético conhecido.⁸

1.2.4 A Transparência da Atmosfera

O espectro eletromagnético se revelou como algo muito além do que o olho humano é capaz de perceber. Para além da onda de luz vermelha Herschel descobriu o infravermelho, além dela outros pesquisadores depois descobriram as micro-ondas e o rádio. A atmosfera da Terra, devido à absorção pela ionosfera, limita os baixos comprimentos de onda (Figura 11), ou seja, as radiações gama, raios-X e uma parte do ultravioleta (Miller, 1998).

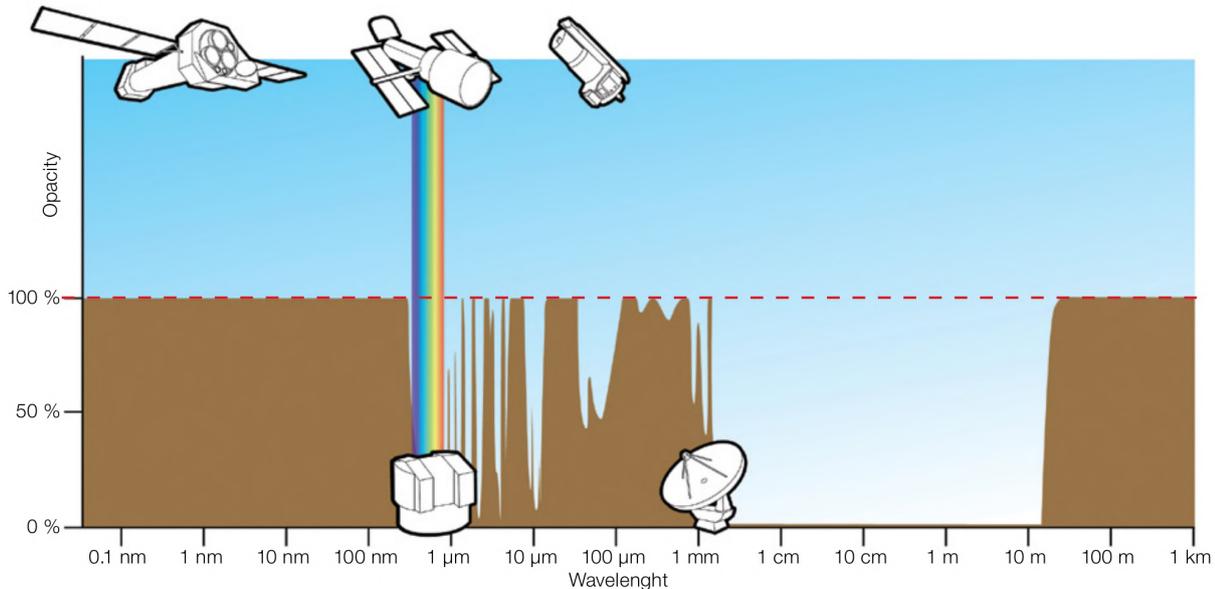


Figura 11 – Transparência da atmosfera para diferentes comprimentos de onda.
Créditos: ESA/Hubble (F. Granato)

Na luz visível há uma janela extensivamente usada pelos astrônomos desde a invenção do telescópio. Já na região do infravermelho, ocorrem variações na opacidade da atmosfera, sendo necessário que alguns mapeamentos e estudos sejam realizados por equipamentos na órbita da Terra, como, por exemplo, o Observatório Espacial Herschel (Esa, 2019).

Na Figura 11 temos a Janela do Rádio delimitada pelos comprimentos de onda de aproximadamente 10 m até cerca de 1 mm (30 MHz a mais de 300 GHz). Na faixa do infravermelho (aproximadamente entre 1 micrometro e 1 mm) temos absorção de radiação eletromagnética pelos gases do efeito estufa (CO_2 , CH_4). Do outro lado, além do comprimento de 10 m, temos atenuação de sinal devido a reflexão crítica das ondas na ionosfera. Além da faixa de rádio FM (88 - 108 MHz) temos a AM (540 - 1650 KHz), que se beneficia bastante do fenômeno da reflexão das ondas de rádio na ionosfera, porém a atividade solar altera o nível de ionização da alta atmosfera, modificando as frequência de reflexão e afetando a comunicação na faixa AM.

⁸ Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Electromagnetic_spectrum_-pt.svg&oldid=680390853>

Para a astronomia, que até o século XIX era altamente dependente das boas condições atmosféricas para realizar observações, uma grande fronteira se abriu, pois na Janela do Rádio existe um amplo espectro ao qual a atmosfera é transparente, possibilitando dessa maneira o desenvolvimento de uma abundância de estudos, sem a necessidade de colocar um telescópio em órbita da Terra.

1.3 O UNIVERSO INVISÍVEL DA RADIOASTRONOMIA

1.3.1 Origens da radioastronomia

Desde os primórdios da radioastronomia, por volta de 1930, esse ramo da astronomia cresceu e se estabeleceu como grande área de pesquisa científica. Em 1931, o engenheiro Karl Jansky trabalhava para a empresa de telefonia Bell Telephone Laboratories na tarefa de identificar as origens das interferências misteriosas que afetavam as transmissões de rádio ([Britannica, 2023](#)).

Com sua antena direcional linear ([Figura 12](#)) ele identificou quase todas as fontes, com exceção de uma, que após algum tempo estudando ele chegou a conclusão de que ela provinha do espaço, mais especificamente da direção da constelação de Sagitário, que hoje sabemos ser a direção do centro da Via-Láctea e de seu buraco negro, originalmente identificada como a radiofonte Sagitário A.

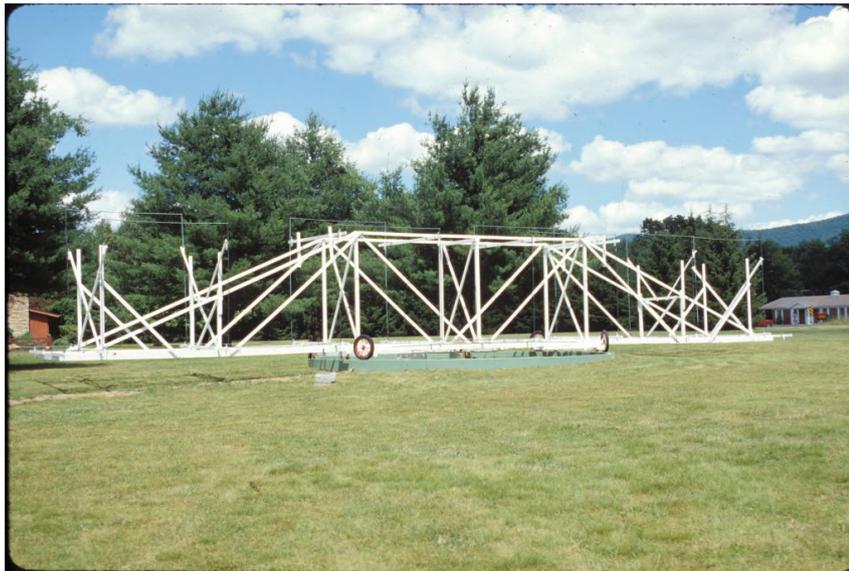


Figura 12 – Réplica da antena usada por Jansky, no Observatório Green Bank.
Créditos: NRAO/AUI/NSF

Embora Jansky tenha feito descobertas incríveis, a empresa em que trabalhava não quis financiar mais pesquisas sobre as radiofontes descobertas. Coube a Grote Reber, também engenheiro, dar os próximos passos da radioastronomia ([Britannica, 2022](#)). Fascinado pelos resultados de Jansky, Reber tentou por conta própria adaptar seus equipamentos para captar ondas de rádio do espaço, mas só obteve sucesso em 1937 quando construiu uma antena 9,4 m de diâmetro ([Figura 13](#)). Ele confirmou a origem das emissões captadas por seu antecessor e com uma antena capaz de fazer rastreamento do céu elaborou os primeiros mapas de rádio do céu ([Aquino, 2013](#)).



Figura 13 – Primeiro radiotelescópio construído por Grote Reber.
Créditos: NRAO/AUI/NSF.

1.3.2 Radioastronomia contemporânea

O desenvolvimento da radioastronomia se deu com força após a Segunda Guerra Mundial com a construção de antenas dedicadas e uso de técnicas que combinavam várias antenas para observar o céu. Uma dessas redes é o *Very Large Array (VLA)*, construído na década de setenta no deserto do Novo México, EUA ([Figura 14](#)).



Figura 14 – Conjunto de antenas do Very Large Array, localizado no EUA.
Créditos: VLA.

Como antenas grandes eram caras demais e até impraticáveis do ponto de vista

de engenharia, uma alternativa foi usar a técnica da interferometria, onde várias antenas espaçadas entre si, desde poucos metros até centenas de quilômetros, podem ser combinadas para simular uma antena maior para conseguir aumentar a resolução. Assim nasceram os grandes arranjos de antenas, como o [VLA](#) e o *Atacama Large Millimeter Array - ALMA*, construído entre os anos de 2004 e 2013 no alto da Cordilheira dos Andes, no Chile ([Figura 15](#)).



Figura 15 – Radiotelescópios na Cordilheira dos Andes. Créditos: ALMA.

Na [Figura 16](#) podemos ver um dos resultados obtidos usando diferentes comprimentos de onda para observar a galáxia Centauro A, distante 13 milhões de anos-luz da Terra.

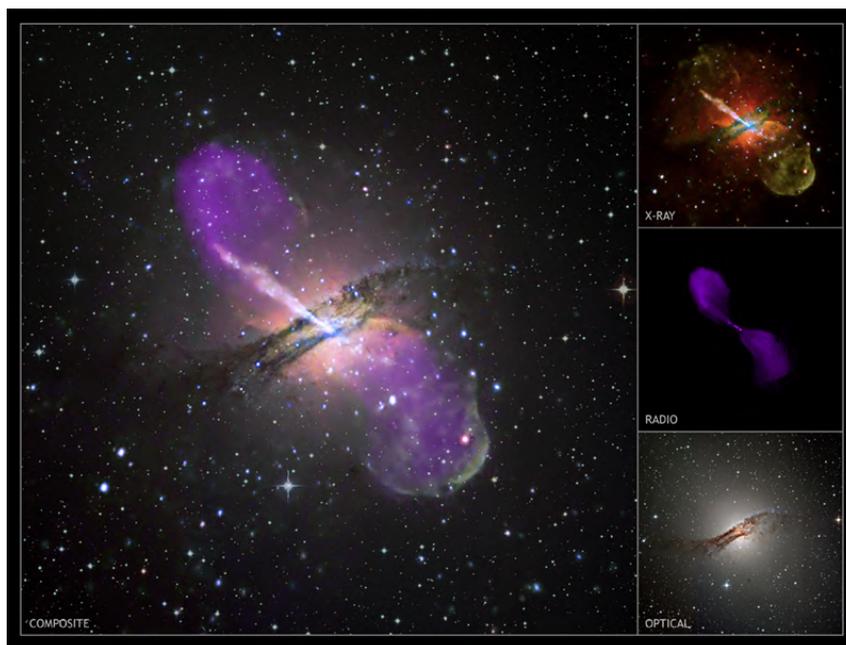


Figura 16 – Composição de vários comprimentos de onda da galáxia Centauro A.⁹

⁹ Créditos: X-ray: NASA/CXC/CfA/R.Kraft et al; Radio: NSF/VLA/Univ.Hertfordshire/M.Hardcastle; Optical: ESO/WFI/M.Rejkuba et al.

No caso, vemos uma composição (imagem maior) de três imagens obtidas em diferentes comprimentos de onda da mesma galáxia. A primeira imagem é uma observação em raios-x, a segunda em rádio (cor roxa) e a terceira em luz visível. É evidente a grande diferença entre as observações, cada uma destaca diferentes características da galáxia. A Centauro A é conhecida por sua forte emissão em rádio e raios-x, isso decorrente dos processos físicos em torno do buraco negro supermassivo de seu centro galáctico. Os grandiosos jatos relativísticos (feixes de matéria ionizada lançados em velocidades próximas a da luz) do buraco negro são bastante evidentes nas imagens em rádio e raios-x. Se ainda dependêssemos apenas da luz visível esse fenômeno permaneceria oculto da nossa ciência.

Na [Figura 17](#) vemos uma das imagens que causaram grande impacto na comunidade científica no ano de 2019. Se trata da primeira imagem obtida do horizonte de eventos de um buraco negro supermassivo, localizado na galáxia M87, distante mais de 53 milhões de anos-luz da Terra, na direção da constelação de Virgem. Essa imagem foi um grande feito realizado na radioastronomia, diversos radiotelescópios ao redor do mundo foram combinados para realizar a técnica da interferometria e criar um radiotelescópio do tamanho da Terra. Dessa forma, foi possível alcançar resolução suficiente para imagear esse buraco negro.

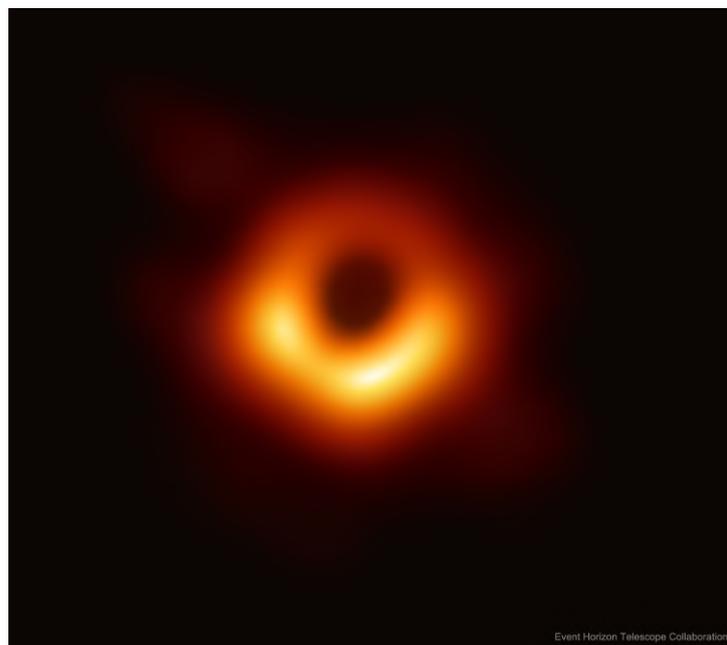


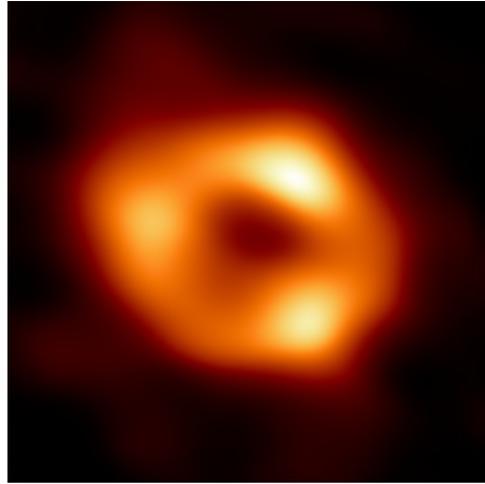
Figura 17 – Imagem do buraco negro supermassivo da galáxia M87 obtida pelo projeto Event Horizon Telescope. Créditos: EHT.

Já na [Figura 18](#) vemos os pioneiros Karl Jansky e Grote Reber, no centro está a imagem do buraco negro supermassivo da Via-Láctea, o Sagitário A* (comumente referido pela sigla [Sgr A*](#)), que foi obtido também pela equipe do *Event Horizon Telescope* - EHT. O [Sgr A*](#) está distante da Terra cerca de 25 mil anos-luz, na direção da constelação que dá seu nome. Jansky e Reber não sabiam qual era a natureza da radiofonte que observavam,

mas nos anos 30 do século XX conseguiam captar as emissões de rádio em 20,5 MHz do que hoje sabemos ser um grande buraco negro.



Karl G. Jansky



Sagitário A*



Grote Reber

Figura 18 – Pioneiros da radioastronomia que detectaram a grande fonte de rádio na direção do centro galáctico e a imagem que temos hoje do objeto que produziu as emissões detectadas por eles. Créditos: NRAO/AUI/NSF; EHT.¹⁰

1.3.3 Como são formadas as imagens na radioastronomia

As emissões em rádio não são visíveis, por isso, as cores que vemos são escolhidas pelos pesquisadores para contrastar detalhes de interesse científico. Em astronomia óptica são utilizados sensores **CCD** (*Charge-Coupled Device*) ou **CMOS** (*Complementary Metal-Oxide Semiconductor*) para se produzir as imagens, semelhante aos *smartphones*. Esse sensor é composto de pequenas células sensíveis à luz (fótons), que pode ser pensado como uma matriz de linhas e colunas. Quanto mais linhas e colunas tiver o sensor **CCD**, maior será a resolução da imagem obtida. Tudo que um sensor **CCD** precisa é que o objeto alvo permaneça à frente dele por um determinado tempo. Isso, somado aos demais equipamentos técnicos, permite obter uma imagem (ESO, 2019).

Já na radioastronomia, não há um sensor como o **CCD**. O objetivo final também será montar uma matriz de linhas e colunas, mas o radiotelescópio não tem um **CCD** cheio de fotocélulas. Em vez disso, é como se o radiotelescópio operasse com uma única célula que é sensível a emissões numa determinada frequência de rádio. Para se montar uma imagem de uma galáxia, como a da Figura 19(a), é preciso que a antena faça movimentos para rastrear a área do céu em que o objeto se encontra, ponto a ponto, a cada instante fazendo medições da intensidade local do sinal. A cada instante a informação é recolhida e armazenada num computador, dessa forma, é possível obter uma matriz de intensidades, linha a linha. Após fazer muitas varreduras que produzirão várias linhas de dados, será

¹⁰ Disponível em: <<https://www.invent.org/inductees/grote-reber>>

possível combinar linha sob linha e formar a imagem, como a galáxia da Figura 19(a). Já na Figura 19(b) as imagens da esquerda e da direita são respectivamente imagens obtidas em rádio e no óptico dos mesmos objetos: Júpiter, o Sol e a Lua. No caso de Júpiter as ondas de rádio em destaque, pelo gradiente de vermelho a azul, se devem pela radiação síncrotron decorrente de elétrons acelerados no forte campo magnético do planeta (Jácome; Echer; Marques, 2023). Já a Lua reflete parte da radiação solar que incide sobre ela.

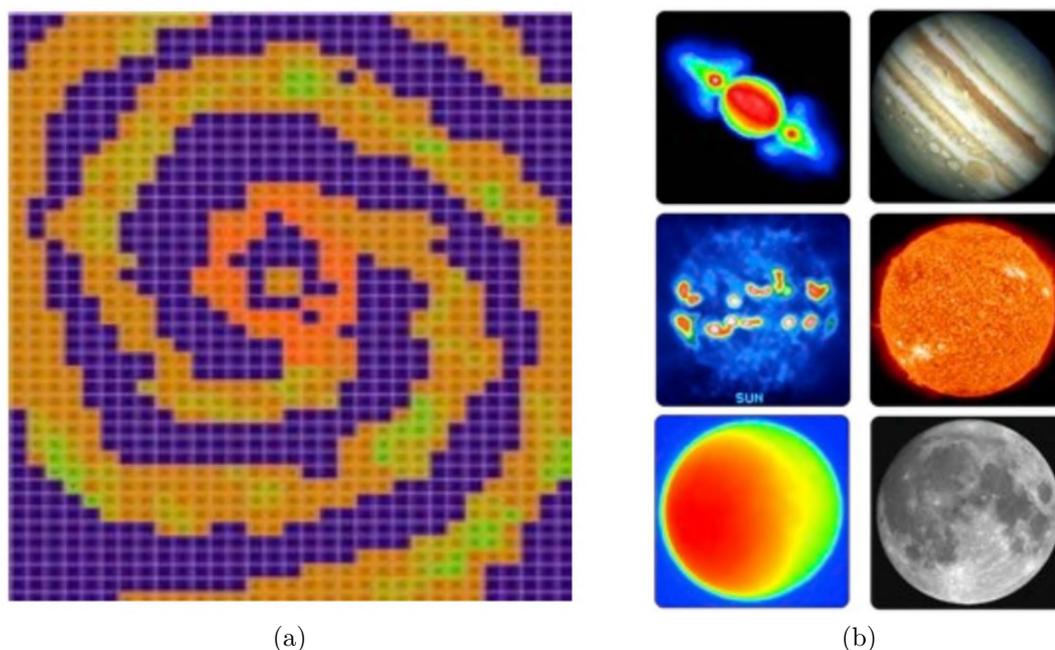


Figura 19 – (a) Matriz de intensidades de emissão colorida e (b) de cima para baixo, Júpiter, Sol e Lua observados em ondas de rádio e no óptico, respectivamente. Créditos: Manual de Radioastronomia - ALMA na Escola.

1.3.4 A busca por vida extraterrestre

Outra faceta curiosa da radioastronomia é a pesquisa por vida extraterrestre inteligente, executada principalmente por meio dos projetos do Instituto SETI (*Search for Extraterrestrial Intelligence*) (Shostak, 2021).

Na segunda metade do século ficou claro que o rádio era uma excelente forma de comunicação a longas distâncias, principalmente a faixa das micro-ondas (comprimento de onda em centímetros), que atravessam quase livres a poeira e gás interestelar.¹¹

Também houve consenso de que a faixa de frequências entre 1420 e 1666 MHz (18 a 21 cm) poderia ser a preferida para comunicação interestelar. Isso porque essas frequências são as de emissão do hidrogênio neutro e da hidroxila, que formam a molécula da água, componente fundamental da vida como a conhecemos na Terra. Na Figura 20

¹¹ Disponível em: <<https://www.seti.org/primer-seti-seti-institute>>

vemos primeiro radiotelescópio concebido exclusivamente para buscas por transmissões extraterrestres na faixa de frequências de 1.000 a 15.000 MHz.



Figura 20 – Antenas de 6,1 m do Allen Telescope Array (ATA), na Califórnia - EUA.
Créditos: SETI Institute.

Conforme proposto em 1959, pelos físicos Philip Morrison e Giuseppe Cocconi, civilizações técnicas, como a nossa, ao desenvolverem a tecnologia do rádio teriam em mãos uma ferramenta capaz de se comunicar com outros sistemas estelares. Somando isso ao desenvolvimento natural da sociedade, as transmissões de rádio acabariam saindo da atmosfera e viajando sem rumo certo pelo espaço, cobrindo grandes distâncias em anos-luz. Se essas civilizações por ventura existirem, bastaria dedicar alguns radiotelescópios para escutá-las e assim responder umas das perguntas mais fascinantes da ciência, se estamos ou não sozinhos neste universo.

1.3.5 Tempestades Solares e Monitoramento do Clima Espacial

Na superfície do Sol ocorrem as Ejeções de Massa Coronal (**EMC**), um processo associado às instabilidades do intenso campo magnético solar, capaz de arremessar ao espaço grandes quantidades de partículas carregadas eletricamente. Embora demore cerca de oito minutos para que a radiação eletromagnética do Sol, viajando a velocidade da luz, chegue à Terra, os prótons e elétrons arremessados demoram bem mais tempo, cerca de 27 horas. O que dá um certo tempo para que se tome providências de segurança no planeta.

Essas EMCs jogam partículas para o espaço, como ocorrido na ejeção de 31 de agosto de 2012, mostrada na **Figura 21**. Essa EMC de 2012 viajou a mais de 1448 km/s e, embora não tenha atingido diretamente a Terra, interferiu no campo magnético do planeta, fazendo aparecer uma aurora boreal excepcionalmente intensa na noite de segunda-feira, 3 de setembro daquele ano. Esse tipo de evento pode ser detectado na Terra por meio de redes de magnetômetros espalhadas pelo globo, como a do Programa Embrace¹² (Estudo e

¹² Disponível em: <<https://www2.inpe.br/climaespacial/portal/o-programa-embrace/>>

Monitoramento Brasileiro de Clima Espacial) desenvolvida pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).



Figura 21 – Ejeção de Massa Coronal (EMC) ocorrida em 31 de agosto de 2012.
Créditos: NASA/GSFC/SDO.

Fora algumas EMCs esporádicas, predomina no Sol um ciclo de calma que dura cerca de 11 anos. Ao final de cada ciclo ocorre um aumento da atividade na superfície da estrela e, conseqüentemente, da intensidade dos ventos solares emitidos, o que perturba o clima espacial em todo sistema solar (Nasa, 2009).

A Terra é relativamente protegida de perigos do espaço, como meteoroides e radiações nocivas aos seres humanos. Mas essa proteção, tanto da atmosfera como do campo magnético, não é perfeita. O vento solar faz com que o campo magnético da Terra fique comprimido na face diurna e esticado em uma longa cauda no lado noturno, como ilustrado na Figura 22.

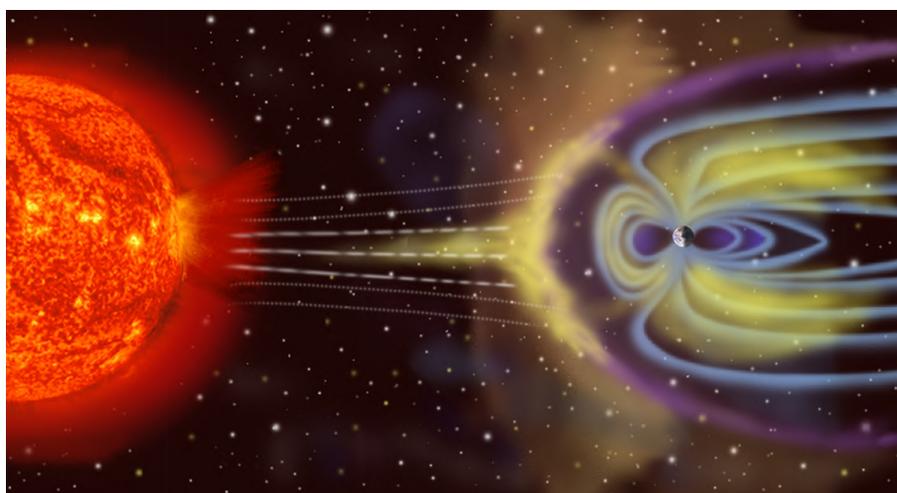


Figura 22 – Representação artística da magnetosfera da Terra sob influência de uma tempestade solar. Créditos: NASA.

A magnetosfera consegue desviar boa parte do vento solar, mas uma pequena parte consegue penetrar pelos polos, o que causa o fenômeno das auroras boreais e austrais. Uma parte das partículas carregadas eletricamente do Sol, como os íons de Hélio, ajudam a compor o segundo cinturão de Van Halen, situado entre 15.000 e 25.000 km de altitude. Equipamentos na órbita terrestre ficam vulneráveis a esses eventos do clima espacial.

Nos últimos 200 anos, há registros de grandes eventos de atividade solar. No ano de 1859, houve o registro conhecido como *Evento Carrington*, durante os dias 28 de agosto e 04 de setembro, em que se observou em vários locais do mundo o aparecimento de auroras boreais e austrais visíveis por vários dias. Em cidades como Havana, na América Central, e Santiago no Chile, um espetáculo de cores foi visto no céu noturno. Na época, embora não existissem computadores nem outros dispositivos eletrônicos, o telégrafo, que já era amplamente utilizado, foi afetado. Segundo o jornal *Philadelphia Evening Bulletin*, várias mensagens ilegíveis eram recebidas pelos operadores nos escritórios do telégrafo durante aquelas noites na cidade de Filadélfia (EUA).

Cerca de 62 anos depois, em maio de 1921, também foi registrada uma tempestade solar de grande intensidade. Diversos informes veiculados por jornais e publicações científicas como a revista *Nature*, tanto nos EUA quanto na Europa, registraram falha nas redes de telégrafo, incidentes com alto grau de risco envolvendo a perda de comutação de trilhos ferroviários, o que poderia ocasionar colisões entre trens, e o aparecimento de auroras boreais visíveis no zênite, que é o ponto sobre a cabeça do observador, sobre a cidade de Pasadena (EUA), que tem latitude de $34,15^\circ$ N, portanto bem distante da região onde a aurora boreal normalmente é vista (latitudes acima de 60°) ([Storms, 1921](#)).

Apesar de os eventos de 1859 e 1921 terem sido notáveis, não causaram grande impacto para a civilização na época em que ocorreram. O mesmo não se pode dizer da tempestade de março de 1989, que causou grande impacto econômico, com prejuízos estimados em dezenas de milhões de dólares. Naquele ano, a companhia canadense Hydro-Québec, responsável pelo abastecimento de energia elétrica no Canadá, sofreu um grande blecaute de 9 horas devido ao colapso das redes de transmissão, em função dos efeitos de uma grande tempestade solar ([Hydro-Québec, 1989](#)).

Numa sociedade em constante desenvolvimento, com moderna infraestrutura tecnológica e dependente de sistemas de comunicação via satélite, é vital que os eventos que alteram o clima espacial sejam compreendidos e previstos, havendo assim tempo hábil para proteger redes elétricas e de comunicação.

Com estudos dependentes apenas do espectro visível seria difícil detectar as manchas solares. E assim, grandes tempestades, como as do *Evento Carrington* e as de 1921, poriam em sério risco o abastecimento de energia elétrica, hoje cada vez mais vital para a vida humana, além da perda de comunicação de rádio e [GPS](#) (*Global Positioning System*) em aviões e naves espaciais, o que poderia causar grandes desastres aéreos. Em uma sociedade

cada vez mais conectada, o mundo como conhecemos poderia vir a se tornar um caos (Council, 2009).

1.4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DO ENSINO DE ASTRONOMIA

1.4.1 Deficiência na formação dos professores

Rosa; Rosa afirmam que mesmo passados cem anos desde o início do ensino de Física como disciplina nas escolas brasileiras, a educação continua orientada por meio de aulas expositivas e resolução de exercícios algébricos. Segundo Moreira, o ensino no século XXI é ainda centrado no docente e na aprendizagem mecânica dos conteúdos, quando deveria ser centrado no aluno e no desenvolvimento de competências críticas e argumentativas. Langhi; Nardi caracterizam as dificuldades dos docentes nos anos iniciais do Ensino Fundamental quanto ao ensino da astronomia, visando investigar o que os profissionais precisam saber e saber fazer sobre a Astronomia. Dentre elas se destacam:

- “Dificuldades em responder perguntas de alunos sobre fenômenos astronômicos geralmente divulgados na mídia, devido a falhas durante a formação inicial.”
- “Acreditam que conteúdos de Astronomia fazem parte de uma realidade distante do ‘mundo’ dos alunos e do nosso também. Faltam ideias e sugestões para um ensino contextualizado da Astronomia.”
- “Encontram dificuldades implícitas ao próprio tema. Alguns conceitos são difíceis de entender e de explicar.”
- “Conteúdos de Astronomia em livros didáticos e o tempo dedicado a eles durante a programação escolar são reduzidos para se trabalhar adequadamente.”
- “Dificuldades em realizar visitas e excursões a observatórios, planetários ou estabelecer contatos com associações de astrônomos amadores regionais.”
- “Escassez de tempo para pesquisas adicionais sobre temas astronômicos.”

O que nos faz lembrar da massiva repercussão que a primeira imagem direta do horizonte de eventos de um buraco negro, o da galáxia M87, teve na mídia. Apesar do feito notável, em geral, pouco se sabia sobre o ramo da Astronomia onde o feito foi realizado, a radioastronomia. Tempos depois, o lançamento do observatório espacial James Webb foi amplamente divulgado como outro grande feito da ciência contemporânea. Eventos midiáticos como esses são boas oportunidades para que professores e divulgadores possam falar de astronomia e estimular a curiosidade nas pessoas.

E se pensarmos que não há uma formação completa e acabada, como concluem [Langhi; Nardi](#), e sim um contínuo processo de formação, que não se resume a breve formação inicial, a lacuna no ensino de astronomia passa a ser maior ainda. Em seu trabalho, [Frederico; Gianoto](#) verificam que os professores possuem consideráveis problemas quanto à formação nos temas de Astronomia, o que dificulta a abordagem dos conteúdos curriculares relacionados à Astronomia durante a prática docente ([Neto et al., 2013](#)).

Segundo [Leite et al.](#), os temas de Astronomia presentes nos PCN (Parâmetros Curriculares Nacionais) do ensino fundamental e médio, na data de sua pesquisa, eram amplos e profundos, indo desde observação do céu, até a compreensão humana do universo, enquanto as formações básicas (licenciaturas) não atendiam de maneira adequada a necessidade de formação dos futuros professores.

Observando um trabalho mais recente poderíamos esperar que o cenário estivesse superado, mas o que encontramos ainda é bastante preocupante no que tange a formação inicial dos professores de física. Segundo [Slovinski; Alves-Brito; Massoni](#), no cenário nacional:

... apenas um em cada quatro professores de Física formados no Brasil em 2019 teve acesso a disciplinas de Astronomia na modalidade obrigatória durante sua formação, pouco mais de um terço pôde optar em cursar alguma disciplina relacionada à Astronomia, e mais de 40% não tiveram essa opção, pois não havia a oferta de tais disciplinas em seus respectivos cursos de formação de professores.

O que nos leva ao dilema apresentado por [Leite et al.](#):

... de um lado houve maior incentivo do ponto de vista da construção de currículos com ênfase na Astronomia, de outro, o mesmo não ocorreu com a formação de professores.

Cabe salientar que houveram algumas iniciativas em termos de pós graduação, como os mestrados profissionais em ensino de ciências e astronomia, como é o caso do Mestrado Profissional em Ensino de Astronomia ([MPEA](#)), implantado em 2013 pelo Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas ([IAG](#)).¹³

Segundo [Horvath](#), há um afastamento natural na Astronomia moderna, visto que a olho nu, ou mesmo com pequenos instrumentos, não observamos detalhes de asteroides, buracos negros ou planetas nascendo. É preciso confiar no que os cientistas estão produzindo e divulgando. O professor, que nem mesmo tem os temas sobre Sistema Solar abordados de maneira eficaz durante a formação inicial, fica inseguro ao ter que desenvolver conteúdos que vão desde estrelas até a cosmologia.

¹³ Disponível em: <<https://www.iag.usp.br/institucional/historia>>

Algumas dificuldades relatadas por professores são: encontrar tempo para realizarem cursos de formação continuada e a falta de um centro de referência ou repositório online de materiais educacionais, de confiança e qualidade (Costa, 2015).

Como citam Carvalho; Ramos e Buffon; Neves; Pereira, apesar de documentos oficiais, como a BNCC (Base Nacional Comum Curricular), sustentarem o ensino de astronomia na Educação Básica, a infraestrutura, as falhas na formação básica, a limitação de acesso a recursos e a não utilidade prática da astronomia, no sentido de não estar presente, por exemplo, nos exames de vestibular, acabam relegando esses conteúdos para segundo plano.

Em seu trabalho, Langhi; Nardi identificam justificativas para o ensino de temas de Astronomia na educação básica e também durante as formações inicial e continuada de professores. Dentre elas, podemos destacar algumas:

- Contribuição para uma visão do conhecimento científico enquanto processo de construção histórica e filosófica;
- Estimulação da curiosidade e motivação nos alunos e pessoas em geral;
- Pressuposição de atividades de observação do céu, seja a olho nu ou por meio de equipamentos que podem até ser construídos pelos alunos e professores;
- Potencialmente interdisciplinar;
- Contribuição para a alfabetização científica e cultural, a desmistificação e a criticidade sobre notícias midiáticas sensacionalistas;
- Fornece subsídios para o desenvolvimento de um trabalho docente conforme as sugestões dos documentos oficiais para a educação básica nacional.

A alfabetização científica deve permitir ao educando alcançar uma mudança de postura em relação ao meio social e natural que o cerca, de modo que o ser humano adquira uma postura interferente sobre o seu contexto, de maneira semelhante como afirma Freire, em seu livro Educação como Prática da Liberdade.

Costa relata que professores pesquisados indicaram não ter disponibilidade de participar de um curso de formação e nem pretender interromper a sequência de conteúdos de Física para ensinar apenas Astronomia. Eles, porém, se mostraram abertos a incorporar tópicos de Astronomia, de maneira interdisciplinar, caso tivessem acesso a um material facilitador.

Diante disso, consideramos desenvolver um material que possa dar subsídios para que docentes do ensino básico consigam trabalhar conceitos de Astronomia, por meio de

experimentação e coleta de dados usando um radiotelescópio de pequeno porte construído com materiais de fácil aquisição.

1.5 ANÁLISE DE CONTEÚDO DE BARDIN

Por meio da análise de conteúdo o pesquisador busca interpretar e compreender a realidade. Isso se faz por meio da análise dos sentidos e significados das comunicações, considerando tanto o emissor quanto o receptor da mensagem (Cardoso; Oliveira; Ghelli, 2021). Nesse sentido, a análise de conteúdo de Bardin (Bardin, 1977) pode ser entendida como uma metodologia de análise da comunicação entre emissor, receptor e meio, que objetiva compreender o significado da mensagem, levando em conta as condições de produção e recepção da mesma. O método consiste em um conjunto de técnicas de análise da comunicação, por meio de procedimentos sistemáticos aplicados à descrição do conteúdo de mensagens. A análise de conteúdo é estruturada em três etapas, são elas:

1. Pré-análise;
2. Exploração do material;
3. Tratamento dos resultados, inferência e interpretação.

Na fase da pré-análise os dados são estruturados. Escolhe-se, não necessariamente nessa ordem, os documentos que comporão o corpus da análise, formulam-se hipóteses, estabelecem-se os objetivos e os indicadores de fundamentação para a interpretação final. Na exploração do material os dados são transformados por meio de operações de codificação em informações passíveis de serem analisadas. É uma etapa de codificação e classificação. Na terceira etapa, a de tratamento dos resultados, é onde será produzida uma síntese em cima dos dados obtidos para interpretar e determinar um sentido naquelas informações obtidas.

Muito embora, possa haver leituras diferentes da mensagem, a busca por um sentido único não é o que caracteriza a análise de conteúdo, mas sim, a busca de um sentido que seja coerente em relação ao emissor, receptor e ao meio, utilizando-se de meios sistemáticos para tal resultado. Seguindo esta linha de pensamento, utilizamos nesta pesquisa a análise de conteúdo aplicada a um questionário estruturado para avaliarmos a viabilidade de aplicação do experimento proposto.

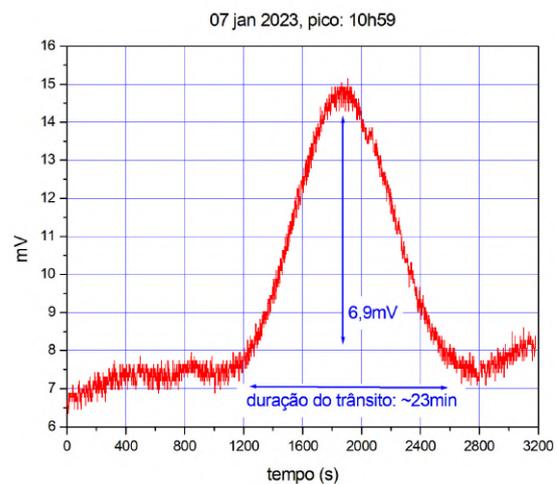
1.6 OBJETIVO DESTES TRABALHOS

Muitas antenas de banda Ku¹⁴ (Figura 23(a)), um tipo comercial bastante comum e também chamadas antenas *offset*, têm se tornado lixo tecnológico sobre as paredes e telhados das casas. Diante dessa situação e inspirado pelo trabalho promissor de [Fernandes, Pinto; Aranha, Lattari; Trevisan](#), apresentaremos aqui o projeto de um sistema de observação solar, por meio de captação de sinal utilizando uma antena comum de banda Ku (Figura 23(a)).

Trata-se de um radiotelescópio de pequeno porte que pode ser implementado como experimento didático para aplicar conceitos de eletromagnetismo na astronomia, física solar e movimento da Terra para obtenção de uma imagem do trânsito solar no céu (seu movimento aparente segundo a perspectiva de um observador no solo), como o da Figura 23(b).



(a) Radiotelescópio de pequeno porte.



(b) Registro de trânsito solar em 07-01-2023.

Figura 23 – Antena de banda Ku, 60 cm, e registro de emissão solar. Créditos: Autor.

O trânsito astronômico de um objeto ocorre quando este passa em frente de outro objeto, causando uma mudança de brilho deste. Os planetas Mercúrio e Vênus, por exemplo, apresentam o fenômeno de trânsito sobre o Sol quando seus planos orbitais coincidem com a linha de visão Terra-Sol. Nesses momentos, é possível avistar da Terra um pequeno ponto preto na frente do disco solar. A passagem deles pela frente do Sol causa uma pequena redução no brilho da estrela. De maneira semelhante, telescópios sensíveis podem detectar planetas e sistemas múltiplos de estrelas fora do sistema solar por meio da observação de trânsitos.

O desenvolvimento dessa atividade envolve muitos conceitos, como astronomia de posição, coordenadas geográficas, movimento de rotação da Terra e radiação eletromag-

¹⁴ Faixa de frequência entre 10,7 GHz e 18 GHz utilizada na comunicação com satélites.

nética, além de aspectos de eletrônica usando Arduino (descrito com mais detalhes na [subseção 2.2.3.1](#)) que, dependendo do contexto, podem ser aprofundados ou não.

O equipamento consiste em um sistema de captação e armazenamento de dados das emissões na faixa de frequência de operação comercial da antena, limitada entre as frequências de 10,7 GHz e 12 GHz dentro da banda Ku. Na implementação, são utilizados equipamentos comerciais adquiridos em lojas de antenas e tecnologias *open source hardware*¹⁵ para prototipagem baseada em Arduino.

Como objetivo geral do trabalho queremos avaliar a viabilidade de implementar esse experimento de radioastronomia nos anos finais do ensino fundamental (fundamental 2) e ensino médio, conforme os eixos temáticos da Base Nacional Comum Curricular - BNCC ([Brasil, 2018](#)). Para isso, tomamos como base a análise de um questionário estruturado, aplicado durante duas oficinas de formação de professores do ciclo básico, onde apresentamos a proposta do experimento aos participantes.

A partir dos comentários dos professores refinaremos o produto educacional, que consiste em uma apostila com instruções de como construir e operar o experimento ([Anexo A](#)). Com o produto final temos também os seguintes objetivos específicos:

- Praticar a radioastronomia solar e compreender como operam os grandes radiotelescópios;
- Correlacionar a ocorrência de tempestades solares de grande magnitude com a formação de auroras boreais e austrais, e a necessidade do monitoramento do clima espacial;
- Relacionar conceitos de eletromagnetismo com aspectos do dia a dia, como propagação de ondas de rádio e comunicação via satélite;
- Aplicar conceitos de eletromagnetismo na astronomia, física solar e movimento da Terra;
- Desenvolver afinidade com tecnologias *open source hardware* (como o Arduino);
- Adquirir consciência a respeito do descarte adequado de lixo tecnológico.

¹⁵ Conceito derivado do open source (código aberto) e aplicado ao hardware.

2 DESENVOLVIMENTO

Não se espante com a altura do voo. Quanto mais alto, mais longe do perigo. Quanto mais você se eleva, mais tempo há de reconhecer uma pane. É quando se está próximo do solo que se deve desconfiar.

Alberto Santos Dumont¹

Neste capítulo trataremos do processo de construção do radiotelescópio, das dificuldades e soluções encontradas durante o processo. Detalharemos alguns pontos fundamentais sobre seu funcionamento e apresentaremos os resultados de vários testes de observação do Sol por meio de ondas de rádio.

2.1 UM MAR DE ANTENAS NOS TELHADOS

Com a revolução digital nas telecomunicações, a ampliação das políticas de assistência social e distribuição de renda no início deste século, houve uma elevação no padrão de renda da população e, conseqüentemente, um aumento no padrão de consumo. Isso permitiu, por exemplo, a expansão da oferta de planos de TV por assinatura num mercado que já vinha em constante crescimento desde os anos 90 (Figura 24).



Figura 24 – Conjunto de antenas de vários modelos em telhado.²

¹ Disponível em: <<https://www.fundacaosantosdumont.org/>>

² Disponível em: <<https://colvero.com/tvdig/galeriadefotos/index.htm>>

O equipamento mais utilizado para recepção de TV via satélite tem sido a antena de banda Ku. Esse modelo, chamado tecnicamente de antena offset (foco deslocado), opera como receptor de sinal na frequência de 10,7 GHz a 12 GHz, dentro da faixa da banda Ku, que vai de 10,7 GHz a 18 GHz.

As provedoras de planos de TV via satélite parece que não consideram vantajoso recuperar as antenas de banda Ku após o usuário cancelar o plano, se não, não haveriam tantas antenas subutilizadas. Isso, aliado a facilidade de instalação e baixo custo do equipamento, faz com que muitas dessas antenas se acumulem pelos telhados do país, se tornando lixo tecnológico, apesar de que poderiam ser reutilizadas. As novas instalações são feitas sempre com novas antenas, enquanto as velhas são deixadas de lado, enferrujando nos telhados, isso quando não são descartadas como ferro-velho ou lixo comum.

Hoje, com a expansão da tecnologia 5G e o fim das antenas parabólicas da banda C (3,7 GHz a 6,425 GHz), tão comuns para recepção do sinal de TV aberta no Brasil, as antenas de banda Ku podem ser reutilizadas nessa migração tecnológica. É previsto que, ainda na década de 2020, toda a rede de TV aberta brasileira será migrada totalmente da banda C para a banda Ku.

O Sol, a estrela mais próxima da Terra, com seu espectro de emissão aproximado de um corpo negro, emite em quase todo o espectro eletromagnético, naturalmente, isso inclui a banda Ku. Inicialmente, a questão que motivou o desenvolvimento deste trabalho foi a de descobrir se era possível reutilizar as antenas de banda Ku para captar sinais de rádio de fora da Terra, dando assim, nova utilidade para um equipamento que apresentava plenas condições de uso.

Segundo a literatura, como podemos observar nos trabalhos de [Lattari](#); [Trevisan](#), [Fernandes](#), [Castro](#); [Silva](#); [Brito](#), [Araújo](#), [Pinto](#); [Aranha](#) e [Silva](#); [Cavalcante](#); [Corrêa](#), é possível readaptar essas antenas para servirem como radiotelescópios de pequeno porte. Dessa forma, foi pensado um projeto de captação de ondas de rádio provenientes do Sol, que fosse fácil de reproduzir e dialogasse com tecnologias já utilizadas em outros produtos educacionais, como os experimentos usando placas arduino.

2.2 CONSTRUÇÃO DO RADIOTELESCÓPIO DE PEQUENO PORTE

2.2.1 Visão geral do sistema eletrônico do radiotelescópio

Para termos uma visão geral de como funcionará o radiotelescópio foi elaborado um diagrama geral contendo seis etapas, desde a captação do sinal até a obtenção do trânsito solar. Na [Figura 25](#) temos essas etapas definidas como Recepção, Filtragem, Amplificação, Conversão A/D, Processamento e Plotagem dos dados. As etapas 2 e 3 são executadas por

um mesmo componente, o *Satellite Finder*.

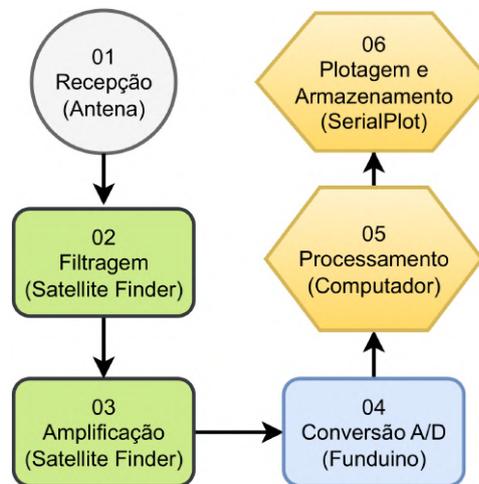
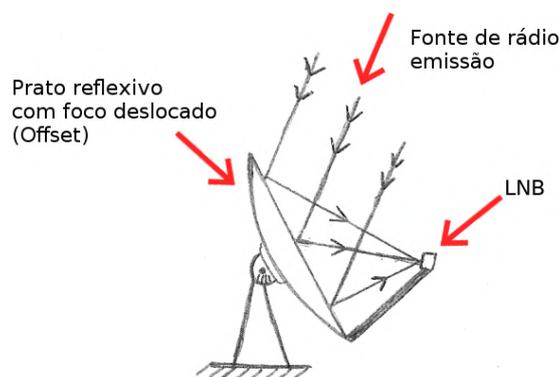


Figura 25 – Diagrama geral exemplificando o funcionamento do radiotelescópio.
Créditos: Autor.

Na Etapa 1 o sinal da fonte de rádio é refletido pelo prato diretamente para o LNB (*Low-noise block converter*), como representado na Figura 26(a).



(a) Esquema de como funciona a reflexão e focalização do sinal no radiotelescópio de prato *offset*.



(b) Exemplos de LNBS comerciais.

Figura 26 – Detalhes da antena tipo *offset*. Créditos: Autor.

O LNB (Figura 26(b)) é um dispositivo comercial padrão que recebe sinais na faixa de micro-ondas, em baixa intensidade, dos satélites. Ele é capaz de amplificar esses sinais e convertê-los para uma banda (faixa) de frequência menor, chamada de Frequência Intermediária ou FI (950 MHz a 2150 MHz). Em instalações residenciais o sinal em FI é lido por um receptor de televisão para exibir a programação dos canais de TV comerciais e públicos. O diagrama do circuito de um LNB pode ser visto na Figura 27.

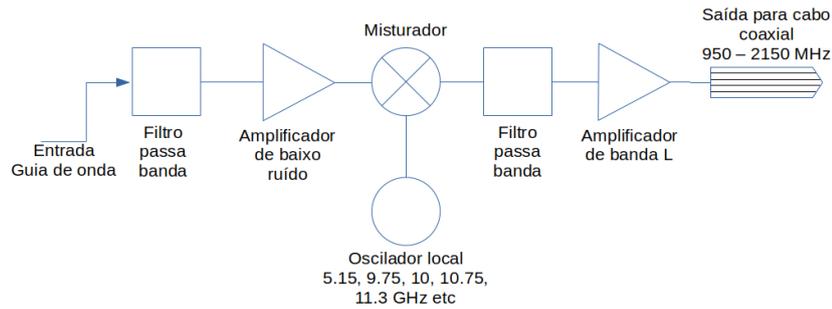


Figura 27 – Diagrama do circuito de um LNB.
Créditos: Autor.

O sinal em 12 GHz é captado no **LNB**, onde sofre uma pré filtragem de ruídos e é convertido na faixa da **FI**, para então, ser transmitido por cabo coaxial até o equipamento que fará as próximas etapas.

Em seguida, nas etapas 2 e 3, ocorre a filtragem e amplificação do sinal que vem do **LNB** via cabo coaxial. Neste projeto, quem executa essas funções é o *Satellite Finder* (abreviado para **SatFinder**) (Figura 28). Esse dispositivo é um equipamento comum utilizado por técnicos durante o apontamento de antenas. Aqui foi utilizada a versão analógica, pois com ela podemos fazer modificações para o uso neste projeto. O **SatFinder** realiza uma filtragem interna e depois amplifica o sinal para que este possa ser lido pelo arduino.

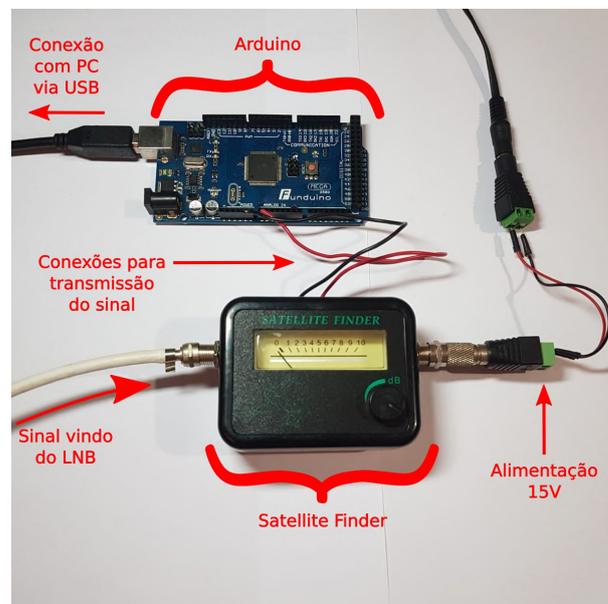


Figura 28 – SatFinder e arduino conectados e prontos para operar.
Créditos: Autor.

Outra possibilidade, seria montar um circuito para executar as etapas 2 e 3, mas essa é uma opção interessante mais para cursos técnicos, onde os alunos poderiam se aprofundar nas etapas eletrônicas de funcionamento do radiotelescópio.

Para a Etapa 4 foi escolhido o arduino para se trabalhar visto que com ele é possível realizar prototipagem de projetos, desde robótica até experimentos de medição de grandezas físicas. O arduino é interessante, pois pode ser uma ponte para despertar nos alunos o interesse por eletrônica e programação.

Nessa etapa ocorre a conversão A/D (analógico para digital), que nada mais é do que uma conversão eletrônica do sinal analógico captado pelo LNB para o formato digital, de forma que possa ser lido e interpretado por um computador. Esse tipo de conversão é comum de ser feita toda vez que monitoramos grandezas físicas como temperatura, umidade, pressão, voz, etc. Para trabalhar com elas no computador deve-se sempre convertê-las do formato analógico (natural) para o digital.

O sinal analógico extraído do SatFinder é convertido para digital por meio do arduino para que na Etapa 5 seja lido pelo computador. Esse sinal, em formato digital, é então plotado em tempo real na Etapa 6 por meio de um software de leitura de dados seriais, como o SerialPlot³. Esse é um programa simples e *open source*, que permite a visualização de dados recebidos via porta serial (USB) em tempo real.

Para as etapas 5 e 6, foram pensadas algumas alternativas de equipamentos, mas o que melhor atendeu foi o uso de computador com o software SerialPlot. Há relatos de aplicações utilizando smartphone para monitoramento de grandezas físicas, o que é interessante, pois se trata de um computador compacto bastante popular. Mas até o momento da elaboração deste experimento, devido à capacidade de processamento e dificuldade de programação mais avançada, não foi encontrada uma alternativa adequada e replicável para substituir o computador de mesa (inclui-se aqui os notebooks) por um smartphone.

Antes do início dos testes houve um contratempo devido ao software utilizado para captura dos dados (ViewDuino) ter sido descontinuado ainda em sua versão de *Python 2*. Uma alternativa sugerida pelos próprios desenvolvedores do ViewDuino foi a de utilizar o aplicativo *Phyphox*⁴, para smartphones, uma ferramenta que tem sido utilizada por alguns professores de física no exterior para demonstrar conceitos físicos por meio de experimentos utilizando os sensores de um smartphone.

Em tese, o *Phyphox* poderia se conectar via bluetooth com o arduino e plotar os dados durante a observação. Ao final do experimento ele ainda poderia exportar os dados em formato de planilha digital. Porém, inúmeras tentativas de fazer a comunicação via bluetooth falharam. Segundo os fóruns de discussão, o aplicativo só funciona com módulo bluetooth de um modelo recente, o que, infelizmente, inviabiliza diversas possibilidades de experimentos com o smartphone e arduino.

Ainda com esperança de adaptar o experimento para utilização de smartphones,

³ Disponível em: <<https://hackaday.io/project/5334-serialplot-realtime-plotting-software>>

⁴ Disponível em: <<https://phyphox.org/arduino/>>

sem necessidade de computadores, tentamos, por meio da plataforma AppInventor⁵ do MIT (Massachusetts Institute of Technology), desenvolver um aplicativo simples para plotar os dados da observação. A concepção original da aplicação era de que seria possível plotar um gráfico enquanto o smartphone recebia via conexão bluetooth os dados da antena convertidos pelo arduino. Bastaria selecionar o módulo bluetooth, parear e começar a observar, de forma gráfica, o sinal captado pela antena. Essa plataforma fornece um conjunto de ferramentas para desenvolvimento de aplicativos por meio de programação de alto nível, usando blocos de encaixar. Um dos resultados pode ser observado na Figura 29.



Figura 29 – Aplicativo para coleta de dados de arduino via bluetooth desenvolvido na plataforma AppInventor.

Créditos: Autor

Tentamos utilizar o módulo HC-06, um componente eletrônico para comunicação bluetooth bastante utilizado com arduino, para enviar dados do arduino ao smartphone, sem a necessidade de um laptop. A transmissão e recepção dos dados ocorreu de forma satisfatória, entretanto, o aplicativo, em testes com duração de mais de três minutos, apresentou travamento devido à quantidade de dados processada, o que inviabilizou sua utilização neste experimento. Ao final não foi possível obter a curva de trânsito solar na tela do aplicativo.

Talvez uma aplicação que executasse o processamento em nuvem resolvesse, onde os dados coletados seriam enviados via internet para um servidor e devolvidos na forma de gráfico. Seria necessária conexão de internet no local e módulos eletrônicos para tal. Esse tipo de solução existe, mas tornaria o experimento mais difícil de ser apresentado como uma solução replicável.

⁵ Disponível em: <<https://appinventor.mit.edu>>

Acreditamos que uma solução prática, usando smartphone em vez do computador de mesa, possa ser desenvolvida em trabalhos futuros, o que deixaria o projeto mais interessante e sem a necessidade de alocar um computador grande para as tarefas.

2.2.2 Montagem do amplificador de sinal usando *satellite finder*

O **SatFinder** (Figura 30) é empregado por técnicos durante o apontamento de antenas. Para utilizá-lo deve-se apontar a antena para um local qualquer do céu, em seguida o botão de ganho dB é ajustado até que o aviso sonoro fique na iminência de soar, nessa condição o ponteiro estará entre as marcas zero e um. Quando isso é feito, podemos interpretar que o estamos zerando o ruído atmosférico natural. Nessa condição, o sinal do satélite buscado vai sensibilizar o ponteiro, ocasionando uma deflexão além da marca número um. Quanto mais alto o valor detectado, maior a probabilidade da antena estar devidamente apontada para o satélite.



Figura 30 – Mostrador analógico do SatFinder utilizado para aferir a intensidade do sinal dos satélites alvo.

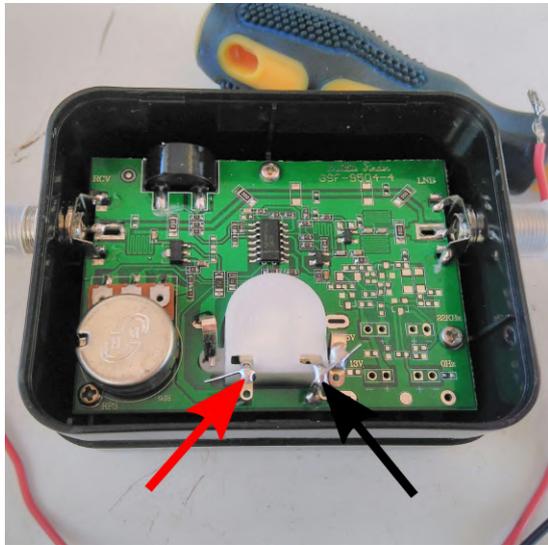
Créditos: Autor.

Normalmente o **SatFinder** é conectado entre o receptor de TV e o **LNB** da antena, dessa forma, o receptor fornece energia pelo cabo coaxial para acionar tanto o **SatFinder** quanto o **LNB**, por meio de uma tensão contínua de 13 a 18 V.

A tensão do receptor ativa o circuito do **LNB**, o qual passa a enviar, sobreposto ao sinal de tensão, o sinal em **FI** obtido do satélite comercial, que no nosso caso é uma fonte natural, o Sol. Alguns modelos possuem indicador analógico, por onde pode-se aferir a intensidade do sinal do satélite e ajustar as coordenadas de azimute e altura da antena para melhor captar a fonte emissora.

Para o mostrador analógico funcionar, o sinal é filtrado e amplificado. Podemos utilizar essas características para realizar as etapas 2 e 3 da operação do radiotelescópio.

Existem dois terminais no circuito do mostrador, que podem ser acessados para obter o sinal (Figura 31(a) e (b)).



(a) Indicação dos terminais positivo (vermelho) e negativo (preto).



(b) Conexão feita com solda de estanho.

Figura 31 – Detalhes para obtenção do sinal do SatFinder. Créditos: Autor.

É preciso identificar qual é a polaridade dos terminais, ou seja, qual é o positivo e o negativo. Esses terminais apresentam marca de solda proeminente e nesses pontos pode se verificar, por meio de um multímetro na escala de 5 V com o **SatFinder** ligado, qual é a polaridade.

Após identificar os terminais, devemos soldar um fio fino para cada, vermelho para o positivo e preto para o negativo, como na **Figura 31(b)**. Esses dois fios representam uma entrada de dados analógica que deve ser conectada em uma das portas analógicas do arduino, como na **Figura 32**.



Negativo do *Satfinder*
conectado na entrada
de referência GND

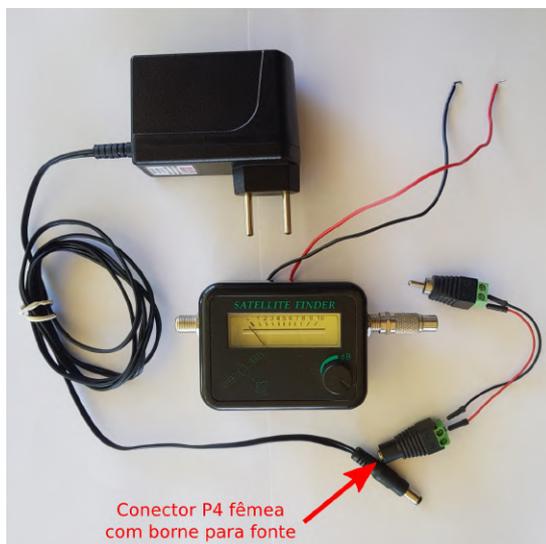
Positivo do *Satfinder*
conectado na entrada
analógica A0

Figura 32 – Placa Funduino MEGA 2560, baseada no Arduino MEGA 2560.
Créditos: Autor.

2.2.2.1 Alimentação do SatFinder

Como dito anteriormente, o **SatFinder** opera com tensão contínua de 13 a 18 V, que, em instalações residenciais, é fornecida por um equipamento receptor de TV por meio do cabo coaxial. Em contrapartida, o **LNB** envia pelo cabo coaxial, sobreposto ao nível de tensão, o sinal captado do satélite. Nesse sentido, o cabo coaxial é como uma via de duas mãos, transmitindo energia e informação. Esse novo sinal é enviado pelo cabo coaxial até o aparelho receptor de televisão, este por sua vez decodifica a informação para que a programação dos canais comerciais e públicos seja exibida na TV.

Para este projeto foi utilizada uma fonte comercial de 15 V e 1 A (**Figura 33(a)**) no lugar do receptor de TV, visto que só precisamos da alimentação elétrica e não usamos as demais funções do receptor. A fonte utilizada e os adaptadores necessários estão na **Figura 33(b)**. Ela deve ser conectada no terminal TOREC (que significa “para o receptor”), identificado atrás do **SatFinder**. Todos esses componentes podem ser encontrados facilmente em lojas de eletrônica e antenas. Uma alternativa para quem tem prática em eletrônica, seria soldar os fios da fonte direto na placa do **SatFinder**, eliminando assim a necessidade dos adaptadores.



(a) Fonte de 15 V e adaptadores para alimentar o **SatFinder** na rede elétrica 127/220 V.



(b) Borne RCA padrão europeu (peça da esquerda) e adaptador metálico de conexão RCA-Coaxial (peça do meio).

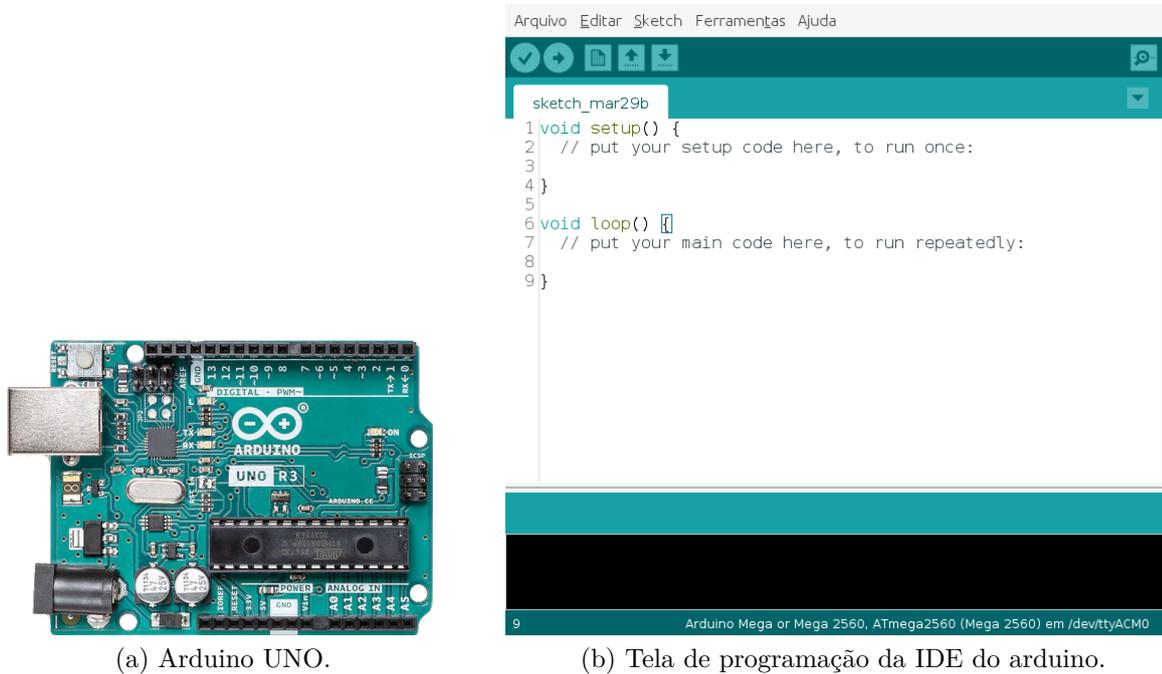
Figura 33 – Fonte de alimentação e conectores. Créditos: Autor.

2.2.3 Conversão A/D com arduino

2.2.3.1 O que é arduino?

Arduino é uma marca de placas eletrônicas usadas no desenvolvimento de protótipos e soluções tecnológicas baseadas no conceito de *open source hardware*. O termo arduino

é comumente usado para se referir às diversas placas derivadas do projeto Arduino (Figura 34(a)) desenvolvidas por terceiros.



(a) Arduino UNO.

(b) Tela de programação da IDE do arduino.

Figura 34 – Placa arduino modelo UNO e IDE programação. Créditos: Autor.

As placas arduino podem ser programadas utilizando-se o Ambiente de Desenvolvimento Integrado do Arduino, a *IDE* (*Integrated Development Environment*) (Figura 34(b)), disponível para download gratuito no site do projeto⁶. Devido ao Arduino ser um projeto de hardware aberto e colaborativo, existem diversas aplicações de dispositivos didáticos na internet. Por ser uma tecnologia que trabalha com módulos, pode ser adaptada para múltiplas funções, como, por exemplo, monitorar a temperatura numa sala, medir umidade do ar, medir distância de objetos, controlar servomecanismos e robôs, enviar dados pela internet, automatizar funções em casas inteligentes, internet das coisas, etc.

2.2.3.2 O conversor A/D

A conversão *A/D* (analogico para digital) é uma etapa comum em experimentos que mensuram grandezas naturais, como temperatura, pressão, umidade, intensidade de radiação solar, etc. Esse tipo de conversão é necessária para que a informação possa ser trabalhada e armazenada por softwares e computadores. O arduino, neste projeto, executa as funções de conversor *A/D* da Etapa 4 do diagrama geral (Figura 25).

A placa disponível para ser utilizada neste projeto foi a Funduino MEGA, que é um dos vários modelos de placas derivadas do Arduino e que utilizam a mesma *IDE*

⁶ Disponível em: <<https://support.arduino.cc/hc/en-us/articles/360019833020-Download-and-install-Arduino-IDE>>

de programação. Poderíamos usar diversas placas arduino comerciais, por exemplo, os modelos baseados no Arduino UNO e NANO, que são mais simples e acessíveis.

O hardware do arduino é predefinido para fazer conversão A/D, mas para isso é preciso escrever um programa por meio da IDE e depois fazer upload dele na placa, usando cabo USB. Aqui o cabo USB tem as funções de fornecer tensão de 5 V ao arduino durante o experimento e fazer a comunicação entre placa e computador, comumente chamada de comunicação serial. Também é possível usar uma fonte externa de 5 V para ligar o arduino, o que pode ser útil para outros tipos de experimentos.

2.2.4 Visualização de dados do trânsito solar

O SerialPlot possui dois ambientes de visualização principais, um gráfico, onde são plotadas curvas em tempo real, e outro de texto, que exibe as leituras enviadas pelo arduino.

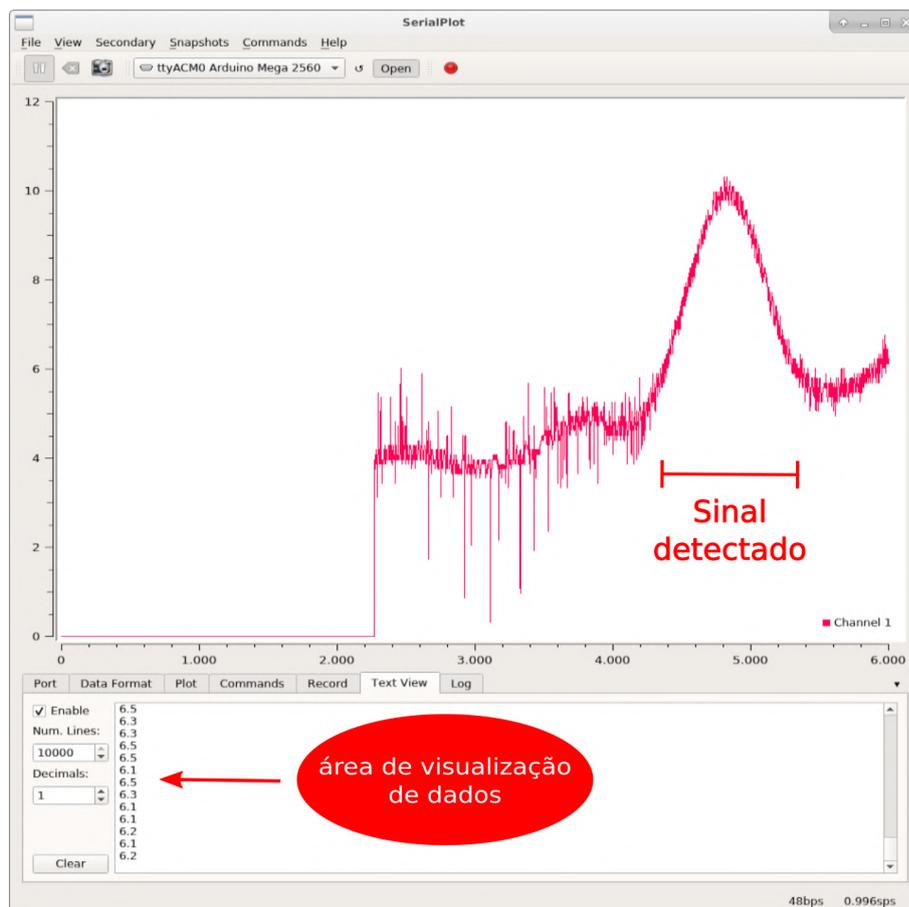


Figura 35 – Interface do SerialPlot durante uma observação de trânsito solar.
Créditos: Autor.

Neste experimento, o radiotelescópio observa a radiação do céu, que ao longo do dia tem comportamento estável, ou seja, uma curva com períodos de crescimento e redução suaves, sem grandes amplitudes, por exemplo, o intervalo de tempo compreendido entre

os pontos 2000 e 4000 (~33 min) na [Figura 35](#), onde os picos pontuais são devidos as interferências naturais.

Quando o Sol transita pelo céu ele provoca uma variação abrupta do sinal de rádio captado pela antena, como evidenciado pelo intervalo de tempo entre os pontos 4000 e 5400 (~23 min) na [Figura 35](#). Deve-se lembrar que esse movimento ocorre devido à rotação da Terra, que faz com que tenhamos a impressão de que o Sol se movimenta de leste para oeste todos os dias.

2.3 TESTES DE CAPTAÇÃO SOLAR COM ANTENAS DE 90 E 60 CM

2.3.1 Testando a estrutura de apoio do radiotelescópio

As antenas *offset* costumam ser instaladas em superfícies verticais, o que é útil em ambientes urbanos, onde às vezes não é prático instalar uma grande antena de banda C no telhado ou quintal, além de serem de menor porte, bastando apenas que seu campo visual esteja livre. Esse tipo de antena utiliza o sistema Altazimutal/Horizontal de coordenadas, no qual a posição de um objeto celeste é dada por duas coordenadas, o azimute e a altura, ambas em graus (explicado com mais detalhes no Anexo A. Para obtenção dessas coordenadas, foi utilizado o planetário virtual Stellarium⁷.

Para o primeiro teste de captação, foi utilizada uma antena *offset* de 90 cm. Por se tratar de uma antena mais pesada, a estrutura dela possui hastes de apoio que fixam em três pontos (Figura 36(a)). Foi tentada a construção de uma base para ela, mas infelizmente a estrutura não ficou estável, o que levou esse modelo a ficar suscetível a oscilações com o vento, até mesmo tombar para trás quando estava sem o apoio mostrado na Figura 36(b).



(a) Primeiro protótipo de base.



(b) Modificação para melhorar a estabilidade.

Figura 36 – Primeiras bases construídas para testar o radiotelescópio. Créditos: Autor.

Na Figura 37 temos dois testes falhos de observação do trânsito solar realizados com essa base. Na primeira, a antena não estava apontada corretamente devido à imprecisão dos ajustes de altura, azimute e declinação magnética. Já na segunda, até conseguimos captar a passagem do Sol, mas devido à estrutura ser instável, o vento balançou demais a antena, causando grandes distúrbios nas emissões captadas.

⁷ Disponível em: <https://stellarium.org/pt_BR>

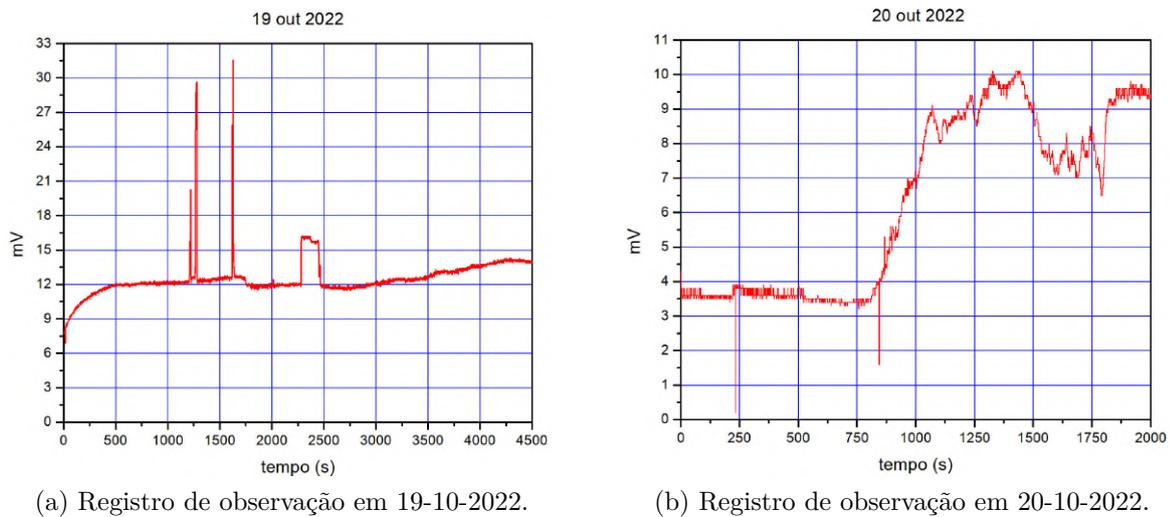


Figura 37 – Testes de observação de trânsito solar com uma antena de 90 cm, de banda Ku. Créditos: Autor.

Na [Figura 37\(a\)](#), a partir do momento em que a antena é montada e ligada, exposta ao tempo, temos uma elevação do sinal captado, representado no intervalo de 0 a 500 segundos por uma elevação de aproximadamente 5,5 mV ao longo de 8 minutos de operação. Isso se deve ao aquecimento dos componentes da antena a partir do momento em que a estrutura é exposta ao ambiente externo até atingir o equilíbrio térmico.

Nesse teste, o ajuste de altura de azimute da antena ficou prejudicado, pois foi detectado, depois de vários outros testes, que a bússola de metal ([Figura 38](#)) utilizada apresentava um erro considerável nas marcações.



Figura 38 – Da esquerda para a direita, bússolas: de metal, de acrílico e smartphone. Créditos: Autor.

A bússola de metal (da marca Hirma Utilidades), quando comparada com a Bússola Mapa Militar com Milésimos, de acrílico, apresentou erro de 3 graus durante o ajuste de declinação magnética local, enquanto a de acrílico, coincidiu exatamente com a coordenada corrigida em função da declinação magnética local. A bússola do smartphone, disponível

por meio do aplicativo Digital Compass⁸, após a calibração recomendada pelo fabricante, concordou com a de acrílico. A de metal não foi mais utilizada depois dessa comparação.

No teste indicado na Figura 37(b), a captação foi iniciada após alguns minutos em que o equipamento estava montado, já em equilíbrio térmico com o ambiente. Infelizmente o vento agitou bastante a antena, modificando sua posição e inviabilizando a tomada de boas medidas, isso sem contar a bússola imprecisa.

Em seguida, utilizando a bússola de acrílico, temos na Figura 39 um teste realizado em 12 de novembro de 2022, onde foi captado o primeiro trânsito completo do Sol com a antena de 90 cm. Essa observação captou a emissão solar com cerca de 11 minutos de atraso em relação ao previsto, que era para às 15h01min, o que significa que a antena foi apontada corretamente na trajetória do Sol, porém, um pouco adiante da posição prevista, mais especificamente $2,75^\circ$, que corresponde ao deslocamento estimado da esfera celeste ao longo de 11 minutos. Sabemos desse atraso, pois tomamos o pico do sinal como referência de quando o Sol está diretamente a frente do radiotelescópio. A variação da intensidade da emissão captada durante o pico foi de 5,2 mV em relação ao ruído de fundo. O tempo de duração aproximado desse trânsito foi de 16 minutos.

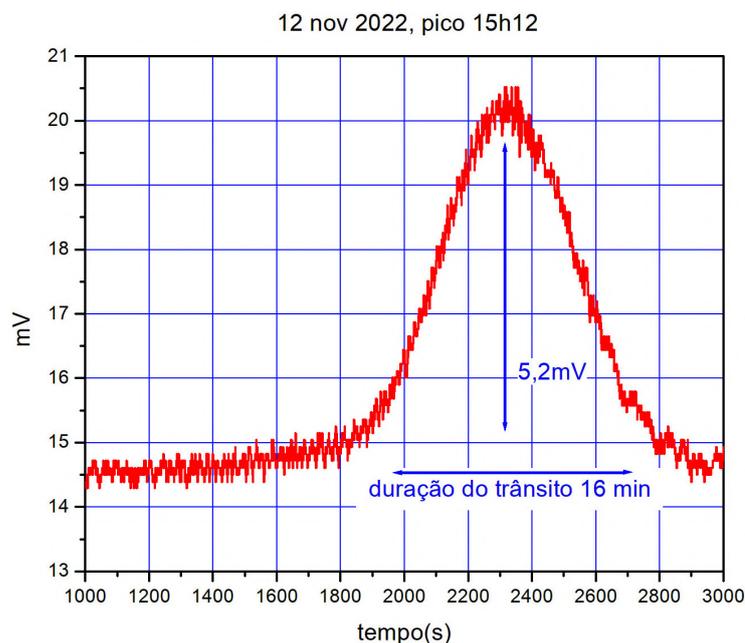


Figura 39 – Registro do trânsito solar em 12-11-2022 utilizando antena de 90 cm.
Créditos: Autor.

Após esses primeiros testes, a antena de 90 cm foi substituída por um modelo menor, bastante comum, de 60 cm, como pode ser visto na Figura 40. Para esse modelo de antena, uma tábua simples de madeira foi utilizada para fixar a estrutura. As antenas de 60 cm utilizam um único ponto de apoio fixado. Porém, essa montagem também se

⁸ Disponível em: <<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.vincentlee.compass>>

mostrou instável, sendo necessário que se adicionasse contrapesos para evitar que o vento derrubasse ou balançasse demais a antena em algumas ocasiões.



(a) Antena de 60 cm.



(b) Vista de trás da antena.

Figura 40 – Antena de banda Ku utilizada nos testes. Créditos: Autor.

Na Figura 41 temos uma captação com a antena de 60 cm. Nesse teste haviam dúvidas sobre o alinhamento da estrutura e a maneira correta de usar o ajuste de altura disponível na própria antena. Podemos notar que o início da detecção de emissão solar (curva Gaussiana) se deu quando a curva estava subindo, já estando o entorno do Sol em frente ao prato. No ponto 1750 o sinal se encontra estabilizado, o que corresponde ao ruído em rádio presente na atmosfera.

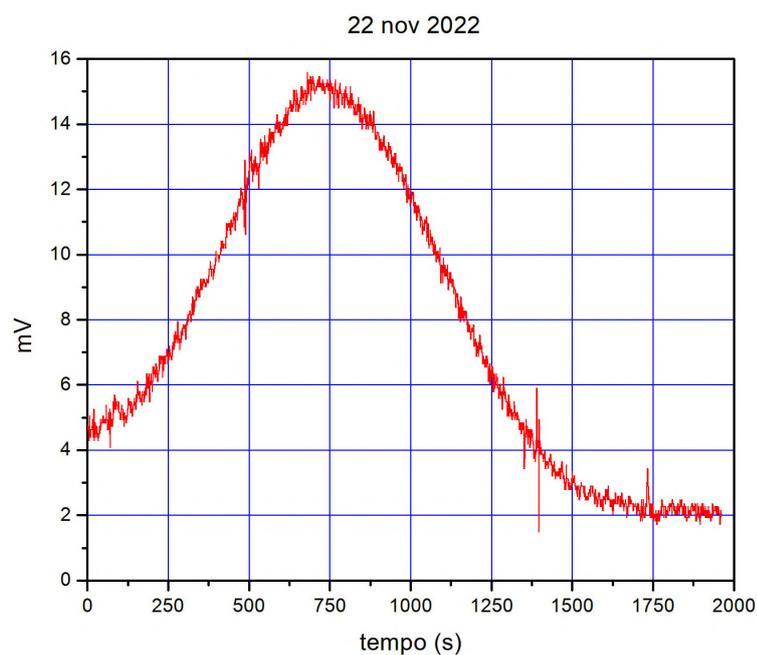


Figura 41 – Registro do trânsito solar em 22-11-2022.
Créditos: Autor.

A seguir temos um recorte de alguns resultados positivos de testes realizados com a antena de 60 cm. Diversas tentativas foram feitas para refinar o procedimento de alinhamento e definir o melhor passo a passo. Na [Figura 42\(a\)](#), [\(b\)](#) e [\(d\)](#) temos três captações que deram certo. Já a da [Figura 42\(c\)](#) não ficou boa, pois ocorreu um erro no alinhamento do azimute, o que ocasionou na captação parcial das emissões de rádio.

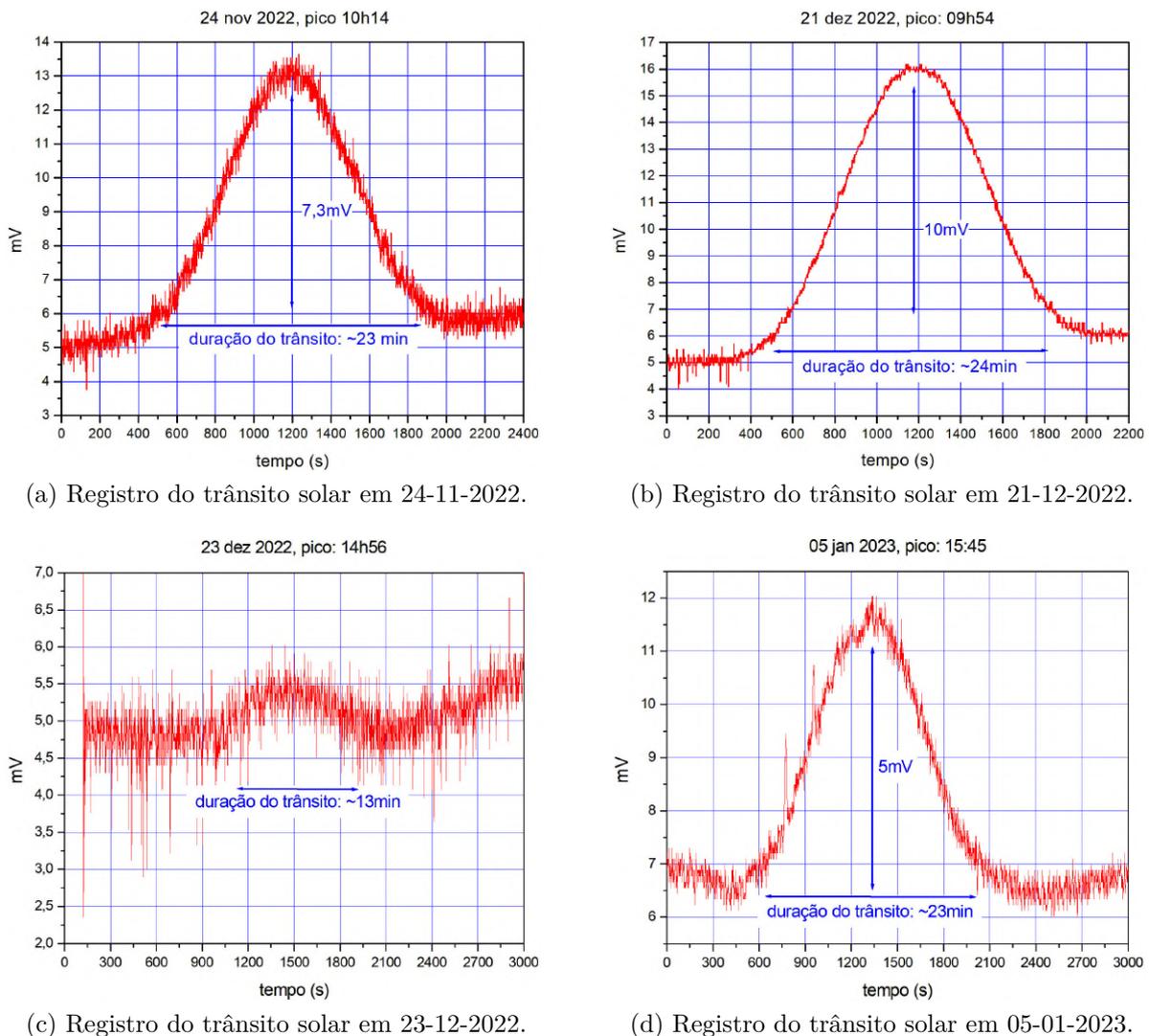


Figura 42 – Registros de emissão do Sol. Créditos: Autor.

Até então, nos testes que vinham sendo realizados, os ângulos de azimute e altura precisaram ser reajustados na hora de alinhar a antena. O azimute, obviamente precisa ser reajustado devido à declinação magnética, mas observou-se que a estrutura metálica da antena causava uma pequena deflexão na agulha da bússola se esta fosse colocada muito próxima do metal. Quanto a isso, só o que podia ser feito era tentar deixar a bússola o mais longe possível do metal durante o alinhamento, o que, na prática, era resolvido com cerca de 20 centímetros de distância.

No caso do ângulo de altura, havia uma discrepância que chegava a cerca de 16°

quando se ajustava o parafuso. Em parte era esperado que houvesse uma pequena imprecisão do alinhamento, visto que o ajuste é feito por meio de chave de boca e dependendo da pressão que o operador faça sobre a estrutura, ela pode envergar atrapalhando a leitura da escala da antena. Assim como pode ocorrer erro de paralaxe no momento de ler a escala. Em decorrência disso houve vários testes imprecisos que não resultaram em captações boas.

A partir dos testes feitos em 07 de janeiro de 2023, foi encontrada uma referência de ajuste da altura que coincidia com as coordenadas do Sol quando se apontava a antena diretamente para o alvo. Na [Figura 43\(a\)](#) podemos ver que a borda do parafuso coincide com a marca de 65° da escala, o que nesse momento coincidiu com a coordenada de altura do Sol indicada pelo Stellarium. Para outros modelos de antenas, sejam as de 60 ou 90 cm, a referência de ajuste não é padronizada, podendo ser, por exemplo, no meio do parafuso. Esse é um detalhe muito importante que infelizmente só pode ser determinado apontando a antena diretamente para o Sol e verificando visualmente na escala de cada uma onde ela marca a coordenada correta do Sol. Em buscas na internet não foram encontradas instruções ou dicas claras de como fazer esse ajuste da altura.



(a) Borda do parafuso como referência para ajuste da coordenada 65° de altura.

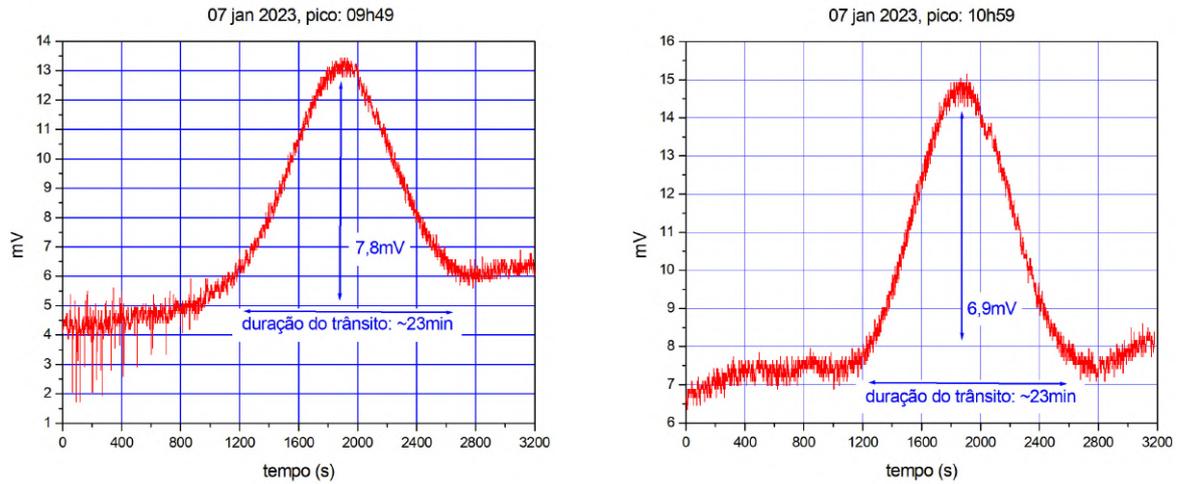


(b) Referência de ajuste para 60° em um segundo modelo de antena.

Figura 43 – Diferentes referências de altura em antenas de banda Ku. Créditos: Autor.

Nas figuras a seguir, temos duas captações realizadas utilizando o procedimento padronizado. Na [Figura 44\(a\)](#) a diferença entre o momento do pico previsto (09h41) e o detectado (09h49) foi de 8,3 minutos, cerca de 2° no céu, o que consideramos bastante satisfatório visto as imprecisões do equipamento. Já na [Figura 44\(b\)](#), obtivemos um tempo de captação semelhante aos resultados anteriores, mas onde o pico de emissão foi detectado apenas 7 minutos mais tarde que o previsto, isso é $1,75^\circ$ de diferença do esperado. A

previsão de detecção do pico máximo de sinal era para às 10h52, mas ocorreu às 10h59. Essas diferenças decorrem da imprecisão do equipamento.



(a) Teste 1 em 07-01-2023.

(b) Teste 2 em 07-01-2023.

Figura 44 – Registros de emissão do Sol. Créditos: Autor.

Na Figura 45 podemos ver o último teste realizado com esse sistema, onde, apesar dos novos procedimentos, ocorreu um atraso de cerca de 23 minutos em relação à hora do pico previsto, ou seja, 5,75° de diferença. Como a estrutura até esse momento não era considerada a melhor possível, pensamos que pode ter havido algum erro durante o apontamento, um erro de leitura ou um movimento brusco que causou o desalinhamento da antena. A principal causa de imprecisão no alinhamento é o ajuste de azimute, que depende de bússola.

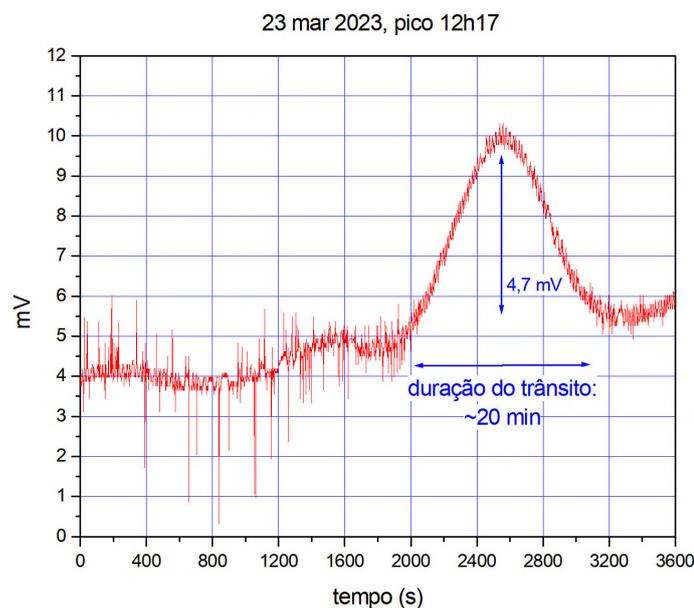


Figura 45 – Registro de trânsito solar em 23-03-2023.
Créditos: Autor.

2.3.1.1 Diferenças entre as antenas de 90 e 60 cm

Notamos dois aspectos perceptíveis quando comparamos os resultados dos dois tipos de antenas, a de 90 e a de 60 cm, o tempo de duração dos trânsitos e o nível de ruído captado (Figura 46).

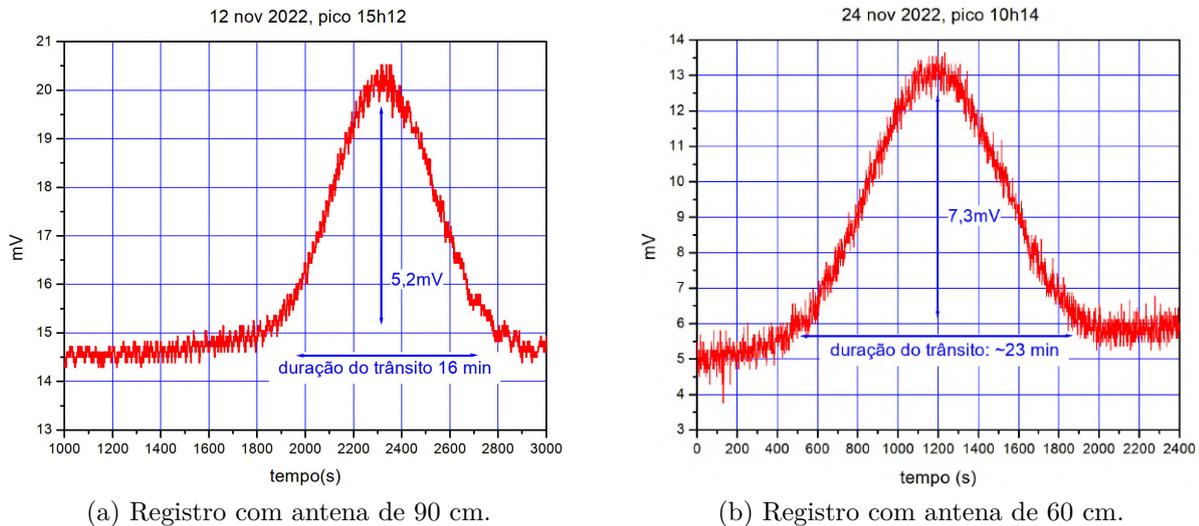


Figura 46 – Comparação de registros obtidos por duas antenas diferentes. Créditos: Autor.

Enquanto na antena de 90 os tempos variaram em torno de 16 minutos, na de 60 foi em média 23 minutos. Essa diferença nos tempos de trânsito se deve ao fato de a razão focal ser diferente nas duas antenas, como pode ser visto na tabela da Figura 47. Razão focal (F/D), assim como nos telescópios ópticos, é o quociente entre a distância focal e o diâmetro do prato. Quanto maior o F/D maior o zoom no objeto, porém a quantidade de luz captada não aumenta em proporção, ela se espalha por uma área maior e a imagem fica mais tênue. A antena de 90 cm pode, em teoria, enxergar com mais zoom, porém, a quantidade de radiação captada se torna menor devido ao espalhamento. É como se fizéssemos zoom na imagem, mas sem aumentar a resolução. Em suma, a antena de 90 cm “visualiza” uma região menor do céu, enquanto na de 60 é o contrário, ela monitora uma região maior, o que implica que o Sol estará por mais tempo no seu campo visual⁹.

Para $\lambda = 25$ mm		
Diâmetro do prato (cm)	90	60
Distância focal	540 mm	390 mm
Razão focal F/D	0,7	0,65
Resolução teórica	1,94°	2,91°
Duração média do trânsito	16 min	23 min

Figura 47 – Detalhes técnicos das antenas utilizadas. Créditos: Autor.

⁹ Leia mais em: <<https://skyandtelescope.org/astronomy-blogs/imaging-foundations-richard-wright/how-focal-ratio-affects-your-astro-images/>>

Quanto ao nível de ruído detectado, nos dois testes apresentados tivemos uma diferença de aproximadamente 9 mV. Enquanto que com a antena de 90 cm o ruído oscilou entre 14,5 e 15 mV, na antena menor variou em torno de 5 e 6 mV. Imaginamos que isso se deve ao ganho em dBi da antena, que é uma maneira de medir a potência de uma antena em relação a outra de referência. Aqui, tomando a antena de 60 cm como referência, temos que o ganho de sinal em dBi, dado pela [Equação 2.1](#) em termos nível de ruído, é de 3,97 dBi quando usamos a antena de 90 cm.

$$G(dBi) = 10 \log \left(\frac{\text{ruído antena 90}}{\text{ruído antena 60}} \right) = 10 \log \left(\frac{15mV}{6mV} \right) = 3,97dBi \quad (2.1)$$

Para antenas de 60 cm, operando em 12,75 GHz, uma especificação comercial comum é 36 dBi, enquanto que para uma de 90 cm o ganho na mesma frequência é de 39,7 dBi¹⁰. A diferença entre elas é de 3,7 dBi a mais para a antena de 90 cm, o que é próximo do valor medido na comparação feita com a [Equação 2.1](#). Os valores dessa comparação não são muito precisos pois o ajuste de ruído de fundo antes da observação é feito à mão por meio de potenciômetro giratório e com base no apito emitido pelo Satfinder.

¹⁰ Disponível em: <<https://www.centurybr.com.br/produtos/antena-banda-ku-century-60cm>>

2.3.2 Estrutura definida para construção

Para contornar os problemas de alinhamento foi planejada uma base com apoios, para assim, evitar que a estrutura balançasse demais com o vento. Foi desejado também que a estrutura tivesse simetria, o que permitiria realizar alinhamentos com maior precisão. Na [Figura 48](#) apresentamos um esquemático sugerido para construção utilizando material MDF.

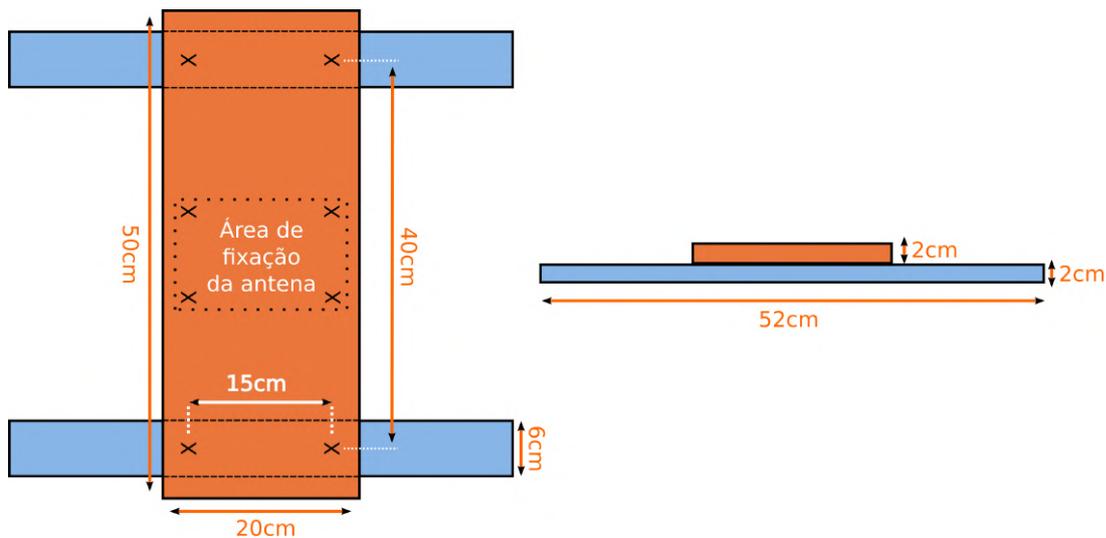


Figura 48 – Esquerda: vista superior. Direita: vista lateral. Todas as medidas estão em centímetros. As marcações em “X” indicam os locais onde parafusar as partes. Créditos: Autor.

Foi escolhido o **MDF** pois este tem resistência ao envergamento e suporta com bastante folga o peso da estrutura metálica. Ao longo dos testes percebemos que a qualidade da base é essencial na hora de alinhar o radiotelescópio.

As antenas comerciais utilizadas neste projeto (60 e 90 cm) não tem regulagem tão precisa, nem mesmo instruções sugeridas, somando isso a uma base desalinhada e instável, podemos ter certa dificuldade em apontar a antena com precisão. Por isso, é preciso utilizar materiais que não enverguem facilmente e mantenham a antena estável durante a operação. Outros materiais, como o compensado, envergam com o esforço mecânico, dificultando um pouco o processo de apontamento.

Na fixação das partes foram utilizados parafusos para madeira, que fixam bem no MDF e estão indicados pela marcação “X” da [Figura 48](#). As linhas pontilhadas no centro identificam o local onde deve-se fixar a primeira peça metálica, o suporte da haste da antena, uma peça que nas instalações convencionais é fixada diretamente em paredes de concreto. Na [Figura 49\(b\)](#) o suporte da haste aparece já fixado na base.



Figura 49 – Confeccção da base do radiotelescópio. Créditos: Autor.

Como os buracos de fixação desse suporte são largos, foi necessário usar arruelas para que a estrutura ficasse firme, como indicado na [Figura 50\(a\)](#). A parte mais longa da haste deve ficar perpendicular com o plano horizontal da base. Para verificar isso, podemos utilizar um nível de bolha ([Figura 50\(b\)](#)), ou mesmo, um aplicativo de smartphone.

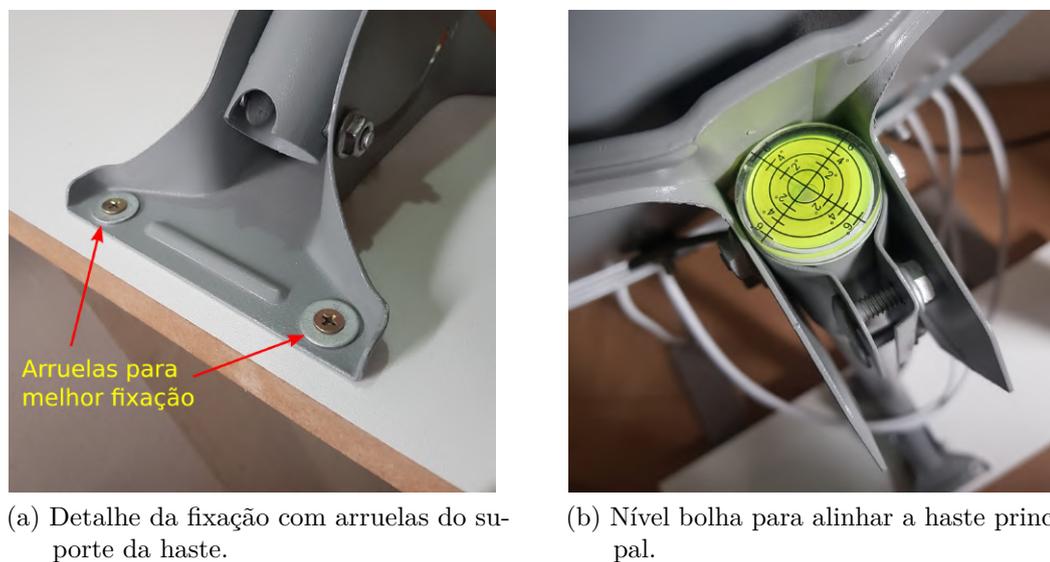


Figura 50 – Detalhes da nova base. Créditos: Autor.

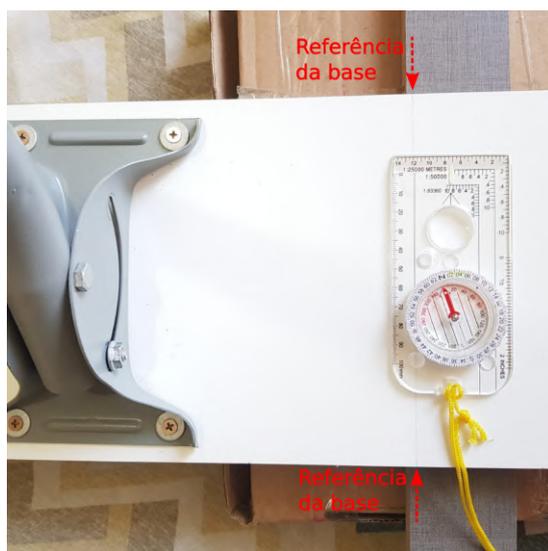
O modelo de nível bolha em formato de disco da [Figura 50\(b\)](#) mostra indicações em quatro eixos horizontais. Ele encaixa perfeitamente na estrutura da haste, permitindo um bom alinhamento vertical da haste de apoio. Isso será fundamental para que o ajuste de altura seja preciso o suficiente.

Na [Figura 51](#) a estrutura de reflexão pode ser vista com a montagem completa.

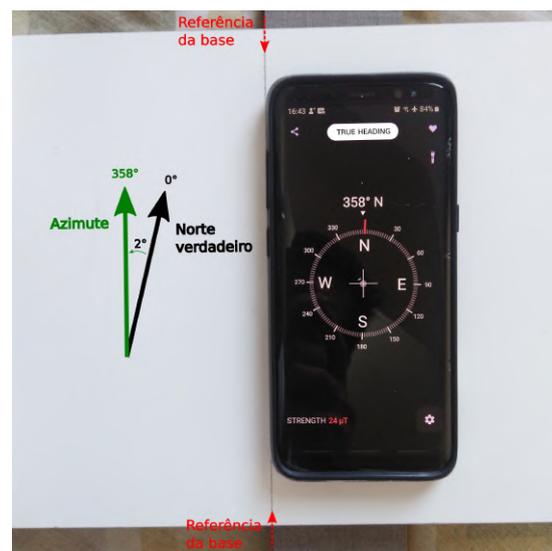


Figura 51 – Antena montada sem o LNB.
Créditos: Autor.

Com essa estrutura podemos utilizar pontos de referência na base para ajustar o azimute. Tanto uma bússola de acrílico, semelhante a da Figura 52(a), quanto uma de smartphone utilizando o aplicativo Digital Compass¹¹ na Figura 52(b), podem ser alinhadas por meio de marcas de referência ao longo da estrutura.



(a) Bússola indicando o azimute de 358° considerando a declinação magnética local.



(b) Aplicativo Digital Compass indicando o mesmo azimute.

Figura 52 – Ajuste de azimute em antenas de banda Ku. Créditos: Autor.

¹¹ Disponível em: <<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.vincentlee.compass>>

2.4 EXEMPLO DE OBSERVAÇÃO COM O RADIOTELESCÓPIO

Em um dos testes para observar o trânsito, foi definido que as coordenadas do alvo seriam ajustadas na antena prevendo a passagem pela frente do prato para dali a 20 minutos. Isso quer dizer, por exemplo, que se fossemos iniciar a captação de dados às 11h35, deveríamos programar no Stellarium o horário 11h55 e anotar as coordenadas do alvo para essa hora, ou seja, às 11h55 o alvo estaria diretamente a frente da antena e seria o momento de pico de sinal, aqui chamado pico previsto.

Programando a observação com um tempo prévio podemos monitorar o ruído natural de rádio do céu, que normalmente é linear e plano. Depois, poderemos separar esse ruído do sinal do alvo. Na [Figura 53](#) exemplificamos por meio de um registro antigo que, ao ligar o radiotelescópio, ele demorou cerca de 12,5 minutos para entrar em equilíbrio térmico com o ambiente. Nesse período, o ruído captado subiu de 6 mV para 9 mV, onde adquiriu um comportamento estável. Uma elevação do ruído ambiente sempre ocorre a medida que a estrutura metálica e o circuito eletrônico sofrem aquecimento, mas no geral identifica-se um comportamento estável. Na figura, a passagem do Sol causou bastante aquecimento e aumentou o nível de ruído após o final do trânsito.

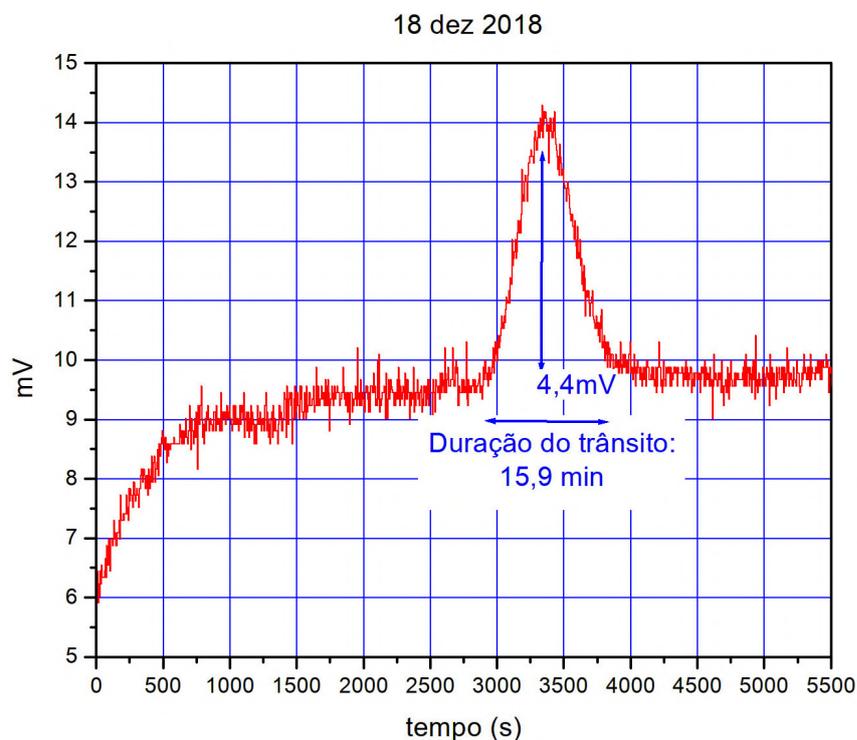


Figura 53 – Observação realizada com uma antena de 90 cm.
Créditos: Autor.

Na tabela apresentada na [Figura 54](#) temos um exemplo de coleta de dados durante uma observação realizada em 7 de março de 2023. Nessa tabela temos informações divididas em três partes. Na primeira, podemos ver dados sobre localização geográfica do local de

observação, como coordenadas, fuso horário e data. Na sequência, temos as coordenadas celestes do objeto alvo, o azimute e declinação, obtidos com o auxílio do Stellarium, com correção da declinação magnética local (19° neste exemplo) e hora de início da coleta de dados às 11h35. Em seguida, temos anotados os dados do trânsito observado, como posição no gráfico obtido, tempo desde o início da atividade, intensidade do sinal medida na escala de milivolts, o horário em que ocorreu, tempo de atraso ou adiantamento da detecção do pico, duração aproximada do trânsito e variação de intensidade do ruído antes e depois do trânsito.

Observação	Alvo	Data	Localização		Fuso local
01	Sol	26/03/23	Lat: -23° 33' 34"	Lon: -46° 43' 26"	03:00:00

Coordenadas do alvo	Correção	Diferença	Hora de início	
Azimute:	358°	19°	21°	11:35:38
Altura:	65°	--		

	posição gráfica	tempo decorrido	intensidade	horário	tempo UTC	Diferença do previsto
Pico Previsto	3449	19,6 min	4,14 mV	11:55:00	14:55:00	ATRASO
pico detectado	4819	42,5 min	10,04 mV	12:17:00	15:17:00	22,8 min
Início do trânsito:	4200	32,1 min	4,91 mV	12:07:00	15:07:00	Duração do trânsito
Fim do trânsito:	5407	52,3 min	5,66 mV	12:29:00	15:29:00	20,1 min
Início da coleta:	2272	Variação de intensidade:	0,75 mV			
		Aumento				

Figura 54 – Tabela com os dados coletados do trânsito solar observado em 26 de março de 2023.

Créditos: Autor.

Na [Figura 55](#) podemos ver o registro dessa observação. Com a coleta iniciada no instante definido pelo ponto 2272 e pico máximo próximo de 4819, ou seja, 42 minutos desde o início da contagem. A duração do trânsito foi de 20,1 minutos.

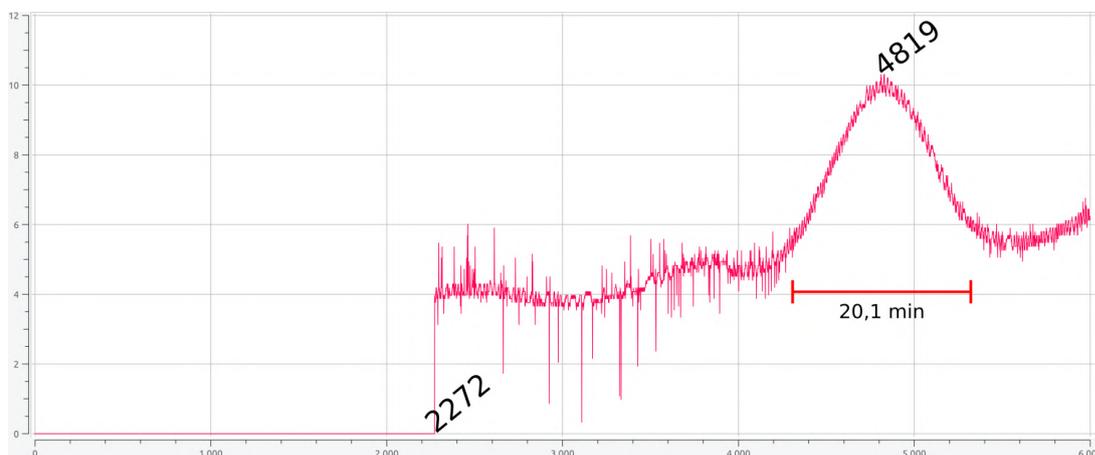


Figura 55 – Registro de trânsito solar em 26-03-2023.

Créditos: Autor.

3 APLICAÇÃO E RESULTADOS

*Da minha aldeia vejo quanto da
terra se pode ver do Universo...
Por isso a minha aldeia é tão
grande como outra terra
qualquer,
Porque eu sou do tamanho do
que vejo
E não do tamanho da minha
altura...*

O guardador de rebanhos
Alberto Caeiro (F. Pessoa)

Com a primeira versão do experimento pronta, foi definido que ela seria apresentada em dois eventos de formação para professores da educação básica, o Curso de Extensão Universitária: Astronomia - Uma Visão Geral, e o 23º USP Escola, ambos no ano de 2023. Nos dois eventos a atividade consistiu em uma oficina com tempo de duração de duas horas, onde na primeira uma hora e meia foi apresentada uma introdução sobre a radioastronomia e aspectos técnicos do radiotelescópio, e na parte final foi mostrada a montagem das partes mecânicas e eletrônicas, utilizando como base o modelo desenvolvido.

O Curso de Extensão Universitária, também chamado de CEU1, é um evento anual organizado pelo IAG - USP, cujo objetivo é fornecer conceitos fundamentais de Astronomia para docentes da Educação Básica e estudantes de licenciatura¹. O curso é realizado ao longo do primeiro semestre, em formato presencial, com aulas e oficinas aos sábados. A oficina de aplicação foi realizada no dia 29 de maio de 2023 e contou com a presença de 13 participantes.

Já o 23º USP Escola é um evento semestral realizado nos meses de janeiro e julho. Ele conta com atividades gratuitas, cujo objetivo é promover a formação continuada de docentes da educação básica por meio de cursos, palestras, debates e oficinas de atividades multiculturais e interdisciplinares². Nesse evento a oficina foi realizada no dia 17 de julho de 2023, nos mesmos moldes, e teve sete participantes.

Nos dois eventos foi utilizada como técnica de pesquisa a observação direta extensiva por meio de questionário estruturado anônimo, um instrumento de coleta de dados baseado

¹ Disponível em: <<https://www.iag.usp.br/eventos/curso-extensao/astronomia-visao-geral-2023>>

² Disponível em: <<https://uspescolaencontro.wixsite.com/encontrouspescola/atividades-23%C2%BA-encontro-usp-escola>>

numa série ordenada de perguntas (Marconi; Lakatos, 2010). O tipo de pergunta escolhida foi a aberta, pois possibilita investigações mais profundas e precisas.

Queremos, dessa forma, verificar a opinião dos docentes sobre a praticidade e potencial da implementação do experimento com radiotelescópio apresentado aqui. A seguir, utilizamos o método de Análise de Conteúdo de Bardin para estudar as respostas.

3.1 APLICANDO A ANÁLISE DE CONTEÚDO

3.1.1 Pré-análise

Nessa fase o corpus de análise é composto pelas respostas dos questionários passados nas duas oficinas de 2023, que ao todo somam 20 registros. Desse total, três participantes são ainda alunos de licenciatura, dos quais apenas dois tem experiência de estágio. Diante disso, foi adotada a regra de pertinência para definir quais documentos serão utilizados na análise. Essa regra diz respeito ao critério de escolha de fontes de informação que poderão corresponder ao objetivo da análise (Bardin, 1977), para avaliar no caso a viabilidade do experimento do radiotelescópio. Sendo assim, consideramos apenas respostas de participantes com experiência em sala de aula, que neste caso são 17 dos participantes.

Na Figura 56 temos especificado o número turmas e em quais ciclos os participantes de cada evento lecionam. Ao todo são 81 turmas, incluindo as etapas do fundamental 2 e ensino médio. Se formos separar as etapas, temos que, do total, 50 turmas correspondem ao fundamental 2 e 31 ao ensino médio. Em cima desse grupo vamos analisar suas respostas sobre a viabilidade do experimento do radiotelescópio didático. Apesar do número de participantes não ser tão alto, a quantidade de turmas atendidas é considerável.

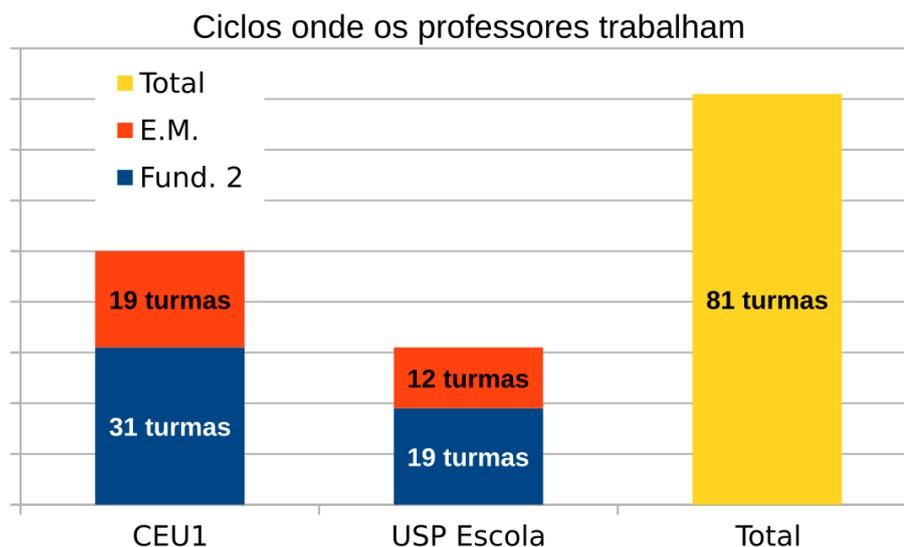


Figura 56 – Total de classes pelos participantes em cada ciclo básico.

Tendo o corpus definido, passamos a etapa de definir algumas hipóteses para serem

verificadas utilizando procedimentos de análise em cima dos dados obtidos. As hipóteses propostas são:

- I O experimento pode ser aplicado tanto no ensino fundamental como no médio;
- II Os professores consideram o uso de experimentos didáticos uma boa maneira de elucidar conceitos de ciências;
- III A replicação do experimento é viável na escola;
- IV A radioastronomia pode ser usada como estimulante de aprendizado nos alunos.

Essas hipóteses vão ao encontro do nosso objetivo geral, que é avaliar a viabilidade de um experimento de radioastronomia no ensino de física, para assim, apresentar como produto final uma apostila didática de como construí-lo ([Anexo A](#)). Tomaremos como índices de avaliação os comentários positivos e negativos sobre a proposta apresentada aos docentes.

O material base da análise consiste em questionários em folha A4 com seis perguntas respondidas à mão. Esses documentos foram digitalizados e salvos em formato PDF, totalizando 21 páginas. O número de páginas supera o de participantes, pois alguns complementaram suas respostas no verso da folha.

3.1.2 Exploração do material e interpretação

A primeira pergunta é referente à atuação profissional do participante, ela pede para responder em quais anos ele leciona (o compilado de quantas classes são atendidas foi apresentado já na [Figura 56](#)). Desejamos saber para quais etapas do ciclo básico os professores lecionam e se há predominância de alguma delas, o que poderia afetar o direcionamento do produto final.

As etapas do fundamental 2 e ensino médio são onde imaginamos que o experimento poderia ser melhor aproveitado, consoante as habilidades descritas na BNCC para as unidades temáticas “Matéria e energia” e “Terra e Universo”.

As respostas desse levantamento estão apresentadas na [Figura 57](#). Os três anéis são divididos da seguinte maneira: o mais interno representa os participantes do USP Escola; o meio são os participantes do CEU 1; o último e mais externo representa o total de participantes dos dois eventos. Para cada um dos anéis, está especificado, por meio de setas, a qual evento pertence. Cada um dos anéis é subdividido em três categorias: quantidade de professores que ministram aulas apenas no fundamental 2 (identificados pela cor laranja); quantidade de professores que ministram aulas apenas no ensino médio (cor verde); quantidade de professores que ministram aulas em ambos os ciclos (cor amarela).

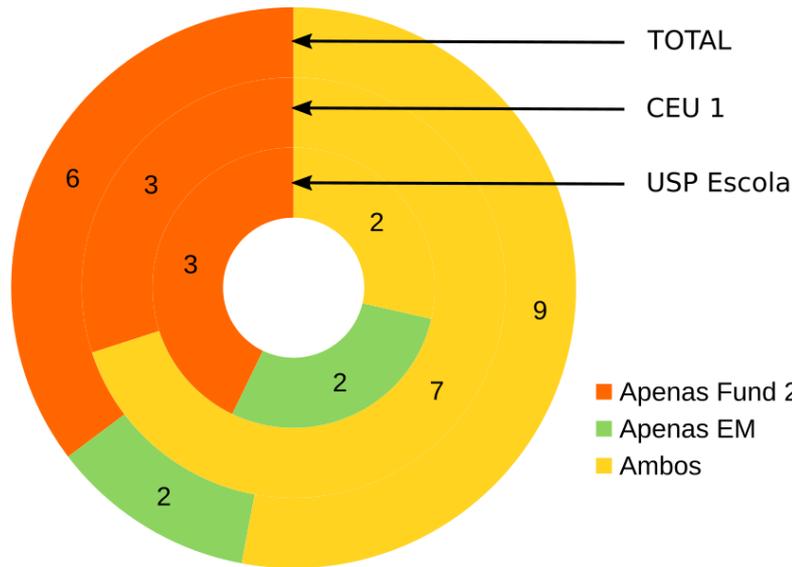


Figura 57 – Questão 1: Etapas do ciclo básico em que lecionam os participantes de cada oficina.

Dentre os participantes do USP Escola, representados pelo anel mais interno, três lecionam apenas no fundamental 2, dois lecionam apenas no ensino médio, e dois lecionam em ambas as etapas. Aqui temos uma distribuição equivalente entre fundamental 2 e ensino médio.

Na oficina do CEU 1, representada pelo anel intermediário, três participantes lecionam apenas no fundamental 2, nenhum apenas no ensino médio, e sete professores lecionam em ambas as etapas. Há maioria no fundamental 2, mas ainda assim é expressivo o número que leciona também no ensino médio.

Somando os participantes das duas oficinas, temos que seis lecionam apenas no fundamental 2, dois apenas no ensino médio, e nove em ambas as etapas. Apesar do número maior de professores de fund. 2, a quantidade do ensino médio não é desprezível. A maioria dos participantes são professores que lecionam tanto ciências no fundamental 2 como também disciplinas específicas no ensino médio. Por tanto, consideramos equivalente à distribuição entre as duas etapas enumeradas, o que poderá levar a interpretarmos os resultados, que se sobressaírem nas próximas perguntas, como válidos tanto para o fundamental 2 quanto para o ensino médio.

Também houve respostas para os anos iniciais do fundamental, mas para essa etapa não consideramos a possibilidade de aplicar o experimento da maneira como propomos, dado que os conceitos de astronomia observacional abordados nessa fase giram em torno da faixa visível do espectro eletromagnético. Enquanto a partir do sexto ano, é esperado que os alunos aprendam sobre sistemas mais complexos, como a estrutura da atmosfera da Terra descrita na habilidade EF06CI11 para sexto ano conforme o currículo paulista ((Estado), 2019), onde teremos, por exemplo, a ionosfera, onde ocorrem as auroras boreais

decorrentes da atividade solar.

Os resultados das questões seguintes foram organizados por meio de unidades de registro, definidas por palavras e frases destacadas nas legendas de cada gráfico. Buscamos dessa maneira, criar categorias para fazer uma contagem frequencial e ressaltar informações das falas dos participantes para podermos interpretar os dados.

Na questão dois foi perguntado se eles já fizeram uso de algum tipo de experimento para ensino de astronomia durante suas aulas, o que poderia ser desde esferas de isopor até dinâmicas mais complexas. Com isso queremos averiguar se eles já tem alguma experiência com experimentos em sala de aula, o que é interessante, pois aumenta a confiabilidade nas respostas das demais questões.

Aqui na [Figura 58](#) separamos as respostas entre os professores que ministram aulas nas etapas do ensino médio e fundamental 2, representadas pelos anéis interno e externo, respectivamente.

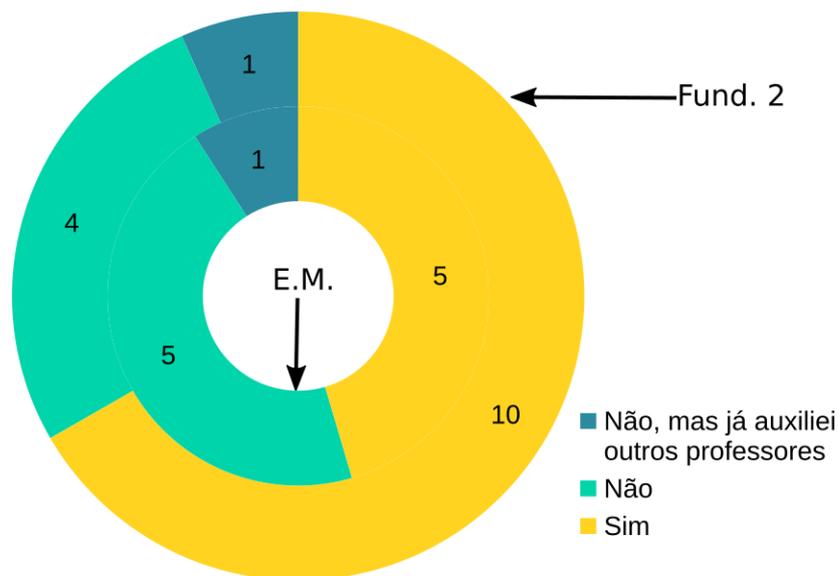


Figura 58 – Questão 2: Levantamento quanto a familiaridade com uso de experimentos/dinâmicas para ensino de astronomia em sala de aula.

Os resultados da [Figura 58](#) foram organizados utilizando-se palavras e frases como unidades de registro, especificadas nas legendas dos gráficos. Dentre os docentes do ensino médio (anel interno) aparece um percentual menor de respostas “sim”, apenas cinco contra seis “nãos”. Já no fundamental 2 (anel externo) predominam afirmações quanto ao uso de experimentos durante aulas, temos dez respostas “sim” contra apenas cinco “nãos”.

Sobre os resultados equivalentes para o ensino médio, isso pode ser devido aos conceitos mais complexos tratados nessa etapa, de maneira mais teórica do que prática. Apesar disso, como ilustrado na [Figura 59](#), é consenso entre os participantes que o uso de experimentos para ensino de astronomia é um bom método. 100% dos participantes, de

ambas as etapas de ensino, confirmaram com “sim”, e alguns salientaram a necessidade de inovar além dos experimentos mais comuns.

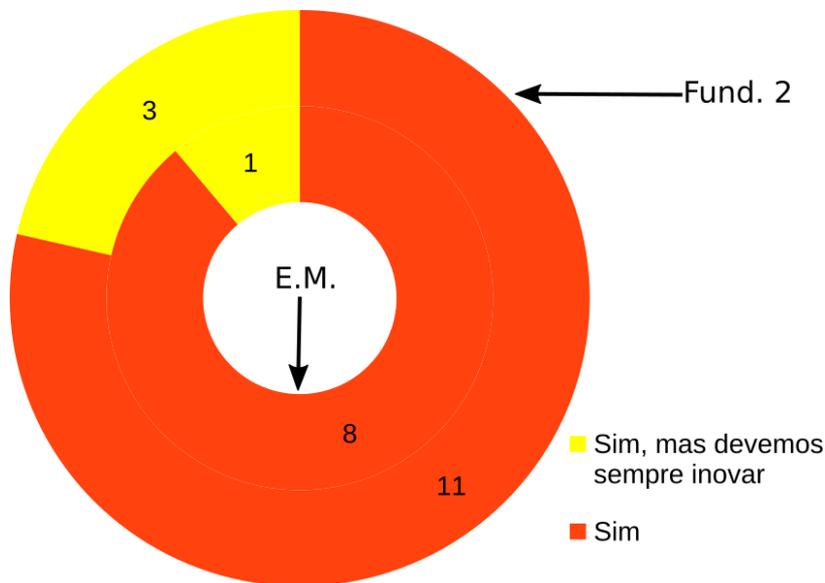


Figura 59 – Questão 2: Opinião referente a efetividade de experimentos no ensino de astronomia.

Na terceira questão foi perguntado a respeito da possibilidade de replicação do experimento nas escolas onde trabalham. Na Figura 60 o anel interno representa os professores do ensino médio, enquanto o externo representa os do fundamental 2. A grande maioria dos participantes, nove no ensino médio e 14 no fundamental 2, consideraram possível de replicar o projeto proposto nas escolas onde trabalham. Cabe salientar os comentários sugerindo que a aplicação seja feita, por exemplo, com grupos pequenos, com objetivo de apresentar em feiras de ciências e com auxílio de outros docentes.

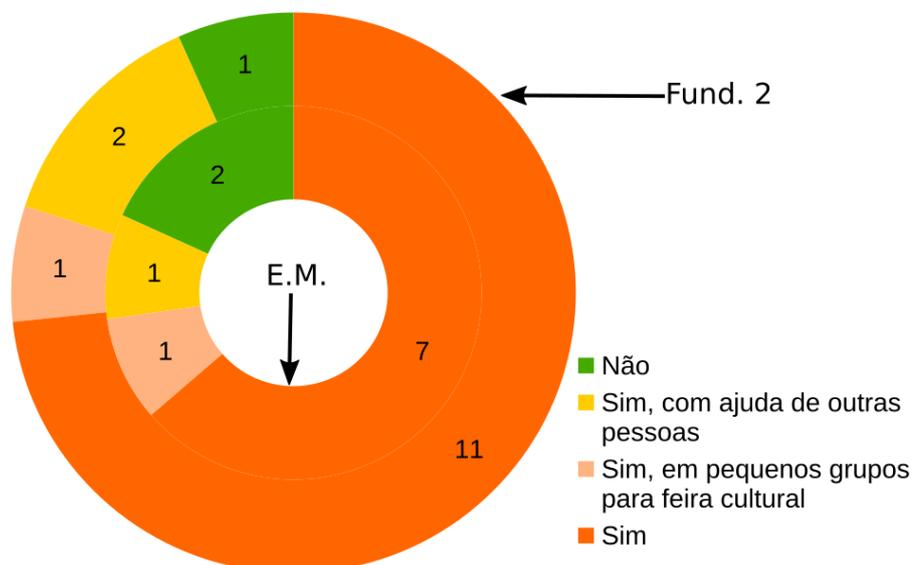


Figura 60 – Questão 3: Opinião dos participantes quanto a replicação do experimento.

Ainda na questão três, também foi perguntado quais pontos negativos eles elencariam em relação à aplicação do experimento. Na Figura 61 o anel interno representa os professores do ensino médio, enquanto o externo representa os do fundamental 2.

Apenas uma minoria, dois no ensino médio e três no fundamental 2, afirmou não existirem pontos negativos diante do que foi apresentado durante as oficinas. Na sequência temos várias respostas levantando pontos interessantes para se pensar no aprimoramento da proposta. Era de se esperar a maioria desses comentários, visto que a montagem do experimento envolve trabalho manual, procurar lojas de eletrônica, abordar tópicos não comuns de astronomia já dada uma formação deficiente nos cursos de licenciatura, e tempo de preparo para aprender a manusear a antena, o que nos leva a pensar que ele poderia ser melhor aproveitado para feiras de ciências e clubes de astronomia.

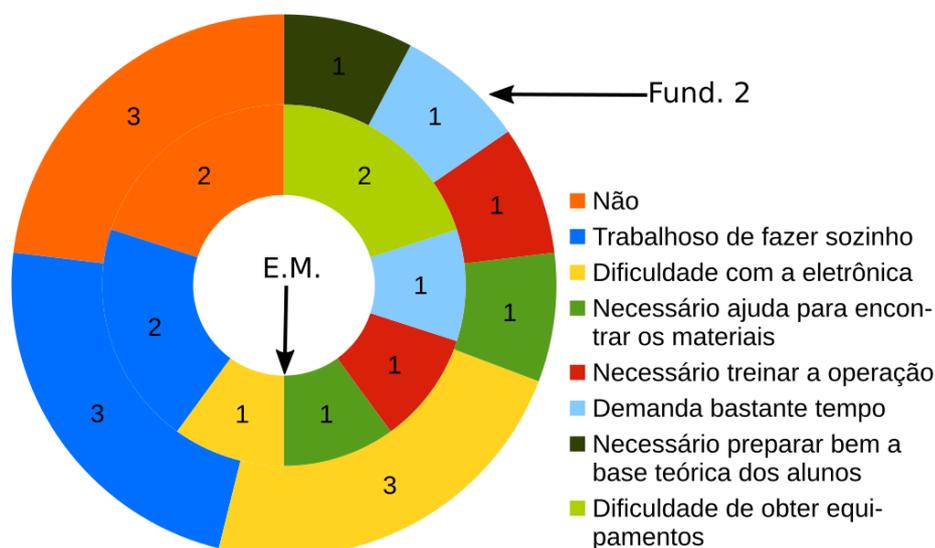


Figura 61 – Questão 3: Pontos negativos apontados pelos participantes.

Na questão quatro foi perguntado a respeito da viabilidade econômica de adquirir os componentes do experimento. Na Figura 62 o anel interno representa os professores do ensino médio, enquanto o externo representa os do fundamental 2. Entre os do ensino médio tivemos nove respostas considerando viável, financeiramente, e apenas duas afirmando ser custoso. No fundamental 2 foram 14 respostas pelo viável e apenas uma considerando custoso.

Levando em conta que a proposta sugere reciclar antenas de TV via satélite, teríamos ainda o custo dos componentes eletrônicos arduino (R\$ 51,00), Satellite Finder (R\$ 43,00), fonte de 15 V (R\$ 52,00) e conectores (R\$ 4,00), que na cotação atual do mercado, somados, está na faixa de R\$ 150,00.

Para o caso de escolas que já possuem arduino, esse custo poderia ser reduzido à faixa de R\$ 99,00. Também sugerimos, no produto final, a possibilidade de reciclar receptores de TV, em vez de comprar a fonte de 15 V, o que poderia reduzir o custo total de

R\$ 150,00 para aproximadamente R\$ 98,00, ou R\$ 47,00 no caso de a instituição já possuir arduino. No pior dos casos, não é um custo considerado alto, mas pelas respostas que afirmaram ser custoso, podemos concluir que as escolas ainda não estão em uma condição ideal para apoiar os docentes, seja em termos de estrutura ou mesmo de coordenação.

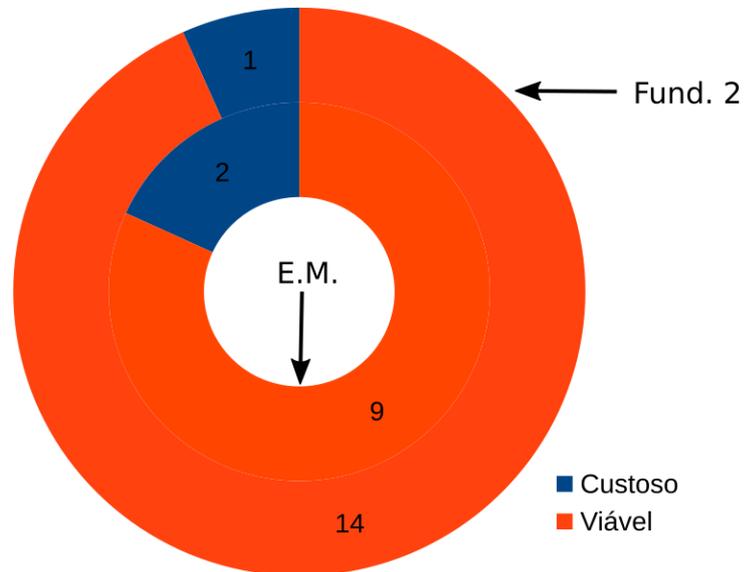


Figura 62 – Questão 4: Opinião sobre a viabilidade de conseguir os componentes do experimento.

Em relação à maneira de adquirir os componentes, conforme a [Figura 63](#), a maioria dos professores considerou que, por meio de reciclagem e compra de peças pela escola, seria possível adquirir os componentes necessários.

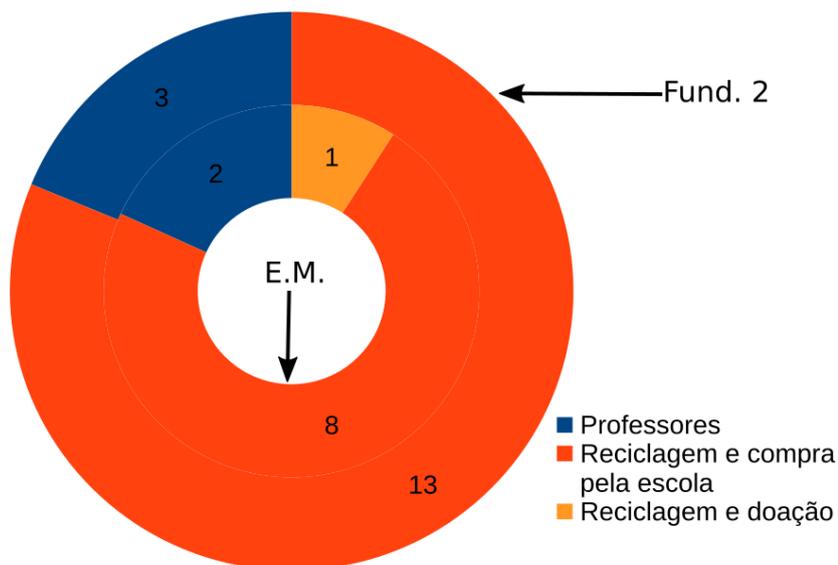


Figura 63 – Questão 4: Opinião sobre de que maneira adquirir os componentes.

O gráfico segue o mesmo padrão de anéis dos anteriores. Uma pequena parte opinou que os recursos teriam que vir dos próprios professores devido à falta de apoio da escola,

dois do ensino médio e três do fundamental 2. Isso evidencia mais uma vez que as escolas não estão funcionando em cenários ideais para promover a melhor educação possível aos jovens e condições plenas de trabalho aos profissionais da educação.

A seguir, na [Figura 64](#), temos a opinião dos docentes sobre a possibilidade de trabalhar apenas a parte histórica da radioastronomia, como apresentado na introdução do material. A maioria dos pesquisados, principalmente os do fundamental 2, não apontou grande dificuldade com o tema.

Dentre os docentes do ensino médio, quantificados no anel interno, 10 afirmaram conseguirem trabalhar o tema, apenas um disse que não, mas justificou isso devido à falta de tempo de aula para explorar o conteúdo, o que pode ser interpretado também como uma dificuldade, em um primeiro momento, de relacionar a radioastronomia com os conteúdos pré-definidos no currículo escolar devido a pouca exploração do tema nos cursos de formação que, quando tratam do assunto, costumam focar na parte óptica.

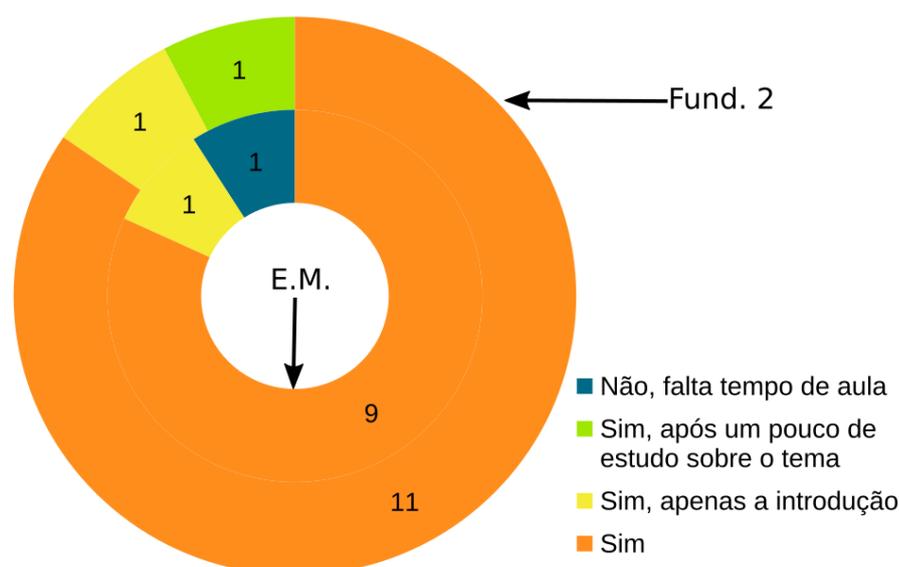


Figura 64 – Questão 5: Opinião dos professores sobre conseguir trabalhar a parte histórica da radioastronomia em sala de aula.

Ainda na mesma pergunta, foi também pedida a opinião sobre a aplicação da parte experimental. Na [Figura 65](#) os anéis representam em qual etapa o docente atua e os números são a quantidade de respostas para cada unidade de registro, identificada com detalhes na legenda.

Aqui tivemos opiniões divididas e ficou evidente a percepção de que é preciso adquirir alguma experiência para executar o experimento, até mesmo ajuda de outros professores, o que exige tempo de preparo, além do tempo necessário para execução da atividade. Também foi comentado sobre a impossibilidade de executar o experimento em turmas indisciplinadas, onde talvez apenas a parte teórica possa ser replicada.

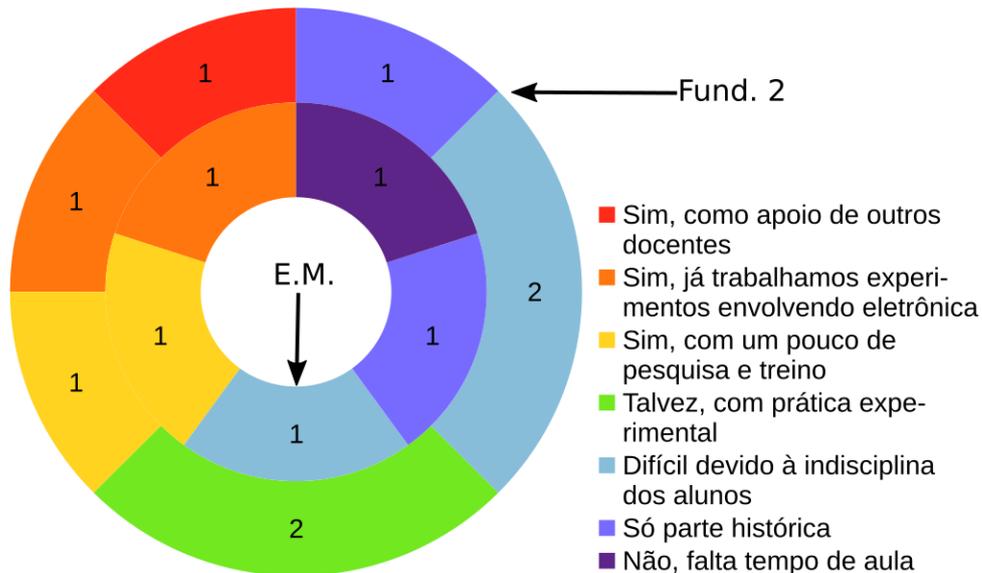


Figura 65 – Questão 5: Opinião dos professores sobre a aplicação em sala de aula.

Por fim, na sexta e última questão, foi pedido que comentassem, com críticas e sugestões gerais, a proposta apresentada. Conforme a [Figura 66](#), onde os anéis seguem o padrão das demais figuras, observamos comentários positivos em sua maioria.

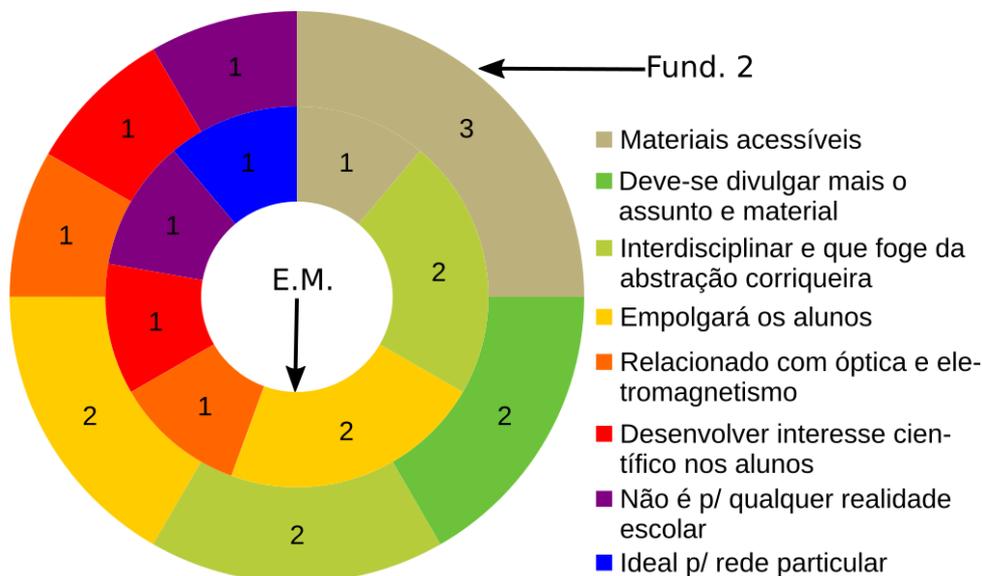


Figura 66 – Questão 6: Comentários gerais sobre a proposta apresentada.

Três participantes do fundamental 2 ressaltaram a facilidade de se obter os materiais, algo que tentamos deixar bastante claro no produto final. Dois sugeriram tentar divulgar mais o material apresentado.

Tanto docentes do ensino médio quanto do fundamental 2 citaram que há um potencial interdisciplinar e motivador na atividade, podendo levar à compreensão de conceitos que antes seriam abstratos aos alunos. A interdisciplinaridade deve ser sempre buscada, no sentido de desvelar diferentes formas de ser abordar a realidade ([Gattás;](#)

Furegato, 2006). A relação entre óptica e eletromagnetismo também é algo que pode sair da abstração, como decoração de fórmulas e gráficos, uma abordagem comum quando se aborda as outras faixas de comprimento de onda além do visível.

Também foi apontado, por um docente de cada etapa, que a proposta não seria factível de se aplicar em qualquer realidade escolar, algo que já vínhamos percebendo pelos comentários nas perguntas anteriores. Por fim, um docente do ensino médio, sugeriu que a proposta é ideal para a rede particular, onde o projeto tem potencial de agradar os pais dos alunos, agentes importantes nessas redes de ensino. De fato, eles não estão errados em suas observações e embora cada realidade escolar apresente desafios próprios, a partir dessas questões devemos pensar em propostas que atendam as necessidades do docente da melhor maneira possível.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Além da Terra, além do Céu, no trampolim do sem-fim das estrelas, no rastro dos astros, na magnólia das nebulosas. Além, muito além do sistema solar, até onde alcançam o pensamento e o coração, vamos!

Além da terra, além do céu
Carlos Drummond de Andrade

Segundo a [BNCC](#), documento no qual o currículo paulista está baseado, a escola deve ser organizada de modo a acolher as diversidades, promovendo o respeito aos seres humanos e seus direitos. Os jovens precisam passar por experiências que lhes permitam aprender como ler a realidade e enfrentar os desafios contemporâneos deixados pelas gerações anteriores, de maneira que, assim como afirma [Freire](#), adquiram postura interferente sobre seu contexto, de forma positiva.

O professor, não tendo tido uma formação básica que lhe dê amparo suficiente sobre a astronomia moderna, pode ter dificuldade em tratar de certos temas que aparecem com grande ênfase na mídia e que teriam potencial para despertar nos alunos o interesse em ciência. Como afirma [Horvath](#), há um certo afastamento da Astronomia contemporânea em relação ao que se vê a olho nu, ou mesmo com pequenos instrumentos. Grandes feitos científicos tem sido realizados com técnicas complexas, como interferometria com arranjos de diversas antenas e análise de dados em quantidades nunca vista, resultando, por exemplo, na primeira imagem de um buraco negro.

No produto final, elaboramos um passo a passo de como montar um pequeno radiotelescópio didático reutilizando, quando possível, equipamentos que, de outra maneira, seriam descartados como lixo. Antenas de banda Ku, cabos coaxiais e receptores de TV, por exemplo, podem ser reutilizados na confecção do radiotelescópio. Quanto a isso, os participantes das oficinas, em sua maioria, consideram viável a proposta.

A operação do radiotelescópio didático ajuda a compreender como operam os grandes radiotelescópios pelo mundo, pois suas instruções de operação contemplam, de maneira simplificada, as etapas de captação, filtragem, amplificação e tratamento de dados, comuns em observações de pesquisa, tanto na faixa do rádio como nas demais frequências. Esse é um aspecto interessante, pois proporciona uma vivência prática do processo de

observação do céu. De acordo com Langhi, atividades de observação astronômica, onde os alunos levantam dados, propiciam uma vivência próxima da astronomia amadora, o que favorece o interesse pela pesquisa científica. Seria interessante que cada escola tivesse seu próprio clube de ciências, ou mais especificamente, um de astronomia. Dessa maneira, a construção de um pequeno radiotelescópio poderia ser um bom projeto para que o grupo de alunos, orientado por um docente, se debruce sobre seus detalhes.

A Competência Específica 2 do Ensino Médio, descrita na BNCC, institui que o aluno deve ser capaz de discutir o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do universo, com base no conhecimento sobre as dinâmicas físicas da natureza, para contribuir, ao longo de sua vida, de forma responsável com a sociedade, fundamentando, tomando e defendendo decisões éticas e responsáveis.

Como expõe a BNCC:

Sempre que possível, os estudantes podem construir representações ou protótipos, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como softwares de simulação e de realidade virtual, entre outros), que possibilitem fazer projeções e avaliar impactos futuros considerando contextos atuais.

Diante disso, a construção de um pequeno radiotelescópio é opção viável para desenvolver nos estudantes habilidades previstas na BNCC. Nesta proposta foi sugerido o uso de arduino, um *hardware* que permite fazer inúmeros experimentos e projetos de eletrônica e robótica, algo que pode ser bastante útil no desenvolvimento de habilidades técnicas e de programação pelos alunos.

Na BNCC temos, por exemplo, as habilidades EM13CNT203, EM13CNT204 e EM13CNT205, para o ensino médio, que tratam da necessidade dos alunos em fazer previsões sobre os movimentos de objetos do sistema solar e interpretações acerca dos dados obtidos em experimentos realizados por eles. Nesse experimento podem ser trabalhados, por exemplo, o entendimento do movimento aparente do Sol, a utilização de trigonometria e o cálculo do deslocamento angular de objetos no céu, com base no diâmetro de uma circunferência e duração do dia.

Na Competência Específica 3 para o ensino médio é dito que os alunos deverão aprender a avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico no mundo, além de comunicarem suas descobertas e conclusões ao público. Em vista disso, a utilização do experimento didático se enquadra também na habilidade EM13CNT302, que trata justamente da capacidade de comunicar resultados, análises e pesquisas, visando que os estudantes se tornem capazes de promoverem debates científicos relevantes para a sociedade, o que pode ser desenvolvido também por meio da apresentação de seus resultados com o experimento em feiras de ciências, um objetivo interessante, pois demandaria tempo de preparação, algo necessário como apontado por alguns dos participantes da oficina. Seria

possível, por exemplo, relacionar as suas observações com a primeira foto do buraco negro de M87, algo que poderia ser promissor para desenvolver o interesse científico nos jovens e nas pessoas que assistissem à apresentação do grupo.

O monitoramento do clima espacial condiz bem com a habilidade EM13CNT306, visto que é importante compreender de que maneira as tecnologias contemporâneas impactam no seu cotidiano, quão seguro é ser dependente delas e como, por exemplo, uma grande tempestade solar, semelhante as do Evento Carrington, a de 1921 e a de 1989, podem interferir e inutilizar as redes de satélites, de telecomunicações e de energia elétrica. Não apenas tirando do ar redes sociais populares e a comunicação de dados via celular, mas expondo a população a sérios riscos de segurança.

Assim como conclui [Grasselli; Gardelli](#), os experimentos são atividades que podem contribuir na compreensão de fenômenos e apropriação mais ativa e concreta de conceitos de física pelos alunos, além de propiciar interação entre aluno e professor, o que facilita a disseminação e socialização do conhecimento. Os participantes da oficina, similarmente, concordaram em relação ao uso de experimentos em sala de aula, tanto os do fundamental 2 quanto os de ensino médio.

Assim como apontou [Costa](#) em seu estudo, aqui também a maioria dos docentes pesquisados tem uma opinião favorável sobre a aplicação, replicação e efetividade do experimento. O produto final aqui desenvolvido foi pensado para servir de apoio aos professores de ciências ([Anexo A](#)), que não tendo a oportunidade de terem contato com a radioastronomia durante sua graduação, podem, com esse material, disponibilizado como um Recurso Educacional Aberto ([REA](#)), desenvolver uma atividade com potencial motivador nos estudantes. Por fim, salientamos de novo que o incentivo a clubes de astronomia e de ciências nas escolas pode proporcionar um espaço ideal para desenvolver o pequeno radiotelescópio, o que demanda também que haja apoio, articulação e diálogo entre gestores escolares, docentes e estudantes.

REFERÊNCIAS

- AQUINO, P. V. P. d. Introdução à radioastronomia solar. João Pessoa, PB, 2013. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/241019434/Radio-Parte-1>>. Citado na página 32.
- ARAÚJO, M. L. *Simuladores experimentais de radiotelescópios para o ensino de astronomia no nível médio*. Dissertação (Mestrado), 2017. DEPARTAMENTO DE FÍSICA. Disponível em: <<http://tede2.uefs.br:8080/handle/tede/tede/644>>. Citado na página 48.
- BARDIN, L. *Análise De Conteúdo*. 3. ed. EDIÇÕES 70 - BRASIL, 1977. ISBN 9789724412146. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=m417PgAACAAJ>>. Citado 2 vezes nas páginas 44 e 74.
- BRASIL. *Base Nacional Comum Curricular*. Brasília, DF: Ministério da Educação, 2018. Citado na página 46.
- BRITANNICA, T. E. of E. *Grote Reber*. 2022. Encyclopedia Britannica. Disponível em: <<https://www.britannica.com/biography/Grote-Reber>>. Acesso em: 21 set 2023. Citado na página 32.
- BRITANNICA, T. E. of E. *Karl Jansky*. 2023. Encyclopedia Britannica. Disponível em: <<https://www.britannica.com/biography/Karl-Jansky>>. Acesso em: 21 set 2023. Citado na página 32.
- BUFFON, A. D.; NEVES, M. C. D.; PEREIRA, R. F. O ensino da astronomia nos anos finais do ensino fundamental: uma abordagem fenomenológica. *Ciência & Educação (Bauru)*, Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências, campus de Bauru., v. 28, p. e22006, 2022. ISSN 1516-7313. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1516-731320220006>>. Citado na página 43.
- CACERES, C. A. L. *Bunsen, Robert Wilhelm Eberhardt (1811-1899)*. 2021. Faculdade de Engenharia Mecânica - UNICAMP. Disponível em: <<http://www.fem.unicamp.br/~em313/paginas/person/bunsen.htm>>. Acesso em: 23 dez 2021. Citado na página 26.
- CARDOSO, M. R. G.; OLIVEIRA, G. S. de; GHELLI, K. G. M. Análise de conteúdo: Uma metodologia de pesquisa qualitativa. *Cadernos da Fucamp*, Fundação Carmelitana Mário Palmério, v. 20, n. 43, p. 98–111, fev 2021. Disponível em: <<https://revistas.fucamp.edu.br/index.php/cadernos/article/view/2347>>. Citado na página 44.
- CARVALHO, T. F. G. de; RAMOS, J. E. F. A bncc e o ensino da astronomia: o que muda na sala de aula e na formação dos professores. *Revista Currículo & Docência*, v. 02, p. 83–101, 2020. ISSN 2675-4630. Citado na página 43.
- CASTRO, M. T. de; SILVA, M. Q. da; BRITO, A. C. de. Montagem e utilização de um radiotelescópio amador utilizando arduíno para o estudo de sinais emitidos do espaço. In: . Campina Grande: Realize Editora, 2017. ISSN 2594-8318. Disponível

em: <<https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/49952>>. Acesso em: 28 nov 2023. Citado na página 48.

COSTA, L. B. *Recursos educacionais abertos para o ensino de astronomia*. 211 p. Dissertação (Mestrado) — Universidade de São Paulo - IAG, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 43 e 87.

COUNCIL, N. R. *Severe Space Weather Events—Understanding Societal and Economic Impacts: A Workshop Report: Extended Summary*. Washington, DC: The National Academies Press, 2009. ISBN 978-0-309-13811-6. Disponível em: <<https://www.nap.edu/catalog/12643/severe-space-weather-events-understanding-societal-and-economic-impacts-a>>. Citado na página 41.

ESA. *The European Space Agency's Herschel Space Observatory*. 2019. Disponível em: <<http://sci.esa.int/herschel/>>. Acesso em: 21 set 2023. Citado na página 30.

ESO. *Manual de Radioastronomia, ALMA na Escola*. 2019. European Southern Observatory. Disponível em: <<https://www.cac.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/30/2019/10/Projeto-ALMA-agosto-2019.pdf>>. Citado na página 36.

(ESTADO), S. P. *Currículo Paulista, SEDUC/Undime SP*. São Paulo, SP: Secretaria de Educação do Estado de São Paulo, 2019. Citado na página 76.

FERNANDES, K. C. *Construção de um Radiotelescópio Amador em Microondas 12 Ghz, Dotado de um Sistema Automático de Aquisição de Dados*. 27 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) — Universidade Católica de Brasília, Brasília, DF, 2007. Citado 2 vezes nas páginas 45 e 48.

FILHO, K. de S. O.; SARAIVA, M. de F. O. *Espectroscopia*. 2020. Departamento de Astronomia do Instituto de Física - UFRGS. Disponível em: <<http://astro.if.ufrgs.br/rad/espec/espec.htm>>. Acesso em: 08 dez 2021. Citado na página 28.

FREDERICO, F. T.; GIANOTO, D. E. P. Formação de professores de ciências quanto às temáticas astronomia e informática: Reflexões e possibilidades. In: . [s.n.], 2013. p. 945–954. ISSN 1809-8207. Disponível em: <<https://10.5747/ch.2013.v10.nesp.000544>>. Citado na página 42.

FREIRE, P. *Educação como prática da liberdade*. Paz e Terra, 2014. ISBN 9788577532193. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=WDTTAgAAQBAJ>>. Citado 2 vezes nas páginas 43 e 85.

GATTÁS, M. L. B.; FUREGATO, A. R. F. Interdisciplinaridade: uma contextualização. *Acta Paulista de Enfermagem*, Escola Paulista de Enfermagem, Universidade Federal de São Paulo, v. 19, n. 3, p. 323–327, Jul 2006. ISSN 0103-2100. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0103-21002006000300011>>. Citado na página 83.

GRASSELLI, E. C.; GARDELLI, D. O ensino da física pela experimentação no ensino médio: da teoria à prática. In: . Curitiba: SEED/PR: Secretaria de Estado da Educação. Superintendência de Educação. Os Desafios da Escola Pública Paranaense na Perspectiva do Professor PDE, 2014. p. 1–21. ISBN 978-85-8015-080-3. Disponível em: <http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/cadernospde/pdebusca/producoes_pde/2014/2014_uem_fis_artigo_erasmo_carlos_grasselli.pdf>. Acesso em: 17 nov 2023. Citado na página 87.

HORVATH, J. E. Uma proposta para o ensino da astronomia e astrofísica estelares no ensino médio. *Revista Brasileira De Ensino De Física*, v. 35, p. 1–8, 2013. ISSN 1806-9126. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1806-11172013000400012>>. Citado 2 vezes nas páginas 42 e 85.

HYDRO-QUÉBEC. *Le Québec a Subi en Mars 1989 une Panne Générale d'Électricité par suite d'une Tempête Solaire*. Montreal, Canadá: [s.n.], 1989. Disponível em: <<http://www.hydroquebec.com/comprendre/notions-de-base/tempete-mars-1989.html>>. Acesso em: 21 set 2023. Citado na página 40.

JÁCOME, H.; ECHER, E.; MARQUES, M. Uma introdução à interação eletrodinâmica entre júpiter e os satélites galileanos. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, Sociedade Brasileira de Física, v. 45, p. e20220278, 2023. ISSN 1806-1117. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2022-0278>>. Citado na página 37.

LANGHI, R. Educação em astronomia e formação continuada de professores: a interdisciplinaridade durante um eclipse lunar total. *Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia*, 06 2009. Citado na página 86.

LANGHI, R.; NARDI, R. Dificuldades interpretadas nos discursos de professores dos anos iniciais do ensino fundamental em relação ao ensino da astronomia 1. In: . [s.n.], 2005. p. 75–92. ISSN 1806-7573. Disponível em: <<https://doi.org/10.37156/RELEA/2005.02.075>>. Citado na página 41.

LANGHI, R.; NARDI, R. Trajetórias formativas docentes: buscando aproximações na bibliografia sobre formação de professores. *ALEXANDRIA Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*, v. 5, p. 7–28, 2012. ISSN 1982-153. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/alexandria/article/view/37710>>. Citado na página 42.

LANGHI, R.; NARDI, R. Justificativas para o ensino de astronomia: o que dizem os pesquisadores brasileiros? *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 14, n. 3, p. 041–059, mar. 2015. Disponível em: <<https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4292>>. Citado na página 43.

LATTARI, C. J. B.; TREVISAN, R. H. Radioastronomia: noções iniciais para o ensino médio e fundamental como ilustração de aula. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 18, n. 2, p. 229–239, 08 2001. ISSN 2175-7941. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6682>>. Citado 2 vezes nas páginas 45 e 48.

LEITE, C. et al. O ensino de astronomia no brasil colonial, os programas do colégio pedro ii, os parâmetros curriculares nacionais e a formação de professores. In: _____. [S.l.: s.n.], 2014. p. 568–569. ISBN 978-85-7858-276-0. Citado na página 42.

LEITNER, A. The life and work of joseph fraunhofer (1787-1826). *American Journal of Physics*, v. 43, n. 1, p. 59–68, 1975. Disponível em: <<https://doi.org/10.1119/1.9998>>. Citado na página 26.

MARCONI, M. de A. M.; LAKATOS, E. M. *Fundamentos de metodologia científica*. 5. ed. Editora Atlas S.A., 2010. ISBN 9788522457588. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=Y2WFRAACAAJ>>. Citado na página 74.

- MILLER, D. F. Basics of radio astronomy: For the goldstone-apple valley goldstone-apple valley radio telescope. Jet Propulsion Laboratory, California, EUA, 1998. Disponível em: <<http://www.jpl.nasa.gov/radioastronomy>>. Citado na página 30.
- MOREIRA, M. A. Grandes desafios para o ensino da física na educação contemporânea. *Revista do Professor de Física*, v. 1, n. 1, p. 1–13, ago. 2017. Disponível em: <<https://periodicos.unb.br/index.php/rpf/article/view/7074>>. Citado na página 41.
- MOURA, B. A. Newton versus Huygens: como (não) ocorreu a disputa entre suas teorias para a luz. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), v. 33, n. 1, p. 111–141, 2016. ISSN 1677-2334. Citado na página 23.
- NASA. *SDO - Solar Dynamics Observatory: A guide to the mission and purpose of NASA's solar dynamics observatory*. 2009. NASA's Goddard Space Flight Center. Disponível em: <<https://sdo.gsfc.nasa.gov/mission/spaceweather.php>>. Acesso em: 21 set 2023. Citado na página 39.
- NETO, J. Teles de C. et al. Relatos de experiências em um curso de astronomia para professores da educação básica. In: . [S.l.: s.n.], 2013. p. 1. Citado na página 42.
- OLIVEIRA, R. A. de; SILVA, A. P. B. da. William Herschel, os raios invisíveis e as primeiras ideias sobre radiação infravermelha. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 36, n. 4, p. 4603, 2014. ISSN 1806-9126. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1806-11172014000400022>>. Acesso em: 25 dez 2021. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 28.
- PINTO, C. H.; ARANHA, N. Construção de radiotelescópio para análise de micro-ondas solares em 12 GHz. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, scielo, v. 40, 00 2018. ISSN 1806-1117. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172018000200412&nrm=iso>. Citado 2 vezes nas páginas 45 e 48.
- ROSA, C. W. d.; ROSA, A. B. d. Ensino de física: objetivos e imposições no ensino médio. *REEC: Revista electrónica de enseñanza de las ciencias*, ISSN 1579-1513, Vol. 4, N.º. 1, 2005, v. 4, 01 2005. Citado na página 41.
- SHOSTAK, S. *A Primer on SETI at the SETI Institute*. 2021. Disponível em: <<https://www.seti.org/primer-seti-seti-institute>>. Acesso em: 21 set 2023. Citado na página 37.
- SILVA, R. A. F. da; CAVALCANTE, I. P.; CORRÊA, H. P. S. Space weather interference in earth communications and construction of a small-scale radio telescope for sun observation in radio waves using Arduino. *Physics Education*, IOP Publishing, v. 55, n. 6, p. 065018, sep 2020. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.1088/1361-6552/abad11>>. Citado na página 48.
- SLOVINSKI, L.; ALVES-BRITO, A.; MASSONI, N. T. A astronomia em currículos da formação inicial de professores de física: uma análise diagnóstica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 43, 2021. ISSN 1806-1117. Citado na página 42.
- SOCIETY, F. *Linhas Fraunhofer*. 2021. Fraunhofer Society. Disponível em: <<https://www.fraunhofer.de/en/about-fraunhofer/profile-structure/chronicles/joseph-von-fraunhofer.html#699780216>>. Acesso em: 08 dez 2021. Citado na página 26.

STORMS, S. *May 13, 1921 – The New York Railroad Storm*. 1921. SolarStorms.org. Disponível em: <<http://www.solarstorms.org/SS1921.html>>. Acesso em: 21 set 2023. Citado na página 40.

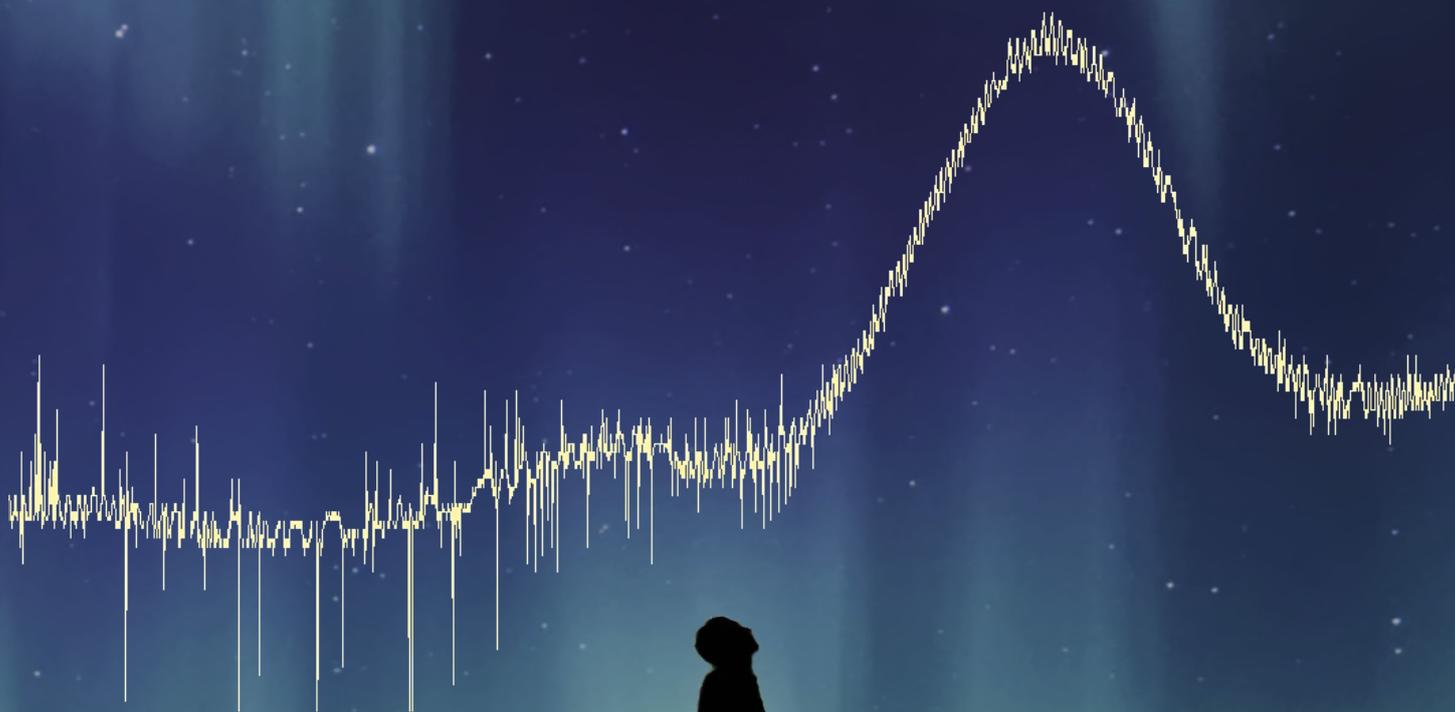
Anexos

ANEXO A – PRODUTO EDUCACIONAL

Renan A. F. Silva
Roberto D. D. Costa



Manual de Construção de um Pequeno Radiotelescópio



Ensino de Astronomia

Lista de siglas

A/D - Analógico para Digital. 29, 34, 35

ALMA - Atacama Large Millimeter Array. 16

CCD - Charge-Coupled Device. 19

EHT - Event Horizon Telescope. 18

EMC - Ejeção de Massa Coronal. 22

FI - Frequência Intermediária (950 MHz a 2150 MHz) de transmissão de sinal em cabos coaxiais. 28

GND - Ground. 37, 41

GPS - Global Positioning System. 23

IDE - Integrated Development Environment. 33–36

LNB - Low-noise block converter (conversor de baixo ruído). 27–29, 31–33, 41

MDF - Medium Density Fiberboard, em português, placa de fibra de média densidade. Esse material é resultado da mistura da fibra da madeira com resinas sintéticas. 30

NOAA - National Oceanic And Atmospheric Administration. 45–47

RCA - Tipo de conexão analógica desenvolvida pela RCA Corporation, também chamada no Brasil de AV. 33

SatFinder - Satellite Finder. 28, 29, 31–33, 37, 38, 41, 52

SETI - Search for Extraterrestrial Intelligence. 20

Sgr A* - Sagitário A*. 18

TOLNB - To LNB, conectar com o LNB. 41

TOREC - To Receiver, conectar com o receptor. 41

VLA - Very Large Array. 16, 21

Sumário

Lista de Siglas	3
1 INTRODUÇÃO	7
1.1 Objetivo Deste Projeto	7
1.2 Para a Astronomia, Tudo é Luz	10
1.3 Os Raios Invisíveis de Herschel	11
1.4 As Misteriosas Linhas de Fraunhofer	12
1.5 Calor e Luz Agora Sob o Olhar da Química	13
1.6 A Transparência da Atmosfera	17
1.7 O Universo Invisível da Radioastronomia	19
1.7.1 Origens da radioastronomia	19
1.7.2 Radioastronomia contemporânea	20
1.7.3 Como são formadas as imagens na radioastronomia	23
1.7.4 A busca por vida extraterrestre	24
1.7.5 Dica de livro e filme	26
1.8 Tempestades Solares e Monitoramento do Clima Espacial	27
1.9 Um mar de antenas nos telhados	30
2 PASSO A PASSO DA CONSTRUÇÃO DO RADIOTELESCÓPIO	33
2.1 Visão Geral do Sistema Eletrônico	33
2.2 PARTE 1: Base Estável Para o Radiotelescópio	37
2.3 PARTE 2: Montando o Amplificador de Sinal Usando SatFinder	40
2.3.1 Alimentação do SatFinder	42
2.4 PARTE 3: Conversão A/D com Arduino	43
2.4.1 O que é arduino?	43
2.4.2 Conversor A/D	44
2.4.2.1 Detalhes de como funciona o programa	46
2.5 PARTE 4: Software de Visualização do Trânsito Solar	47
3 OBSERVAÇÃO DO TRÂNSITO SOLAR	53
3.1 Conexão dos Componentes	53
3.2 Primeiro Ajuste do Amplificador <i>SatFinder</i>	53
3.3 Seleção do Alvo e Planejamento da Observação	54
3.3.1 O planetário virtual Stellarium	54
3.3.1.1 Configurando o local do observador no Stellarium	54
3.3.1.2 Busca do alvo e definição do horário	54

3.4	Apontamento da Antena	56
3.4.1	Considerações sobre o Sistema Altazimutal/Horizontal	56
3.4.2	Considerações sobre bússolas	57
3.4.3	Cálculo da declinação magnética local usando uma calculadora virtual	58
3.4.4	Cálculo da declinação magnética local usando um aplicativo de smartphone (método mais fácil)	59
3.4.5	Ajuste e apontamento da antena	60
3.4.5.1	Ajuste do azimute com bússola comum	60
3.4.5.2	Ajuste do azimute com aplicativo	62
3.4.5.3	Ajuste da altura na antena	63
3.4.5.4	Nivelamento da antena	63
3.5	Segundo Ajuste do Amplificador <i>SatFinder</i>	64
3.6	Coleta de Dados e Visualização	66
3.6.1	Iniciando a coleta de dados	66
3.6.2	Finalizando a coleta de dados	69
3.6.3	Salvando os dados	69
3.7	Exemplos de testes com antenas de 90 e 60 cm	72
3.7.1	Diferenças entre as antenas de 90 e 60 cm	76
3.8	Considerações Finais	77
	REFERÊNCIAS	81
	APÊNDICE A – LISTA DE MATERIAIS	85
	APÊNDICE B – TABELA DE OBSERVAÇÃO EM BRANCO	87

1 INTRODUÇÃO

Aqueles que têm o privilégio de ainda poder olhar um céu estrelado numa noite escura, podem contemplar uma das mais belas paisagens do cosmos, a noite estrelada. O famoso pintor Vincent van Gogh eternizou em óleo sobre tela uma representação dessa bela paisagem (Figura 1). A contemplação do cosmos nos coloca frente a questões que podem parecer intimidadoras, e de fato o são, mas em nosso tempo temos ferramentas e conhecimento suficientes para, ao menos, desafiar os portões dos céus e investigar os mistérios das noites estreladas.



Figura 1 – Vincent van Gogh, A Noite Estrelada, Saint Rémy, June 1889.

1.1 Objetivo Deste Projeto

Muitas antenas de banda Ku¹ (Figura 2(a)), um tipo comercial bastante comum e também chamadas antenas *offset*, têm se tornado lixo tecnológico sobre as paredes e telhados das casas. Diante dessa situação e inspirado pelo trabalho promissor de Lattari e Trevisan[1], Fernandes[2], Castro, Silva e Brito[3], Araújo[4], Pinto e Aranha[5] e Silva, Cavalcante e Corrêa[6], apresentaremos aqui o projeto de um sistema de observação solar no comprimento de onda de 25 mm (12 GHz), que é também a faixa comercial utilizada na recepção de TV via satélite, utilizando uma antena comum de banda Ku, como a da Figura 2(a), que permite trabalhar a radioastronomia nos anos finais do ensino fundamental

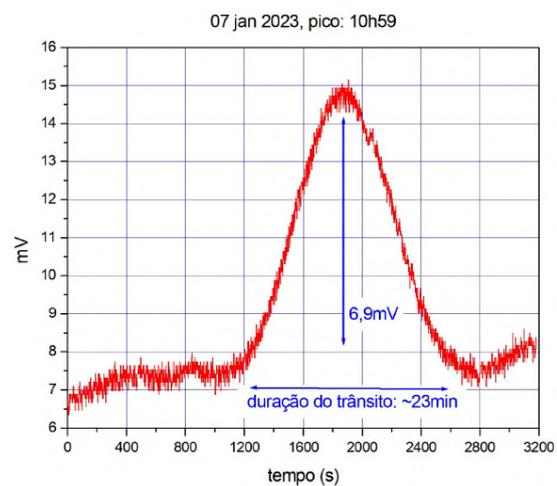
¹ Faixa de frequência entre 10,7 GHz e 18 GHz muito utilizada na comunicação com satélites.

(fundamental 2) e ensino médio, conforme os eixos temáticos da Base Nacional Comum Curricular - BNCC [7].

Trata-se de um radiotelescópio de pequeno porte que pode ser implementado como experimento didático para aplicar conceitos de eletromagnetismo na astronomia, física solar e movimento da Terra para obtenção de uma imagem do trânsito solar no céu, como o da [Figura 2\(b\)](#). O desenvolvimento dessa atividade envolve muitos conceitos, como astronomia de posição, coordenadas geográficas, movimento de rotação da Terra e radiação eletromagnética, além de aspectos de eletrônica usando Arduino (descrito com mais detalhes na [subseção 2.4.1](#)) que, dependendo do contexto, podem ser aprofundados ou não.



(a) Radiotelescópio de pequeno porte.



(b) Registro de trânsito solar em 07-01-2023.

Figura 2 – Antena de banda Ku, 60 cm, e registro de emissão solar. Créditos: Autor.

O equipamento consiste em um sistema de captação e armazenamento de dados das emissões na faixa de frequência de operação comercial da antena, de 10,7 a 12 GHz. Na implementação, são utilizados equipamentos comerciais adquiridos em lojas de antenas e tecnologias *open source hardware*², para prototipagem baseada em Arduino. Dentre os objetivos específicos, temos:

- Praticar a radioastronomia solar e compreender como operam os grandes radiotelescópios;
- Correlacionar a ocorrência de tempestades solares de grande magnitude com a formação de auroras boreais e austrais, e a necessidade do monitoramento do clima espacial;

² Conceito derivado do *open source* (código aberto) e aplicado ao hardware.

- Relacionar conceitos de eletromagnetismo com aspectos do dia a dia, como propagação de ondas de rádio e comunicação via satélite;
- Aplicar conceitos de eletromagnetismo na astronomia, física solar e movimento da Terra;
- Desenvolver afinidade com tecnologias *open source hardware* (como o Arduino);
- Adquirir consciência a respeito do descarte adequado de lixo tecnológico.

1.2 Para a Astronomia, Tudo é Luz

Por meio da luz podemos tanto contemplar belas paisagens quanto desvendar os mistérios do cosmos. Conforme o dicionário brasileiro da língua portuguesa Michaelis³, a palavra “luz”, dependendo do contexto, pode ter até 26 significados diferentes, tanto de caráter científico quanto figurativo. Mas vamos nos ater ao significado físico da luz:

A porção da irradiação eletromagnética à qual os órgãos da visão reagem e cujo comprimento de onda varia de 3.000 a 7.000 angstroms.

Ter acesso a essa definição contemporânea talvez seja de causar inveja aos mais destacados intelectuais da antiguidade. Isaac Newton (1643-1727) e Christiaan Huygens (1629-1695), já sob a luz do renascimento, escreveram trabalhos para tentar explicar os fenômenos e propriedades da luz, mas sem chegar numa concepção formal a respeito da natureza da luz.

Huygens pensava na luz como sendo pulsos não periódicos propagados pelo éter, ideia que mais tarde evoluiu, com Leonhard Euler (1707-1783), para uma teoria ondulatória da luz. Newton pensava que uma concepção corpuscular seria uma hipótese provável, porém, a ideia carecia de evidências [8]. Em *Ótica* (1670), Newton apresentou seus famosos experimentos com prismas que dispersavam a luz em várias cores, a luz branca era, na verdade, uma composição de diversas cores. Esses experimentos fascinaram os cientistas da época e abriram caminho para novas investigações acerca da natureza da luz (Figura 3).



Figura 3 – Isaac Newton dispersando luz com um prisma de vidro.
Créditos: Apic/Getty Images.⁴

³ Disponível em: <<https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/luz>>

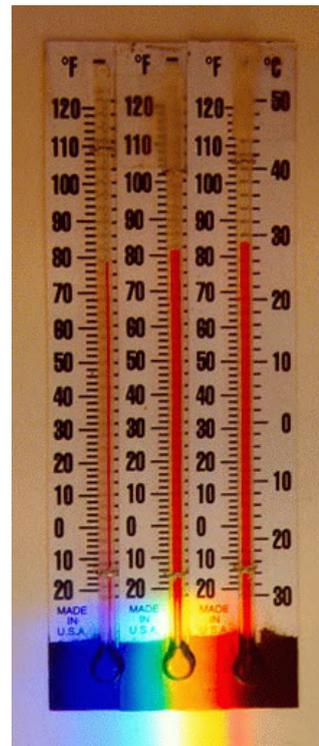
⁴ Disponível em: <<https://www.biography.com/news/isaac-newton-quarantine-plague-discoveries>>

1.3 Os Raios Invisíveis de Herschel

Outro passo importante no desenvolvimento da ciência, foi a descoberta da radiação infravermelha pelo astrônomo William Herschel (1738-1822), uma forma de luz invisível aos olhos humanos. Herschel era bastante conhecido entre a comunidade científica de sua época por descobrir o planeta Urano, além de outras importantes contribuições observacionais. Ele desenvolveu experimentos sobre o poder de aquecimento dos raios coloridos, ou seja, das cores obtidas a partir da luz branca.



(a) Frederick William Herschel.



(b) Reprodução do experimento em escola.

Figura 4 – Herschel e os raios invisíveis.⁵

Basicamente, Herschel utilizava um prisma para separar o espectro da luz solar e, com um termômetro, media a temperatura em cada uma das cores, como fazem os termômetros na Figura 4(b). Assim, ele percebeu que as cores apresentavam diferentes poderes de aquecimento.

Em abril de 1800, Herschel apresentou no artigo *Experiments on the Refrangibility of the Invisible Rays of the Sun* uma de suas maiores descobertas experimentais. Seus experimentos revelaram que um termômetro, quando colocado além da cor vermelha, indicava um aumento de temperatura em relação ao que era obtido no vermelho. Essa era, como conhecemos hoje, a radiação infravermelha. Porém, do outro lado do espectro além

⁵ Disponível em: <https://coolcosmos.ipac.caltech.edu/page/herschel_experiment>

do violeta, ele não encontrou mudança perceptível devido a limitação de seus equipamentos, o que o levou a pensar que não existissem os que ele chamou de raios invisíveis além do violeta. Hoje sabemos que ali existe o ultravioleta.

Herschel também concluiu que o Sol emitia algum tipo de raio de calor invisível, porém, ele pensava que, ao contrário do que se sabe hoje, o calor radiante e a luz eram propriedades essencialmente diferentes. Anos depois essa concepção foi superada, mas as questões levantadas nesse estudo levaram a investigações que possibilitaram contribuir bastante com o desenvolvimento da ciência [9].

1.4 As Misteriosas Linhas de Fraunhofer

Joseph von Fraunhofer (1787-1826), considerado o precursor da espectroscopia, foi um grande construtor de lentes que contribuiu bastante para o aperfeiçoamento da ótica. Em 1814, utilizando um prisma de maior qualidade para separar as cores do espectro solar, ele descobriu que as já conhecidas linhas escuras do gradiente de cores sempre se repetiam nos mesmos lugares, ou seja, havia um padrão (Figura 5).

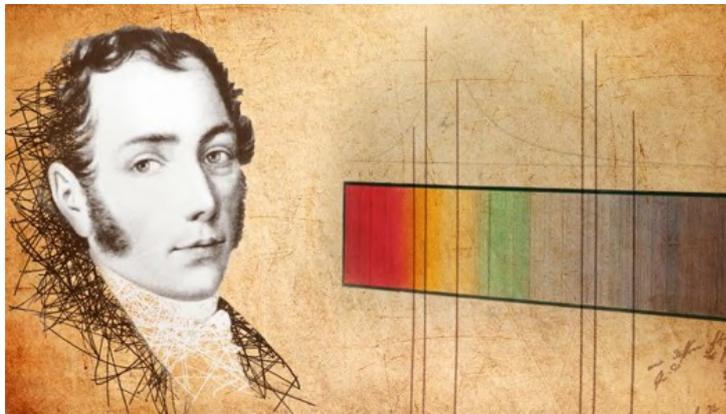


Figura 5 – Fraunhofer e as linhas escuras do espectro solar.
Créditos: Fraunhofer-Gesellschaft.

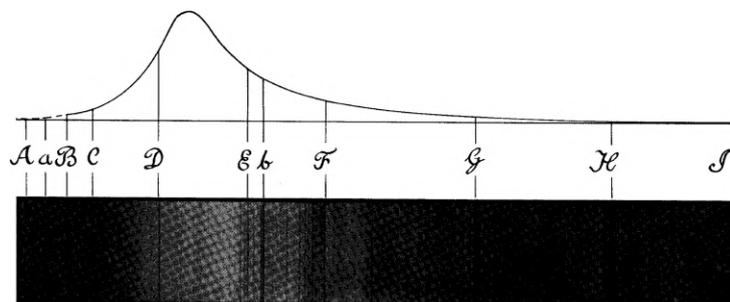
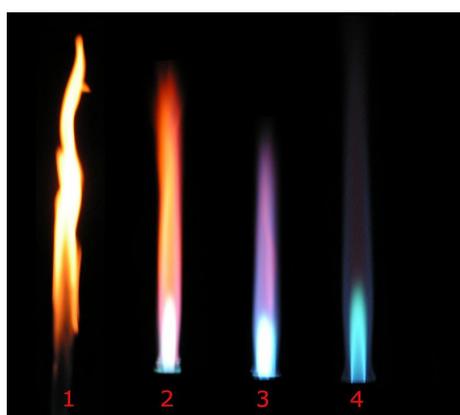


Figura 6 – Espectro da luz solar e curva da sensibilidade relativa do olho ao contínuo solar.
Créditos: American Journal of Physics 43, 59-68 (1975).

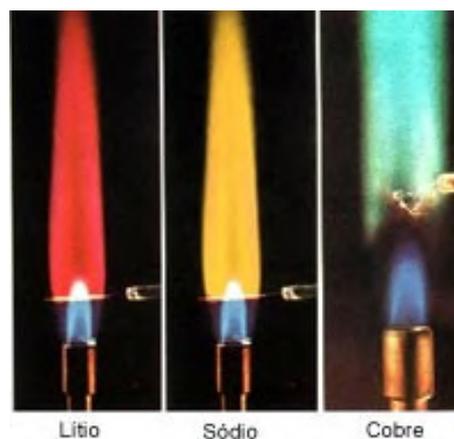
Embora Fraunhofer não tivesse sido o primeiro a observar aquelas linhas escuras, foi ele quem reconheceu nelas uma propriedade inerente da luz solar e não uma falha do equipamento óptico [10]. Às linhas escuras mais proeminentes, ele atribuiu nomes de letras em ordem alfabética, do vermelho ao violeta (A, a, B, C, D, E, b, F, G, H e I) (Figura 6). De acordo com sua contagem, ele identificou 574 linhas escuras entre B (vermelho) e H (violeta) [11]. O que seriam essas misteriosas linhas escuras? O certo era que a cada nova descoberta o cosmos ficava mais misterioso e fascinante. Posteriormente, com os trabalhos de Kirchhoff e Bunsen, descobriu-se que as falhas eram causadas pela presença de gases que absorviam certos comprimentos de onda entre a fonte, o Sol, e o receptor na Terra.

1.5 Calor e Luz Agora Sob o Olhar da Química

Na década de 1850, Robert Bunsen (1811-1899), um notável químico experimental, desenvolveu o bico de Bunsen a partir de um queimador inventado por Aimé Argand e Michael Faraday (Figura 7(a)). Essa invenção se mostrou bastante vantajosa nos testes secos de química analítica, pois possibilitou produzir, de maneira segura, chamas muito quentes. Qualquer laboratório de química hoje possui bicos de Bunsen. Robert identificava metais e seus sais componentes por meio da análise da cor da chama apresentada durante a queima de amostras deles [12]. Na Figura 7(b) podemos ver que o lítio ao ser queimado produz luz vermelha, o sódio produz amarelo e o cobre tons de verde. Os cientistas descobriram que a cor e a composição química estavam relacionadas.



(a) As diferentes chamas obtidas com um bico de Bunsen.



(b) Queima de alguns metais com bico de bunsen.

Figura 7 – Experimentos de Bunsen.⁶

⁶ a) Por Arthur Jan Fijałkowski - Obra do próprio, CC BY-SA 3.0, disponível em: <<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=279768>> e b) disponível em: <<https://www.apolo11.com/espectro.php>>



Figura 8 – Gustav Kirchhoff (esquerda) e Robert Bunsen em 1850.⁷

Bunsen trabalhou com Gustav Kirchhoff (1824-1887)(Figura 8), que sugeriu usar um prisma para observar o espectro da luz originada da queima das substâncias. Os dois realizaram análises espectrais de diversas substâncias e descobriram que cada elemento químico apresentava um espectro característico durante a queima.

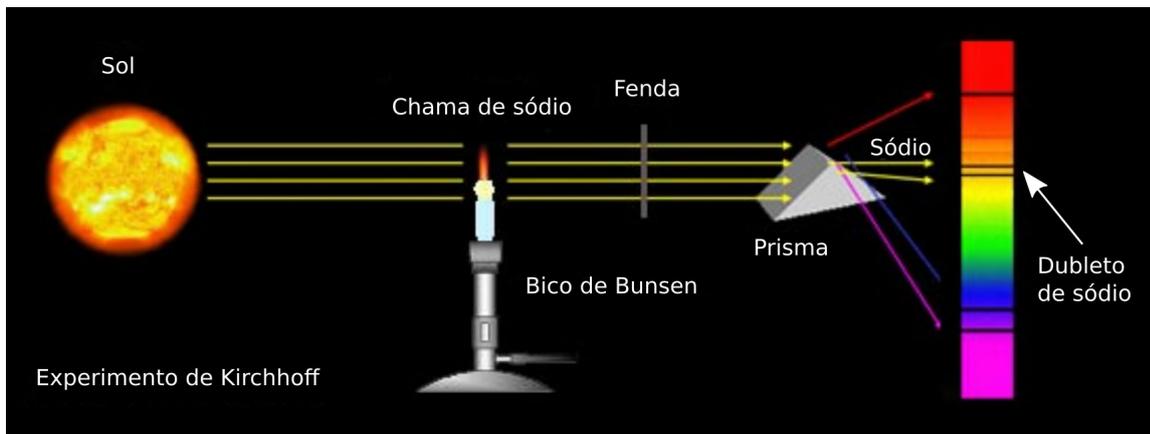


Figura 9 – Experimento de Kirchhoff.⁸

Em 1859 eles descobriram que a luz da queima do sódio correspondia a algumas falhas do espectro da luz solar. Essas duas linhas, representadas na Figura 9, são chamadas de dubleto de sódio e são decorrentes da absorção de luz solar que o gás sódio queimando no Bico de Bunsen provoca. Quando Kirchhoff realizou esse experimento, ele esperava que a luz do sódio preencheria perfeitamente o espaço faltante, mas ocorreu o contrário, as faixas escuras ficaram mais evidentes. Ou seja, quando o sódio era queimado sozinho em laboratório, ele produzia linhas de emissão, semelhante ao espectro de emissão da Figura 10 que coincidiam perfeitamente com uma das partes faltantes do espectro solar (de

⁷ Disponível em: <<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=6890735>>

⁸ Adaptado de “Construa um espectroscópio caseiro com caixa de papelão!” Disponível em: <<https://www.apolo11.com/espectro.php>>

absorção) quando as duas imagens eram comparadas. Porém, quando a luz solar incidia sob essa chama do sódio, a absorção daquelas faixas de luz aumentava em vez de diminuir, gerando um espectro de absorção [13].

Kirchhoff então substituiu a luz solar por um sólido quente que emitiria um espectro contínuo, semelhante ao do Sol. Como esperado, o espectro projetado da luz do sólido apresentava as mesmas linhas escuras do Sol na posição das linhas do sódio quando atravessava a chama de sódio. Ele então concluiu que o Sol era um gás ou sólido muito quente, capaz de emitir um espectro contínuo, envolto por uma atmosfera de gases mais frios que absorviam faixas do espectro solar. Estas camadas mais frias, que provavelmente continham sódio dentre seus componentes, produziam as linhas escuras do Sol. No decorrer de seus estudos ele descobriu mais elementos que apresentavam resultados semelhantes noutras cores, como o magnésio, cálcio, cromo, cobalto, etc [9].

Os cientistas então perceberam que a origem das Linhas de Fraunhofer era decorrente da presença de diferentes elementos químicos na atmosfera do Sol, esses elementos absorviam parte da luz emitida. Havia uma relação direta entre as emissões dos elementos e a luz absorvida pelos mesmos, dessa forma, foi possível determinar a composição química do Sol, de outras estrelas e demais objetos do céu.

Baseado nesses experimentos, Kirchhoff formulou as três leis da espectroscopia que também estão ilustradas na Figura 10:

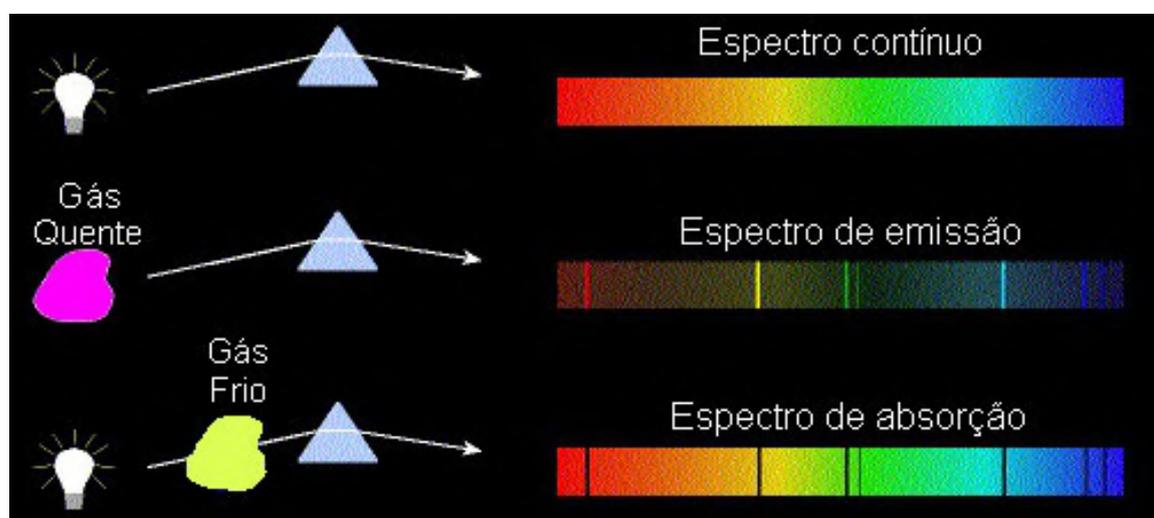


Figura 10 – Leis empíricas de Kirchhoff para o estudo dos espectros.⁹

- i) Um corpo opaco quente, sólido, líquido ou gasoso, emite um espectro contínuo;
- ii) Um gás transparente produz um espectro de linhas brilhantes (de emissão). O número e a posição destas linhas depende dos elementos químicos presentes no gás;

⁹ Disponível em: <<http://astro.if.ufrgs.br/rad/espec/espec.htm>>

iii) Se um espectro contínuo passar por um gás à temperatura mais baixa, o gás frio causa a presença de linhas escuras (um espectro de absorção, o qual é o caso do Sol). O número e a posição destas linhas depende dos elementos químicos presentes no gás.

Dessa forma, as bases da espectroscopia moderna foram estabelecidas e astrônomos em vários centros de pesquisa agora se dedicavam a observar e registrar espectros estelares. O espectro de emissão da informações, por exemplo, da composição de nebulosas e nuvens de gás interestelar. Já o espectro de absorção nos permite deduzir a composição química da fotosfera das estrelas. A química do Sol e das nebulosas distantes foi desvendada, assim como, a descoberta de novos elementos químicos na Terra.

James Clerk Maxwell (1831-1879) em seu artigo, *A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field* de 1865, ajudou a esclarecer mais sobre a natureza da luz, ao demonstrar matematicamente que a luz é o resultado da interação de um campo elétrico e um magnético, ou seja, uma onda eletromagnética como é chamada atualmente. Johann Balmer (1825-1898), em 1885, conseguiu descrever, por meio de experimentos, a relação matemática existente entre os quatro comprimentos de onda emitidos na luz visível pelo átomo de hidrogênio excitado, que ficaram conhecidos como Série de Balmer. Outras séries foram descobertas depois em comprimentos de onda na faixa do infravermelho (Série de Paschen) e ultravioleta (Série de Lyman). Isso contribuiu para o entendimento da estrutura atômica e a formulação do modelo atômico atual, composto de um núcleo envolto por uma nuvem eletrônica. Além do espectro visível, os átomos e moléculas, seja em estado excitado, rotacionando ou vibrando, emitem luz nas faixas dos Raios-X, ultravioleta, infravermelho e rádio.

A luz então não se restringia ao aspecto visual, era algo muito mais amplo do que pensaram os primeiros estudiosos. Sendo assim, da mesma maneira como a luz visível permitiu a Kirchhoff determinar a composição do Sol, as demais formas de radiação eletromagnética permitem hoje determinar a composição e características físicas de objetos celestes distantes da Terra. Na Figura 11 podemos ver as variadas faixas de luz que podem ser usadas para realizar estudos científicos pela astronomia. A nossa compreensão do cosmos aumentou em muito com o entendimento da natureza da luz.

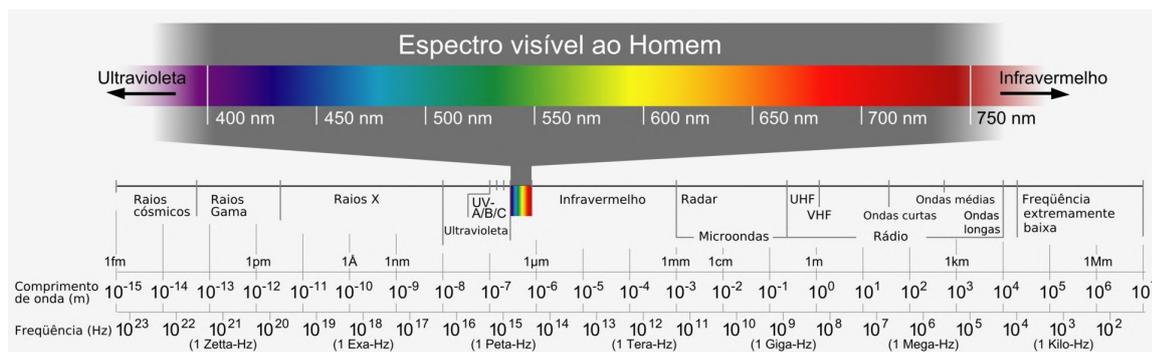


Figura 11 – Espectro eletromagnético conhecido.¹⁰

1.6 A Transparência da Atmosfera

O espectro eletromagnético se revelou como algo muito além do que o olho humano é capaz de perceber. Para além da onda de luz vermelha Herschel descobriu o infravermelho, além dela outros pesquisadores depois descobriram as micro-ondas e o rádio. A atmosfera da Terra, devido à absorção pela ionosfera, limita os baixos comprimentos de onda (Figura 12), ou seja, as radiações gama, raios-X e uma parte do ultravioleta [14].

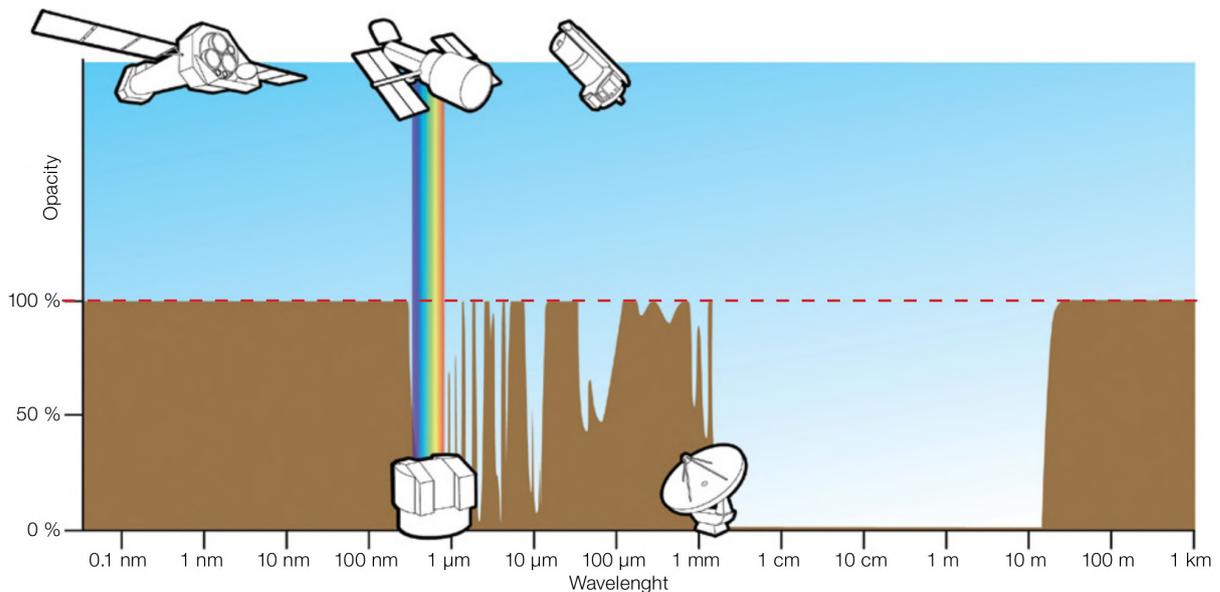


Figura 12 – Transparência da atmosfera para diferentes comprimentos de onda.
Créditos: ESA/Hubble (F. Granato)

Na luz visível há uma janela extensivamente usada pelos astrônomos desde a invenção do telescópio. Já na região do infravermelho, ocorrem variações na opacidade da atmosfera, sendo necessário que alguns mapeamentos e estudos sejam realizados por equipamentos na órbita da Terra, como, por exemplo, o Observatório Espacial Herschel [15].

Na Figura 12 temos a Janela do Rádio delimitada pelos comprimentos de onda de aproximadamente 10 m até cerca de 1 mm (30 MHz a mais de 300 GHz). Na faixa do infravermelho (aproximadamente entre 1 micrometro e 1 mm) temos absorção de radiação eletromagnética pelos gases do efeito estufa (CO_2 , CH_4). Do outro lado, além do comprimento de 10 m, temos atenuação de sinal devido a reflexão crítica das ondas na ionosfera. Além da faixa de rádio FM (88 - 108 MHz) temos a AM (540 - 1650 KHz), que se beneficia bastante do fenômeno da reflexão das ondas de rádio na ionosfera, porém a atividade solar altera o nível de ionização da alta atmosfera, modificando as frequência de reflexão e afetando a comunicação na faixa AM.

¹⁰ Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Electromagnetic_spectrum_-pt.svg&oldid=680390853>

Para a astronomia, que até o século XIX era altamente dependente das boas condições atmosféricas para realizar observações, uma grande fronteira se abriu, pois na Janela do Rádio existe um amplo espectro ao qual a atmosfera é transparente, possibilitando dessa maneira o desenvolvimento de uma abundância de estudos, sem a necessidade de colocar um telescópio em órbita da Terra.

1.7 O Universo Invisível da Radioastronomia

1.7.1 Origens da radioastronomia

Desde os primórdios da radioastronomia, por volta de 1930, esse ramo da astronomia cresceu e se estabeleceu como grande área de pesquisa científica. Em 1931, o engenheiro Karl Jansky (1905-1950) trabalhava para a empresa de telefonia Bell Telephone Laboratories na tarefa de identificar as origens das interferências misteriosas que afetavam as transmissões de rádio [16].

Com sua antena direcional linear (Figura 13) ele identificou quase todas as fontes, com exceção de uma, que após algum tempo estudando ele chegou a conclusão de que ela provinha do espaço, mais especificamente da direção da constelação de Sagitário, que hoje sabemos ser a direção do centro da Via-Láctea e de seu buraco negro, originalmente identificada como a radiofonte Sagitário A.

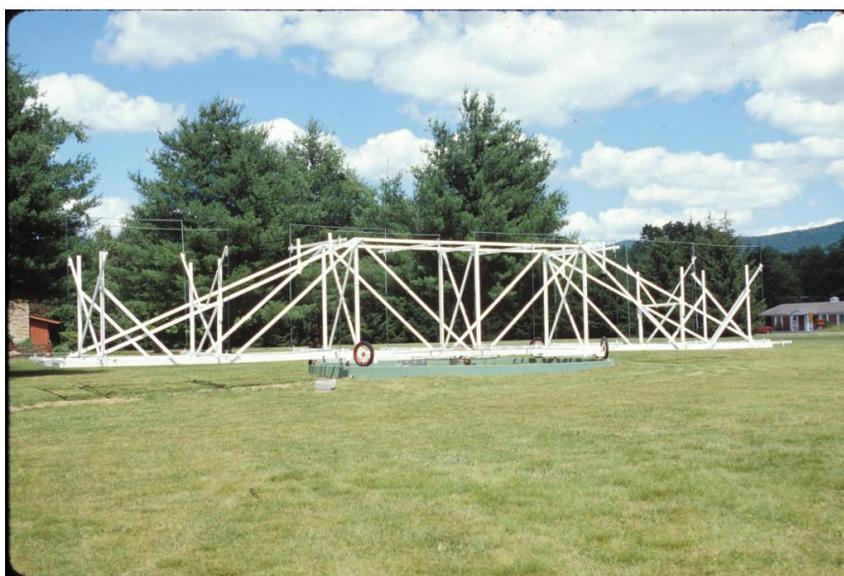


Figura 13 – Réplica da antena usada por Jansky, no Observatório Green Bank.
Créditos: NRAO/AUI/NSF

Embora Jansky tenha feito descobertas incríveis, a empresa em que trabalhava não quis financiar mais pesquisas sobre as radiofontes descobertas. Coube a Grote Reber (1911-2002), também engenheiro, dar os próximos passos da radioastronomia [17]. Fascinado pelos resultados de Jansky, Reber tentou por conta própria adaptar seus equipamentos para captar ondas de rádio do espaço, mas só obteve sucesso em 1937 quando construiu uma antena 9,4 m de diâmetro (Figura 14). Ele confirmou a origem das emissões captadas por seu antecessor e com uma antena capaz de fazer rastreamento do céu elaborou os primeiros mapas de rádio do céu [18].



Figura 14 – Primeiro radiotelescópio construído por Grote Reber.
Créditos: NRAO/AUI/NSF.

1.7.2 Radioastronomia contemporânea

O desenvolvimento da radioastronomia se deu com força após a Segunda Guerra Mundial com a construção de antenas dedicadas e uso de técnicas que combinavam várias antenas para observar o céu. Uma dessas redes é o *Very Large Array (VLA)*, construído na década de setenta no deserto do Novo México, EUA (Figura 15).



Figura 15 – Conjunto de antenas do Very Large Array, localizado no EUA.
Créditos: VLA.

Como antenas grandes eram caras demais e até impraticáveis do ponto de vista de engenharia, uma alternativa foi usar a técnica da interferometria, onde várias antenas espaçadas entre si, desde poucos metros até centenas de quilômetros, podem ser combinadas para simular uma antena maior para conseguir aumentar a resolução. Assim nasceram os grandes arranjos de antenas, como o [VLA](#) e o *Atacama Large Millimeter Array* - [ALMA](#), construído entre os anos de 2004 e 2013 no alto da Cordilheira dos Andes, no Chile ([Figura 16](#)).



Figura 16 – Radiotelescópios na Cordilheira dos Andes. Créditos: ALMA.

Na [Figura 17](#) podemos ver um dos resultados obtidos usando diferentes comprimentos de onda para observar a galáxia Centauro A, distante 13 milhões de anos-luz da Terra.

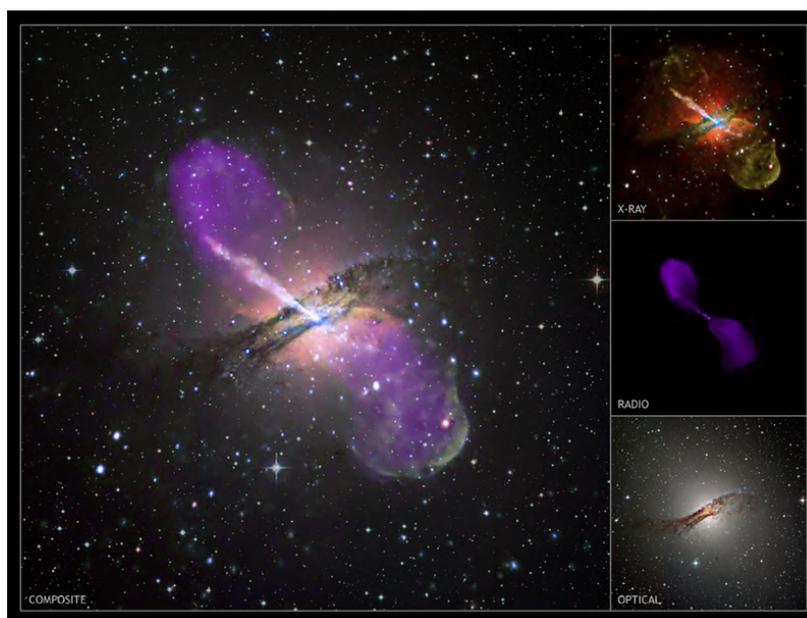


Figura 17 – Composição de vários comprimentos de onda da galáxia Centauro A.¹¹

¹¹ Créditos: X-ray: NASA/CXC/CfA/R.Kraft et al; Radio: NSF/VLA/Univ.Hertfordshire/M.Hardcastle; Optical: ESO/WFI/M.Rejkuba et al.

No caso, vemos uma composição (imagem maior) de três imagens obtidas em diferentes comprimentos de onda da mesma galáxia. A primeira imagem é uma observação em raios-x, a segunda em rádio (cor roxa) e a terceira em luz visível. É evidente a grande diferença entre as observações, cada uma destaca diferentes características da galáxia. A Centauro A é conhecida por sua forte emissão em rádio e raios-x, isso decorrente dos processos físicos em torno do buraco negro supermassivo de seu centro galáctico. Os grandiosos jatos relativísticos (feixes de matéria ionizada lançados em velocidades próximas a da luz) do buraco negro são bastante evidentes nas imagens em rádio e raios-x. Se ainda dependêssemos apenas da luz visível esse fenômeno permaneceria oculto da nossa ciência.

Na [Figura 18](#) vemos uma das imagens que causaram grande impacto na comunidade científica no ano de 2019. Se trata da primeira imagem obtida do horizonte de eventos de um buraco negro supermassivo, localizado na galáxia M87, distante mais de 53 milhões de anos-luz da Terra, na direção da constelação de Virgem. Essa imagem foi um grande feito realizado na radioastronomia, diversos radiotelescópios ao redor do mundo foram combinados para realizar a técnica da interferometria e criar um radiotelescópio do tamanho da Terra. Dessa forma, foi possível alcançar resolução suficiente para imagear esse buraco negro.

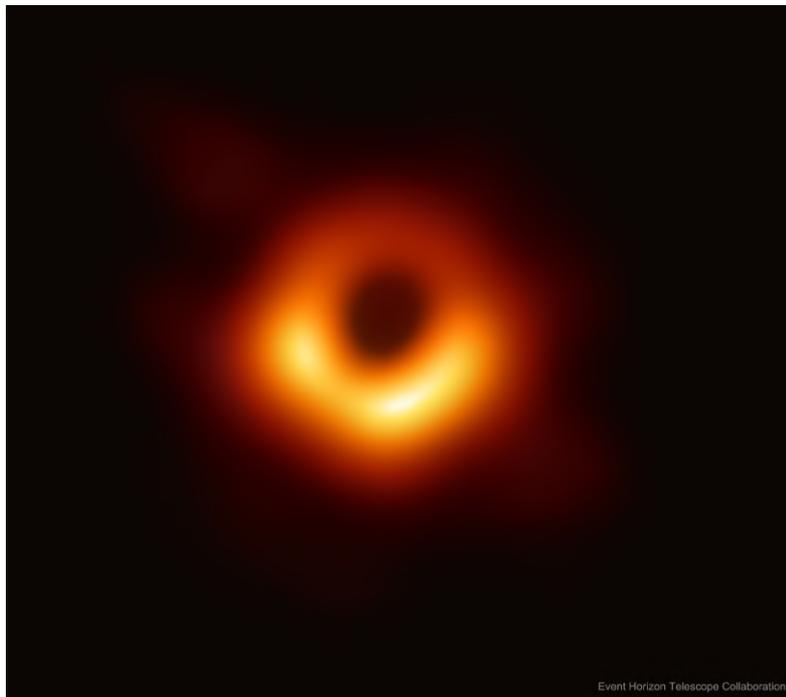


Figura 18 – Imagem do buraco negro supermassivo da galáxia M87 obtida pelo projeto Event Horizon Telescope. Créditos: EHT.

Já na [Figura 19](#) vemos os pioneiros Karl Jansky e Grote Reber, no centro está a imagem do buraco negro supermassivo da Via-Láctea, o Sagitário A* (comumente referido pela sigla [Sgr A*](#)), que foi obtido também pela equipe do *Event Horizon Telescope* - EHT. O [Sgr A*](#) está distante da Terra cerca de 25 mil anos-luz, na direção da constelação que dá

seu nome. Jansky e Reber não sabiam qual era a natureza da radiofonte que observavam, mas nos anos 30 do século XX conseguiam captar as emissões de rádio em 20,5 MHz do que hoje sabemos ser um grande buraco negro.

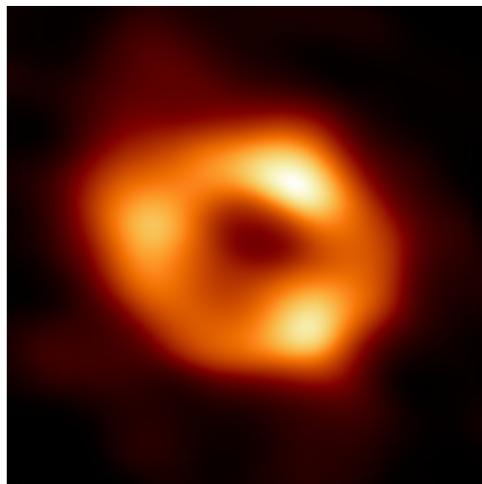
**Karl G. Jansky****Sagitário A*****Grote Reber**

Figura 19 – Pioneiros da radioastronomia que detectaram a grande fonte de rádio na direção do centro galáctico e a imagem que temos hoje do objeto que produziu as emissões detectadas por eles. Créditos: NRAO/AUI/NSF; EHT.¹²

1.7.3 Como são formadas as imagens na radioastronomia

As emissões em rádio não são visíveis, por isso, as cores que vemos são escolhidas pelos pesquisadores para contrastar detalhes de interesse científico. Em astronomia óptica são utilizados sensores **CCD** (*Charge-Coupled Device*) ou **CMOS** (*Complementary Metal-Oxide Semiconductor*) para se produzir as imagens, semelhante aos *smartphones*. Esse sensor é composto de pequenas células sensíveis à luz (fótons), que pode ser pensado como uma matriz de linhas e colunas. Quanto mais linhas e colunas tiver o sensor **CCD**, maior será a resolução da imagem obtida. Tudo que um sensor **CCD** precisa é que o objeto alvo permaneça à frente dele por um determinado tempo. Isso, somado aos demais equipamentos técnicos, permite obter uma imagem [19].

Já na radioastronomia, não há um sensor como o **CCD**. O objetivo final também será montar uma matriz de linhas e colunas, mas o radiotelescópio não tem um **CCD** cheio de fotocélulas. Em vez disso, é como se o radiotelescópio operasse com uma única célula que é sensível a emissões numa determinada frequência de rádio. Para se montar uma imagem de uma galáxia, como a da Figura 20(a), é preciso que a antena faça movimentos para rastrear a área do céu em que o objeto se encontra, ponto a ponto, a cada instante fazendo medições da intensidade local do sinal. A cada instante a informação é recolhida e armazenada num computador, dessa forma, é possível obter uma matriz de intensidades,

¹² Disponível em: <<https://www.invent.org/inductees/grote-reber>>

linha a linha. Após fazer muitas varreduras que produzirão várias linhas de dados, será possível combinar linha sob linha e formar a imagem, como a galáxia da Figura 20(a). Já na Figura 20(b) as imagens da esquerda e da direita são respectivamente imagens obtidas em rádio e no óptico dos mesmos objetos: Júpiter, o Sol e a Lua. No caso de Júpiter as ondas de rádio em destaque, pelo gradiente de vermelho a azul, se devem pela radiação síncrotron decorrente de elétrons acelerados no forte campo magnético do planeta [20]. Já a Lua reflete parte da radiação solar que incide sobre ela.

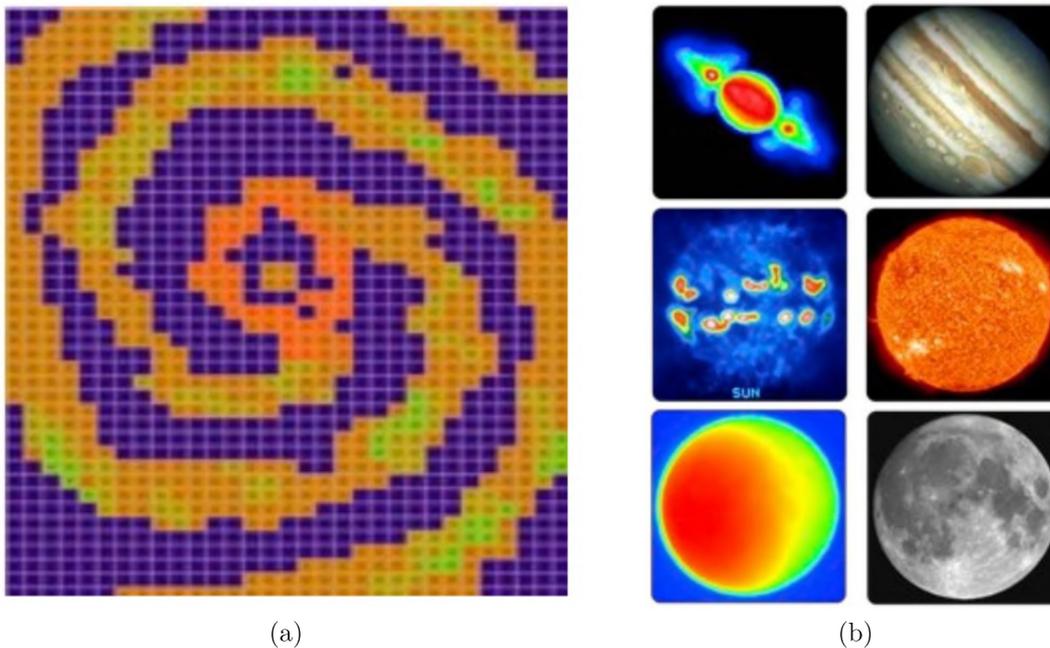


Figura 20 – (a) Matriz de intensidades de emissão colorida e (b) de cima para baixo, Júpiter, Sol e Lua observados em ondas de rádio e no óptico, respectivamente. Créditos: Manual de Radioastronomia - ALMA na Escola.

1.7.4 A busca por vida extraterrestre

Outra faceta curiosa da radioastronomia é a pesquisa por vida extraterrestre inteligente, executada principalmente por meio dos projetos do Instituto SETI (*Search for Extraterrestrial Intelligence*) [21].

Na segunda metade do século ficou claro que o rádio era uma excelente forma de comunicação a longas distâncias, principalmente a faixa das micro-ondas (comprimento de onda em centímetros), que atravessam quase livres a poeira e gás interestelar.¹³

Também houve consenso de que a faixa de frequências entre 1420 e 1666 MHz (18 a 21 cm) poderia ser a preferida para comunicação interestelar. Isso porque essas frequências são as de emissão do hidrogênio neutro e da hidroxila, que formam a molécula da água, componente fundamental da vida como a conhecemos na Terra. Na Figura 21

¹³ Disponível em: <<https://www.seti.org/primer-seti-seti-institute>>

vemos primeiro radiotelescópio concebido exclusivamente para buscas por transmissões extraterrestres na faixa de frequências de 1.000 a 15.000 MHz.

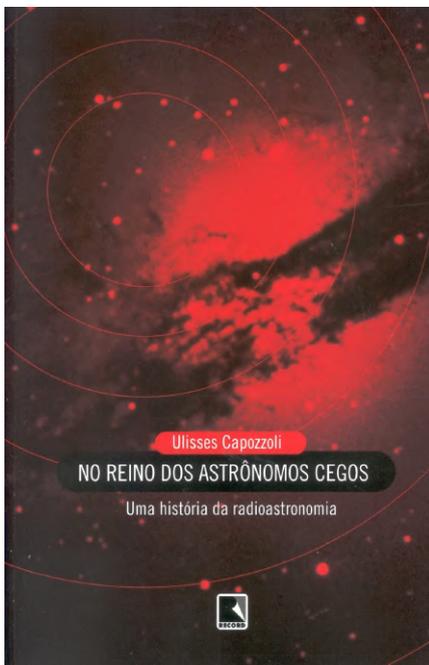


Figura 21 – Antenas de 6,1 m do Allen Telescope Array (ATA), na Califórnia - EUA.
Créditos: SETI Institute.

Conforme proposto em 1959, pelos físicos Philip Morrison e Giuseppe Cocconi, civilizações técnicas, como a nossa, ao desenvolverem a tecnologia do rádio teriam em mãos uma ferramenta capaz de se comunicar com outros sistemas estelares. Somando isso ao desenvolvimento natural da sociedade, as transmissões de rádio acabariam saindo da atmosfera e viajando sem rumo certo pelo espaço, cobrindo grandes distâncias em anos-luz. Se essas civilizações por ventura existirem, bastaria dedicar alguns radiotelescópios para escutá-las e assim responder umas das perguntas mais fascinantes da ciência, se estamos ou não sozinhos neste universo.

1.7.5 Dica de livro e filme

Para conhecer sobre o desenvolvimento da radioastronomia no Brasil uma boa leitura é o livro *No Reino dos Astrônomos Cegos* [22], que conta a trajetória dessa ciência no Brasil. No cinema, temos o filme *Contato* (1997), dirigido por Robert Zemeckis, que é uma adaptação do romance de mesmo nome escrito pelo famoso astrônomo Carl Sagan, à venda com edição traduzida. O filme e o livro tratam de uma estória de ficção científica contando a trajetória de uma cientista, a radioastrônoma Ellie Arroway, uma personagem fictícia que trabalha usando os radiotelescópios do **VLA** para buscar sinais de rádio que evidenciarão a existência de vida extraterrestre. O filme é interessante pois, como comenta [Piassi et al.](#)[23], permite abordar várias dicotomias, entre elas ciência pura versus ciência aplicada, ciência e religião, financiamento das pesquisas científicas, etc.



(a)



(b)

Figura 22 – (a) Capa do livro *No Reino dos Astrônomos Cegos* (2005) e (b) capa do filme *Contato* (1997).

1.8 Tempestades Solares e Monitoramento do Clima Espacial

Na superfície do Sol ocorrem as Ejeções de Massa Coronal (**EMC**), um processo associado às instabilidades do intenso campo magnético solar, capaz de arremessar ao espaço grandes quantidades de partículas carregadas eletricamente. Embora demore cerca de oito minutos para que a radiação eletromagnética do Sol, viajando a velocidade da luz, chegue à Terra, os prótons e elétrons arremessados demoram bem mais tempo, cerca de 27 horas. O que dá um certo tempo para que se tome providências de segurança no planeta.

Essas EMCs jogam partículas para o espaço, como ocorrido na ejeção de 31 de agosto de 2012, mostrada na **Figura 23**. Essa EMC de 2012 viajou a mais de 1448 km/s e, embora não tenha atingido diretamente a Terra, interferiu no campo magnético do planeta, fazendo aparecer uma aurora boreal excepcionalmente intensa na noite de segunda-feira, 3 de setembro daquele ano. Esse tipo de evento pode ser detectado na Terra por meio de redes de magnetômetros espalhadas pelo globo, como a do Programa Embrace¹⁴ (Estudo e Monitoramento Brasileiro de Clima Espacial) desenvolvida pelo **INPE** (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).

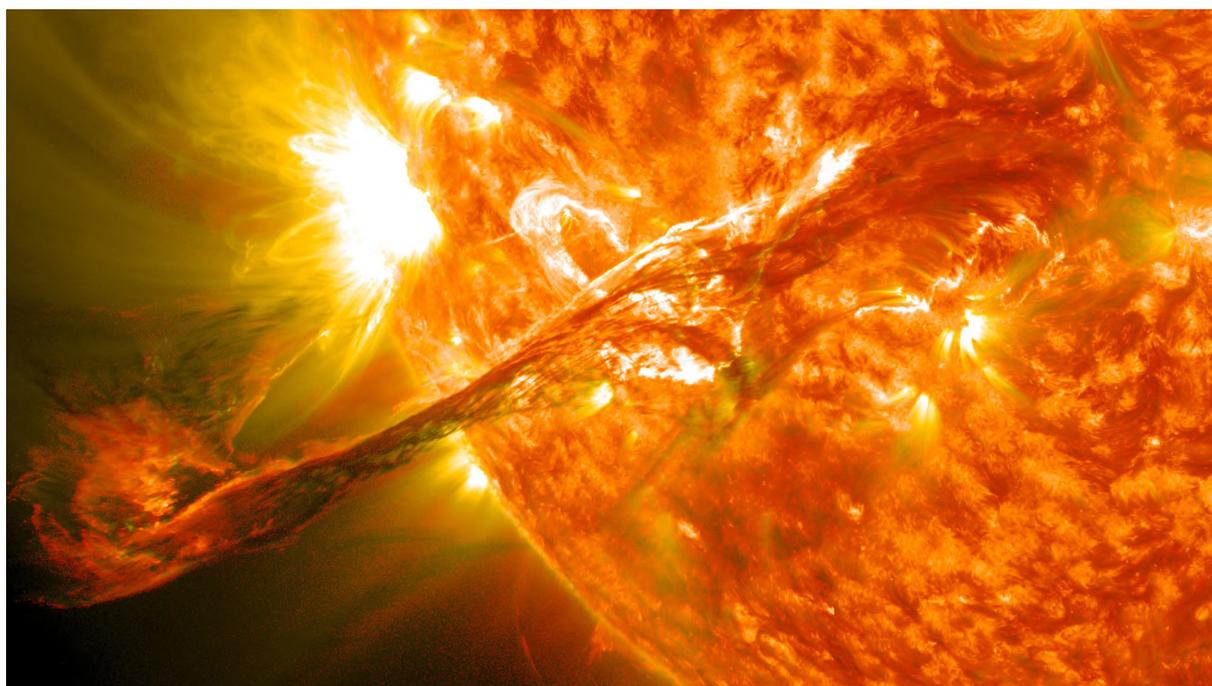


Figura 23 – Ejeção de Massa Coronal (EMC) ocorrida em 31 de agosto de 2012.
Créditos: NASA/GSFC/SDO.

Fora algumas EMCs esporádicas, predomina no Sol um ciclo de calmaria que dura cerca de 11 anos. Ao final de cada ciclo ocorre um aumento da atividade na superfície da estrela e, conseqüentemente, da intensidade dos ventos solares emitidos, o que perturba o clima espacial em todo sistema solar [24].

¹⁴ Disponível em: <<https://www2.inpe.br/climaespacial/portal/o-programa-embrace/>>

A Terra é relativamente protegida de perigos do espaço, como meteoroides e radiações nocivas aos seres humanos. Mas essa proteção, tanto da atmosfera como do campo magnético, não é perfeita. O vento solar faz com que o campo magnético da Terra fique comprimido na face diurna e esticado em uma longa cauda no lado noturno, como ilustrado na [Figura 24](#).

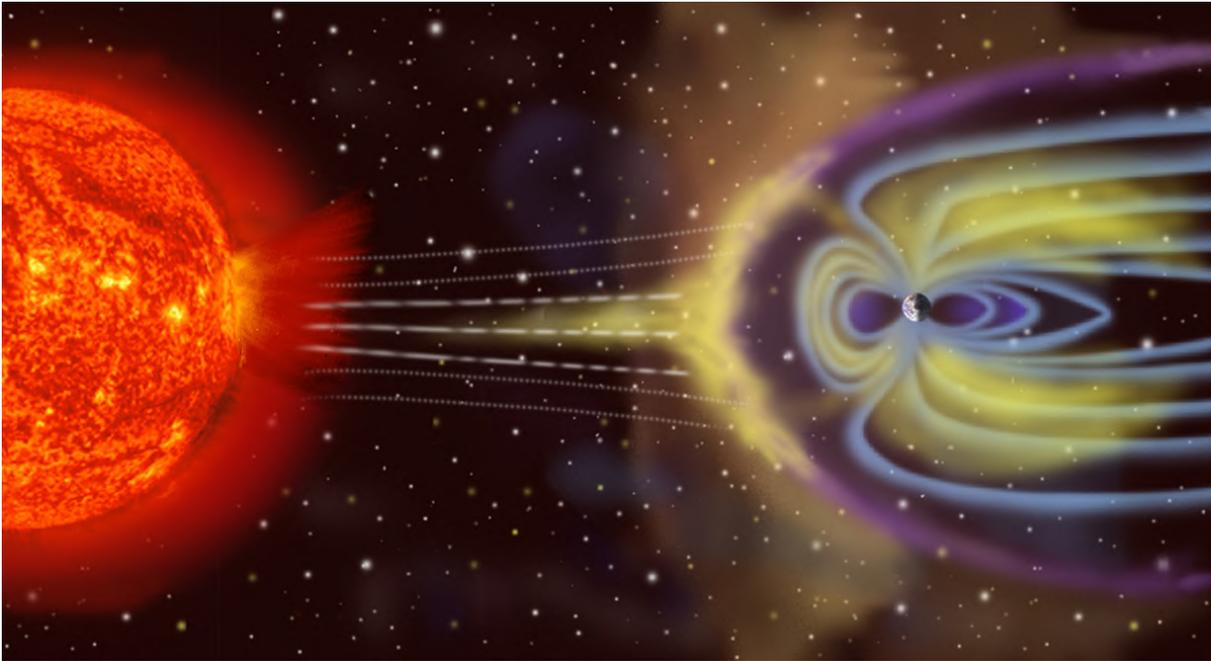


Figura 24 – Representação artística da magnetosfera da Terra sob influência de uma tempestade solar.

Créditos: NASA.

A magnetosfera consegue desviar boa parte do vento solar, mas uma pequena parte consegue penetrar pelos polos, o que causa o fenômeno das auroras boreais e austrais. Uma parte das partículas carregadas eletricamente do Sol, como os íons de Hélio, ajudam a compor o segundo cinturão de Van Halen, situado entre 15.000 e 25.000 km de altitude. Equipamentos na órbita terrestre ficam vulneráveis a esses eventos do clima espacial.

Nos últimos 200 anos, há registros de grandes eventos de atividade solar. No ano de 1859, houve o registro conhecido como *Evento Carrington*, durante os dias 28 de agosto e 04 de setembro, em que se observou em vários locais do mundo o aparecimento de auroras boreais e austrais visíveis por vários dias. Em cidades como Havana, na América Central, e Santiago no Chile, um espetáculo de cores foi visto no céu noturno. Na época, embora não existissem computadores nem outros dispositivos eletrônicos, o telégrafo, que já era amplamente utilizado, foi afetado. Segundo o jornal *Philadelphia Evening Bulletin*, várias mensagens ilegíveis eram recebidas pelos operadores nos escritórios do telégrafo durante aquelas noites na cidade de Filadélfia (EUA).

Cerca de 62 anos depois, em maio de 1921, também foi registrada uma tempestade solar de grande intensidade. Diversos informes veiculados por jornais e publicações cien-

tíficas como a revista *Nature*, tanto nos EUA quanto na Europa, registraram falha nas redes de telégrafo, incidentes com alto grau de risco envolvendo a perda de comutação de trilhos ferroviários, o que poderia ocasionar colisões entre trens, e o aparecimento de auroras boreais visíveis no zênite, que é o ponto sobre a cabeça do observador, sobre a cidade de Pasadena (EUA), que tem latitude de $34,15^\circ$ N, portanto bem distante da região onde a aurora boreal normalmente é vista (latitudes acima de 60°) [25].

Apesar de os eventos de 1859 e 1921 terem sido notáveis, não causaram grande impacto para a civilização na época em que ocorreram. O mesmo não se pode dizer da tempestade de março de 1989, que causou grande impacto econômico, com prejuízos estimados em dezenas de milhões de dólares. Naquele ano, a companhia canadense Hydro-Québec, responsável pelo abastecimento de energia elétrica no Canadá, sofreu um grande blecaute de 9 horas devido ao colapso das redes de transmissão, em função dos efeitos de uma grande tempestade solar [26].

Numa sociedade em constante desenvolvimento, com moderna infraestrutura tecnológica e dependente de sistemas de comunicação via satélite, é vital que os eventos que alteram o clima espacial sejam compreendidos e previstos, havendo assim tempo hábil para proteger redes elétricas e de comunicação.

Com estudos dependentes apenas do espectro visível seria difícil detectar as manchas solares. E assim, grandes tempestades, como as do *Evento Carrington* e as de 1921, poriam em sério risco o abastecimento de energia elétrica, hoje cada vez mais vital para a vida humana, além da perda de comunicação de rádio e GPS (*Global Positioning System*) em aviões e naves espaciais, o que poderia causar grandes desastres aéreos. Em uma sociedade cada vez mais conectada, o mundo como conhecemos poderia vir a se tornar um caos [27].

1.9 Um mar de antenas nos telhados

Com a revolução digital nas telecomunicações, a ampliação das políticas de assistência social e distribuição de renda no início deste século, houve uma elevação no padrão de renda da população e, conseqüentemente, um aumento no padrão de consumo. Isso permitiu, por exemplo, a expansão da oferta de planos de TV por assinatura num mercado que já vinha em constante crescimento desde os anos 90 (Figura 25).



Figura 25 – Conjunto de antenas de vários modelos em telhado.¹⁵

O equipamento mais utilizado para recepção de TV via satélite tem sido a antena de banda Ku. Esse modelo, chamado tecnicamente de antena offset (foco deslocado), opera como receptor de sinal na frequência de 10,7 a 12 GHz, dentro da faixa da banda Ku, que vai de 10,7 a 18 GHz.

As provedoras de planos de TV via satélite parece que não consideram vantajoso recuperar as antenas de banda Ku após o usuário cancelar o plano, se não, não haveriam tantas antenas subutilizadas. Isso, aliado a facilidade de instalação e baixo custo do equipamento, faz com que muitas dessas antenas se acumulem pelos telhados do país, se tornando lixo tecnológico, apesar de que poderiam ser reutilizadas. As novas instalações são feitas sempre com novas antenas, enquanto as velhas são deixadas de lado, enferrujando nos telhados, isso quando não são descartadas como ferro-velho ou lixo comum.

Hoje, com a expansão da tecnologia 5G e o fim das antenas parabólicas da banda C (3,7 a 6,425 GHz), tão comuns para recepção do sinal de TV aberta no Brasil, as antenas de banda Ku podem ser reutilizadas nessa migração tecnológica. É previsto que, ainda na década de 2020, toda a rede de TV aberta brasileira será migrada totalmente da banda C para a banda Ku.

O Sol, a estrela mais próxima da Terra, com seu espectro de emissão aproximado

¹⁵ Disponível em: <<https://colvero.com/tvdig/galeriadefotos/index.htm>>

de um corpo negro, emite em quase todo o espectro eletromagnético, naturalmente, isso inclui a banda Ku. Inicialmente, a questão que motivou o desenvolvimento deste trabalho foi a de descobrir se era possível reutilizar as antenas de banda Ku para captar sinais de rádio de fora da Terra, dando assim, nova utilidade para um equipamento que apresentava plenas condições de uso. Dessa forma, foi pensado um projeto de captação de ondas de rádio provenientes do Sol, que fosse fácil de reproduzir e dialogasse com tecnologias já utilizadas em outros produtos educacionais, como os experimentos usando placas arduino.

2 PASSO A PASSO DA CONSTRUÇÃO DO RADIOTELESCÓPIO

Nas seções seguintes vamos descrever um panorama de como funciona o radiotelescópio, os detalhes de como construir e operá-lo, como montar a base, fazer as ligações elétricas, alinhar e visualizar os dados. A lista de materiais pode ser encontrada no [Apêndice A](#). Os materiais descritos podem ser encontrados em lojas comerciais de eletrônica e antenas. O arduino é comum de se adquirir pela internet.

2.1 Visão Geral do Sistema Eletrônico

Para termos uma visão geral de como funcionará o radiotelescópio foi elaborado um diagrama geral contendo seis etapas, desde a captação do sinal até a obtenção do trânsito solar. Na [Figura 26](#) temos essas etapas definidas como Recepção, Filtragem, Amplificação, Conversão A/D, Processamento e Plotagem dos dados. As etapas 2 e 3 são executadas por um mesmo componente, o *Satellite Finder*, assim como as etapas 5 e 6 são executadas em um computador.

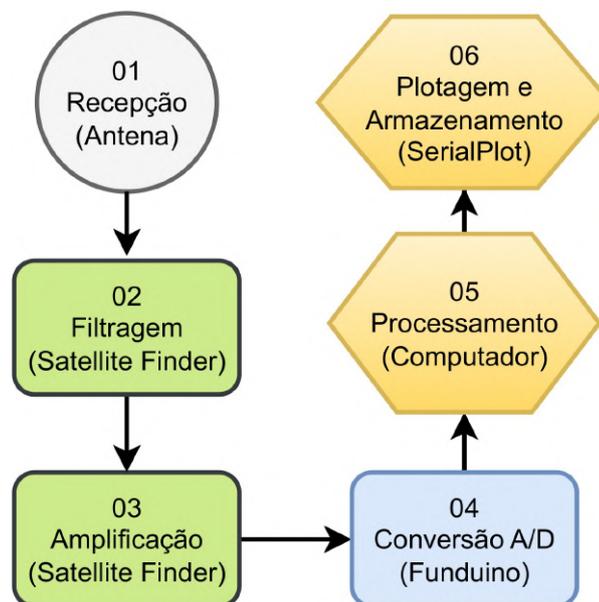


Figura 26 – Diagrama geral exemplificando o funcionamento do radiotelescópio.
Créditos: Autor.

Na Etapa 1 o sinal da fonte de rádio é refletido pelo prato diretamente para o LNB (*Low-noise block converter*, “conversor de baixo ruído” em tradução livre), como pode ser visto na [Figura 27\(a\)](#). No radiotelescópio apresentado aqui a fonte de rádio é o próprio

Sol. Em vez do LNB captar o sinal de um satélite comercial, ele captará as ondas de rádio do Sol.

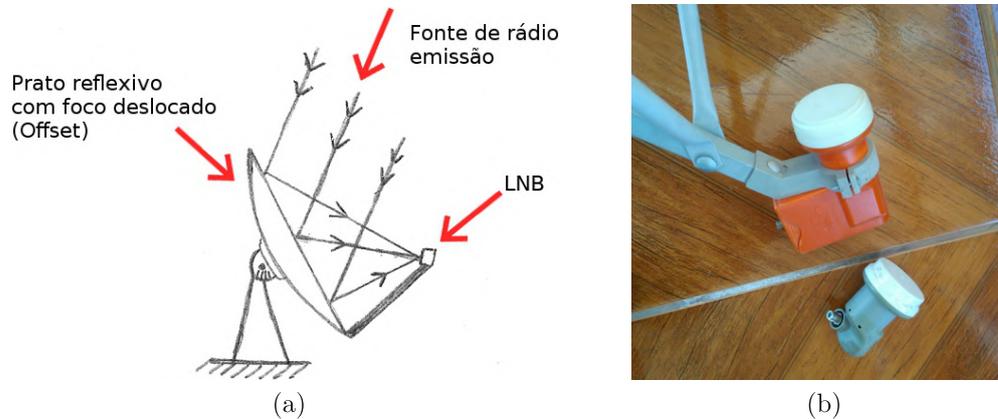


Figura 27 – (a) Esquema de como funciona a reflexão e focalização do sinal no radiotelescópio de prato *offset* e (b) alguns exemplos de LNBs comerciais.

Créditos: Autor.

O LNB (Figura 27(b)) é um dispositivo comercial padrão que recebe sinais de baixa intensidade em micro-ondas dos satélites. Ele é capaz de amplificar esses sinais e convertê-los para uma banda (faixa) de frequência menor, chamada de Frequência Intermediária ou FI (950 a 2150MHz). Em instalações residenciais o sinal em FI é lido por um receptor de televisão para exibir a programação dos canais de TV comerciais e públicos. O diagrama do circuito de um LNB pode ser visto na Figura 28. Partindo da ideia de reciclar antenas usadas para montar um radiotelescópio, é comum que junto com o prato metálico haja também um LNB e seu cabo coaxial. Esses componentes devem ser reaproveitados para minimizar a necessidade de comprar equipamentos novos em lojas.

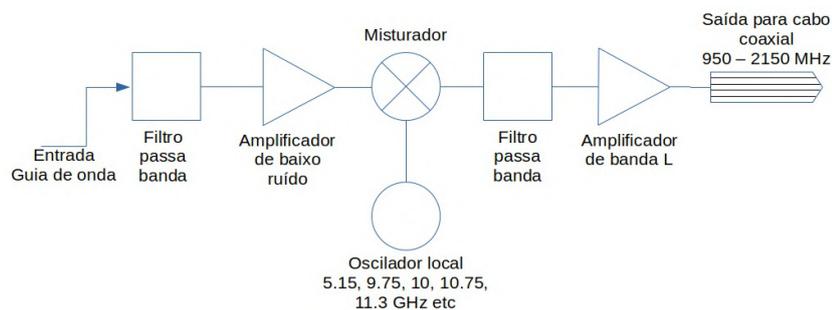


Figura 28 – Diagrama do circuito de um LNB. Créditos: Autor.

O sinal em 12 GHz é captado no LNB onde sofre uma pré filtragem de ruídos para então ser convertido para a faixa da FI e transmitida por cabo coaxial até o equipamento responsável pelas Etapas 2 e 3, o *Satellite Finder*.

Nas Etapas 2 e 3, ocorre a filtragem e amplificação do sinal que vem do LNB via cabo coaxial. Neste projeto, quem executa essas funções é o *Satellite Finder* (abreviado

para [SatFinder](#)), o qual energizamos com uma fonte de 15 V. O modelo utilizado é um analógico, como o da [Figura 29](#). Esse dispositivo é um equipamento comum utilizado por técnicos durante o apontamento de antenas. A escolha pela versão analógica se deve ao fato de que nela podemos fazer modificações para usar neste projeto.

Esse [SatFinder](#) com mostrador analógico amplifica o sinal vindo da antena para que ele possa ser medido por meio da deflexão do ponteiro em relação ao fundo de escala. Essa característica é razão da escolha desse modelo, pois podemos soldar fios nos terminais desse mostrador e ligar esses fios no arduino para que este faça a leitura do sinal. Dessa maneira, conseguimos obter o sinal captado pela antena em um nível de tensão que pode ser facilmente monitorado pelo arduino. Na [subseção 2.4.1](#) apresentamos mais informações sobre o que é arduino.

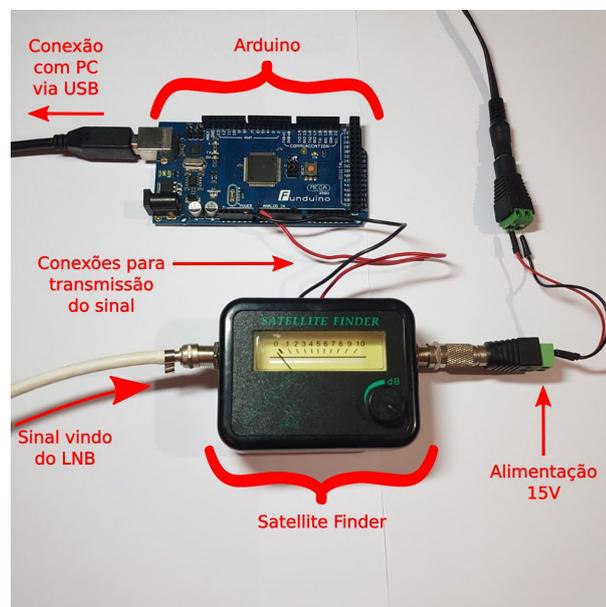


Figura 29 – SatFinder e arduino conectados e prontos para operar.

Créditos: Autor.

Para a Etapa 4 foi escolhido o arduino para se trabalhar visto que com ele é possível realizar prototipagem de projetos, desde robótica até experimentos de medição de grandezas físicas. O arduino é interessante, pois pode ser uma ponte para despertar nos alunos o interesse por eletrônica e programação.

Nessa etapa ocorre a conversão *A/D* (analógico para digital), que nada mais é do que uma conversão eletrônica do sinal analógico captado pelo *LNB* para o formato digital, de forma que possa ser lido e interpretado por um computador, isso será abordado na [subseção 2.4.2](#). Esse tipo de conversão é comum de ser feito toda vez que monitoramos grandezas físicas como temperatura, umidade, pressão, voz, etc. Se quisermos trabalhar no computador com monitoramento de grandezas físicas, devemos sempre convertê-las do formato analógico (natural) para o digital.

O arduino é uma placa que pode ser utilizada para diversas aplicações, como conversão A/D, sensoriamento de grandezas físicas, construção de robôs, automação residencial, etc. O sinal analógico obtido do *SatFinder* é convertido para digital por meio do arduino para que na Etapa 5 seja lido pelo computador. Esse sinal que chega em formato digital é então plotado em tempo real na Etapa 6 por meio de um software de leitura de dados seriais, como o *SerialPlot*¹. Esse é um programa simples e open source, que permite a visualização de dados recebidos via porta serial (USB) em tempo real.

Na *Figura 30* temos uma perspectiva de como é o circuito elétrico desse pequeno radiotelescópio. O sinal captador pelo LNB é enviado via cabo coaxial para o *SatFinder*. O cabo coaxial é um componente capaz de transmitir sinal e estabelecer uma referência eletrônica (GND) para o nível de tensão que chega no LNB. Em eletrônica existe sempre um referencial de tensão, chamado GND, para que os níveis de tensão possam ser utilizados no funcionamento e comunicação entre diferentes aparelhos.

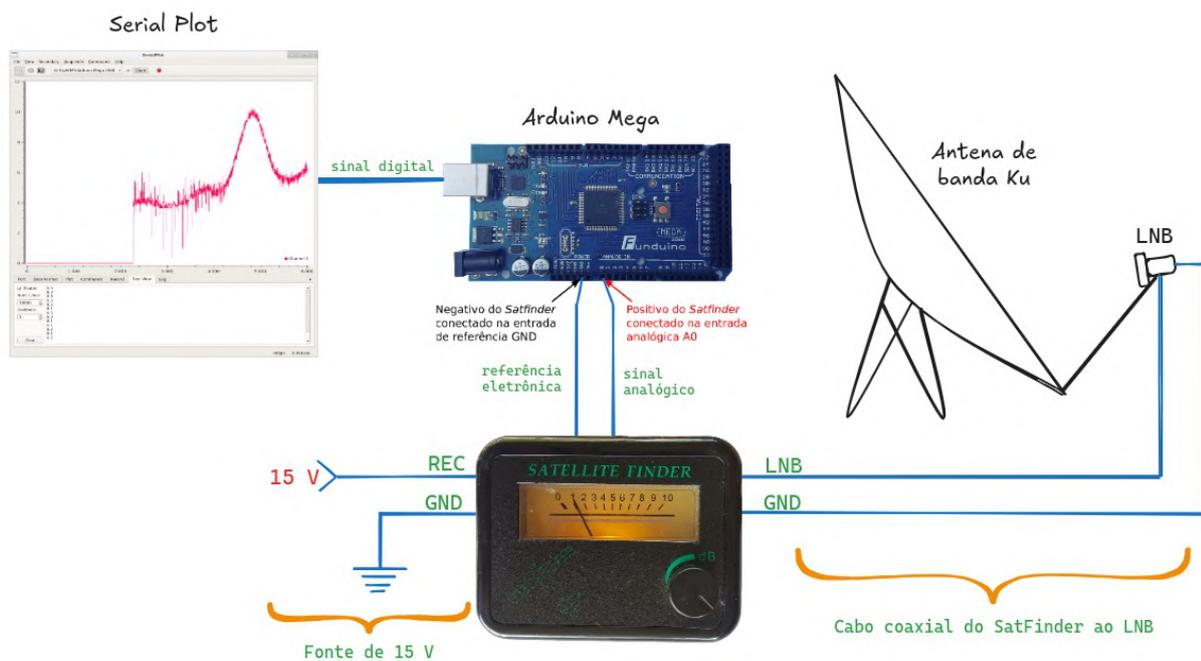


Figura 30 – Circuito geral. Créditos: Autor.

O *SatFinder* é alimentado por uma fonte de 15 V, a qual também é responsável por estabelecer o nível de referência GND para ele, para o LNB e para o sinal lido pelo arduino. Esse sinal que o arduino lê nos terminais do *SatFinder* é da ordem de poucos milivolts, o que está dentro da faixa de segurança para as entradas analógicas do arduino, de 0 a 5 V.

Nas seções seguintes vamos acompanhar o passo a passo de como montar cada etapa.

¹ Disponível em: <<https://hackaday.io/project/5334-serialplot-realtime-plotting-software>>

2.2 PARTE 1: Base Estável Para o Radiotelescópio

A base é uma parte muito importante do todo, pois a boa qualidade dela será essencial na hora de alinhar o radiotelescópio. As antenas comerciais utilizadas neste projeto (60 e 90 cm) não tem regulagem tão precisa, nem mesmo instruções sugeridas, somando isso a uma base desalinhada e instável, podemos ter certa dificuldade em apontar a antena com precisão. Por isso, é preciso utilizar madeiras que não enverguem facilmente e mantenham a antena estável durante a operação.

Para contornar os problemas de alinhamento foi planejada uma base com apoios, para assim, evitar que a estrutura balançasse demais com o vento. Foi desejado também que a estrutura tivesse simetria, o que permitiria realizar alinhamentos com maior precisão. Na [Figura 31](#) apresentamos um esquemático sugerido para construção utilizando material MDF.

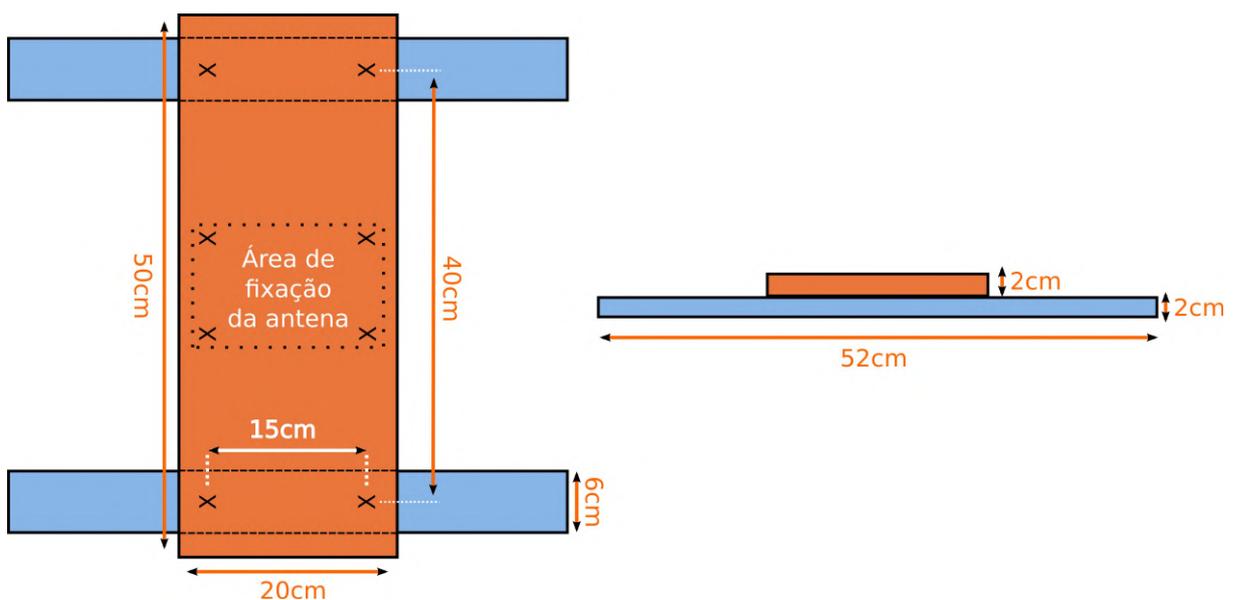


Figura 31 – Esquerda: vista superior. Direita: vista lateral. Todas as medidas estão em centímetros. As marcações em “X” indicam os locais onde parafusar as partes.
Créditos: Autor.

Para fixação das partes foram utilizados parafusos para madeira, que fixam bem no MDF e estão indicados pela marcação X na [Figura 31](#). As linhas pontilhadas no centro identificam o local onde deve-se fixar a primeira peça da antena, o suporte metálico da haste, uma peça que nas instalações convencionais é fixada em paredes de concreto.

O MDF se mostrou um bom material para confeccionar a base. Outros materiais, como o compensado, envergam com o esforço mecânico, o que atrapalha o processo de apontamento. Na [Figura 32\(b\)](#) ela aparece já acoplada a base.



(a) Peças de MDF cortadas.



(b) Base montada e com suporte da haste fixado.

Figura 32 – Confeção da base do radiotelescópio. Créditos: Autor.

Como os buracos de fixação desse suporte são largos, foi necessário usar arruelas para que a estrutura ficasse firme, como indicado na [Figura 33\(a\)](#). A parte mais longa da haste deve ficar perpendicular com o plano horizontal da base. Para verificar isso, podemos utilizar um nível de bolha ([Figura 33\(b\)](#)), ou mesmo, um aplicativo de smartphone.



(a) Detalhe da fixação com arruelas do suporte da haste.



(b) Nível bolha para alinhar a haste principal.

Figura 33 – Detalhes da nova base. Créditos: Autor.

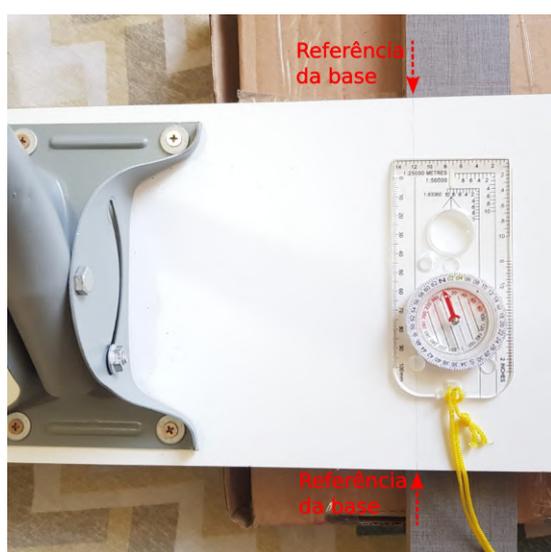
O modelo de nível bolha em formato de disco da [Figura 33\(b\)](#) mostra indicações em quatro eixos horizontais. Ele encaixa perfeitamente na estrutura da haste, permitindo um bom alinhamento vertical da haste de apoio. Isso será fundamental para que o ajuste de altura seja preciso o suficiente.

Na [Figura 34](#) a estrutura de reflexão pode ser vista com a montagem completa.



Figura 34 – Antena montada sem o LNB.
Créditos: Autor.

Com essa estrutura podemos utilizar pontos de referência na base para ajustar o azimute. Tanto uma bússola de acrílico (Bússola Mapa Militar com Milésimos), semelhante a da Figura 35(a), quanto uma de smartphone utilizando o aplicativo Digital Compass² na Figura 35(b), podem ser alinhados por meio de marcas de referência ao longo da estrutura.



(a) Bússola indicando o azimute de 358° considerando a declinação magnética local.



(b) Aplicativo Digital Compass indicando o mesmo azimute.

Figura 35 – Ajuste de azimute em antenas de banda Ku. Créditos: Autor.

² Disponível em: <<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.vincentlee.compass>>

2.3 PARTE 2: Montando o Amplificador de Sinal Usando SatFinder

O **SatFinder** (Figura 36) é empregado por técnicos durante o apontamento de antenas. Para utilizá-lo deve-se apontar a antena para um local qualquer do céu, em seguida o botão de ganho dB é ajustado até que o aviso sonoro fique na iminência de soar, nessa condição o ponteiro estará entre as marcas zero e um. Quando isso é feito, podemos interpretar que o estamos zerando o ruído atmosférico natural. Nessa condição, o sinal do satélite buscado vai sensibilizar o ponteiro, ocasionando uma deflexão além da marca número um. Quanto mais alto o valor detectado, maior a probabilidade da antena estar devidamente apontada para o satélite.

Normalmente o **SatFinder** é conectado entre o receptor de TV e o **LNB** da antena, dessa forma, o receptor fornece energia pelo cabo coaxial para acionar tanto o **SatFinder** quanto o **LNB**, por meio de uma tensão contínua de 13 a 18 V (devido a maior disponibilidade de fontes de 15 V no mercado está tensão foi definida para ligar o dispositivo). A tensão do receptor ativa o circuito do **LNB**, o qual passa a enviar, sobreposto ao sinal de tensão, o sinal em **FI** obtido do satélite comercial, que no nosso caso é uma fonte natural, o Sol.

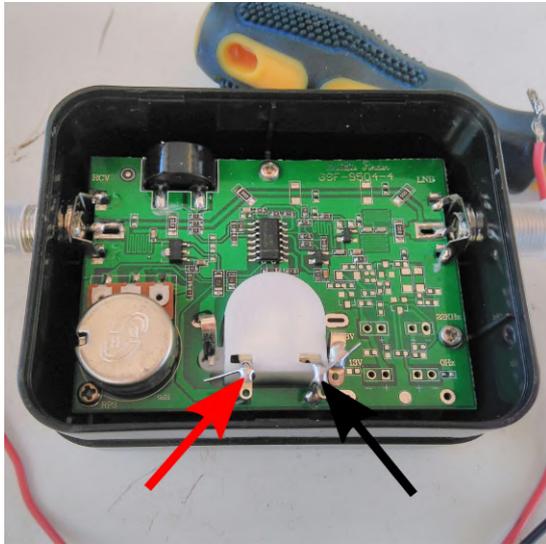


Figura 36 – Mostrador analógico do SatFinder utilizado para aferir a intensidade do sinal dos satélites alvo. Créditos: Autor.

Alguns modelos possuem indicador analógico, por onde pode-se aferir a intensidade do sinal do satélite e ajustar as coordenadas de azimute e altura da antena para melhor captar a fonte emissora.

Para o mostrador analógico funcionar, o sinal é filtrado e amplificado. Podemos utilizar essas características para realizar as etapas 2 e 3 da operação do radiotelescópio.

Existem dois terminais no circuito do mostrador, que podem ser acessados para obter o sinal (Figura 37(a) e (b)).



(a) Indicação dos terminais positivo (vermelho) e negativo (preto).



(b) Conexão feita com solda de estanho.

Figura 37 – Detalhes para obtenção do sinal do SatFinder. Créditos: Autor.

É preciso identificar qual é a polaridade dos terminais, ou seja, qual é o positivo e o negativo. Esses terminais apresentam marca de solda proeminente e nesses pontos pode se verificar, por meio de um multímetro na escala de 5 V com o [SatFinder](#) ligado, qual é a polaridade.

Após identificar os terminais, devemos soldar um fio fino para cada, vermelho para o positivo e preto para o negativo, como na [Figura 37\(b\)](#). Esses dois fios representam uma entrada de dados analógica que deve ser conectada em uma das portas analógicas do arduino, como na [Figura 38](#).



Negativo do *Satfinder*
conectado na entrada
de referência GND

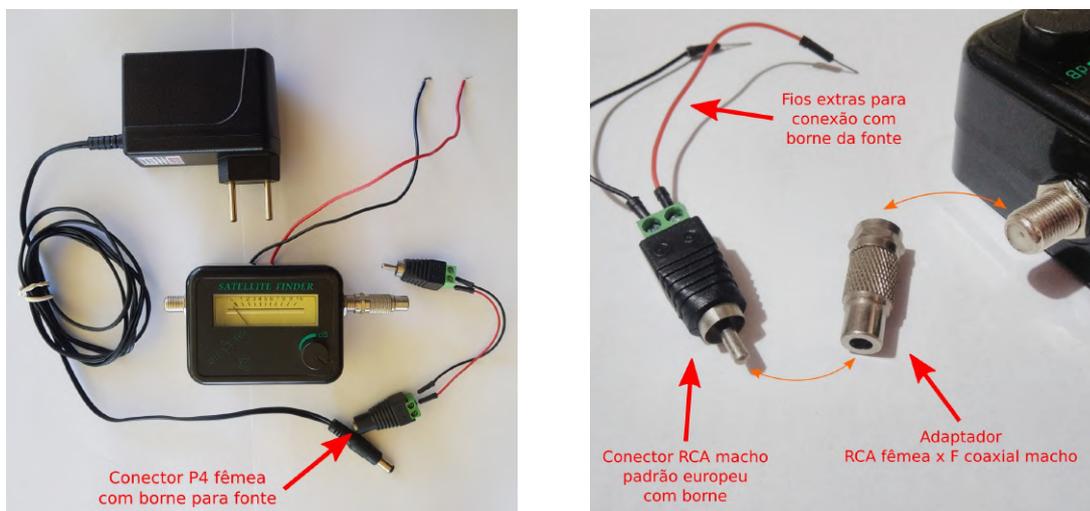
Positivo do *Satfinder*
conectado na entrada
analógica A0

Figura 38 – Placa Funduino MEGA 2560, baseada no Arduino MEGA 2560.
Créditos: Autor.

2.3.1 Alimentação do SatFinder

Como dito anteriormente, o **SatFinder** opera com tensão contínua de 13 a 18V, que, em instalações residenciais, é fornecida por um equipamento receptor de TV por meio do cabo coaxial. Em contrapartida, o **LNB** envia pelo cabo coaxial, sobreposto ao nível de tensão, o sinal captado do satélite. Nesse sentido, o cabo coaxial é como uma via de duas mãos, transmitindo energia e informação. Esse novo sinal é enviado pelo cabo coaxial até o aparelho receptor de televisão, este por sua vez decodifica a informação para que a programação dos canais comerciais e públicos seja exibida na TV.

Para este projeto foi utilizada uma fonte comercial de 15 V e 1 A (**Figura 39(a)**) no lugar do receptor de TV, visto que só precisamos da alimentação elétrica e não usamos as demais funções do receptor. A fonte utilizada e os adaptadores necessários estão na **Figura 39(b)**. Ela deve ser conectada no terminal TOREC (que significa “para o receptor”), identificado atrás do **SatFinder**. Todos esses componentes podem ser encontrados facilmente em lojas de eletrônica e antenas. Uma alternativa para quem tem prática em eletrônica, seria soldar os fios da fonte direto na placa do **SatFinder**, eliminando assim a necessidade dos adaptadores.



(a) Fonte de 15 V e adaptadores para alimentar o **SatFinder** na rede elétrica 127/220 V.

(b) Borne RCA padrão europeu (peça da esquerda) e adaptador metálico de conexão RCA-Coaxial (peça do meio).

Figura 39 – Fonte de alimentação e conectores. Créditos: Autor.

No caso de haver um aparelho receptor disponível e os coordenadores da atividade desejarem reduzir a quantidade de equipamentos comprados, os itens números 5, 6, 7 e 8 da lista de componentes podem ser desconsiderados. Assim, será necessário adquirir dois cabos coaxiais em vez de um. O segundo cabo será ligado entre o receptor e o **SatFinder** para energizar tanto o buscador de satélites quanto o **LNB**. No receptor deve-se buscar o ponto de conexão com antena para conectar o cabo, já no **SatFinder** deve-se ligar o cabo

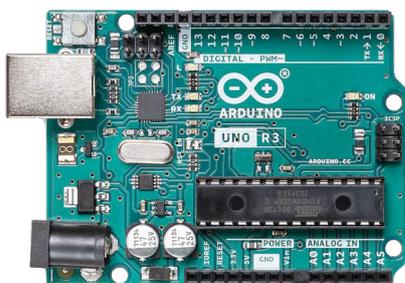
no terminal indicado pela sigla TOREC.

2.4 PARTE 3: Conversão A/D com Arduino

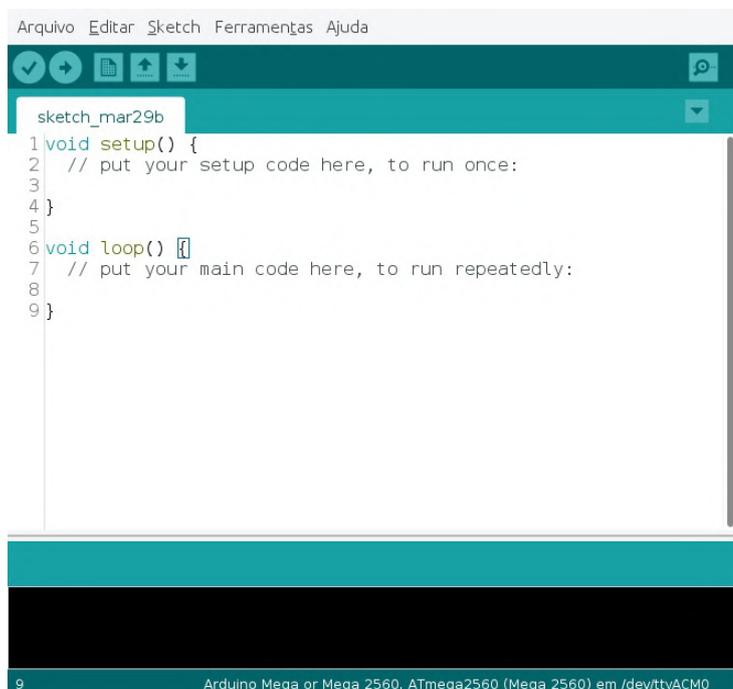
2.4.1 O que é arduino?

Arduino é uma marca de placas eletrônicas usadas no desenvolvimento de protótipos e soluções tecnológicas baseadas no conceito de *open source hardware*. O termo arduino é comumente usado para se referir às diversas placas derivadas do projeto Arduino (Figura 40(a)) desenvolvidas por terceiros.

As placas arduino podem ser programadas utilizando-se o Ambiente de Desenvolvimento Integrado, a IDE do Arduino (*Integrated Development Environment*) (Figura 40(b)), disponível para download gratuito no site do projeto³. Devido ao Arduino ser um projeto de hardware aberto e colaborativo, existem diversas aplicações de dispositivos didáticos na internet. Por ser uma tecnologia que trabalha com módulos, pode ser adaptada para múltiplas funções, como, por exemplo, monitorar a temperatura numa sala, medir umidade do ar, medir distância de objetos, controlar servomecanismos e robôs, enviar dados pela internet, automatizar funções em casas inteligentes, internet das coisas, etc.



(a) Arduino UNO.



(b) Tela de programação da IDE do arduino.

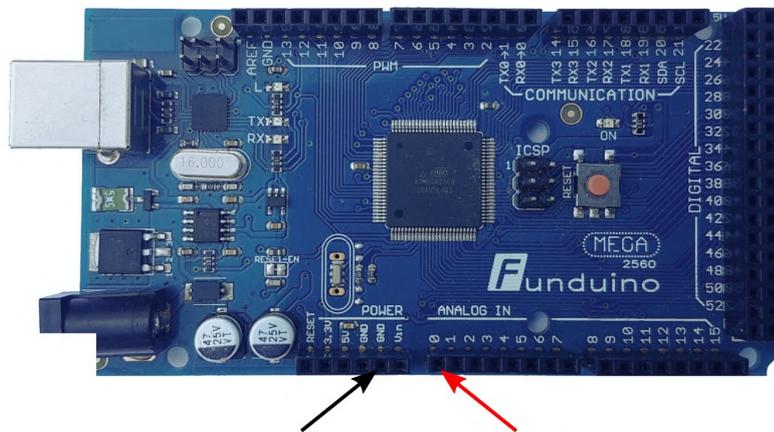
Figura 40 – Placa arduino modelo UNO e IDE programação. Créditos: Autor.

³ Disponível em: <<https://support.arduino.cc/hc/en-us/articles/360019833020-Download-and-install-Arduino-IDE>>

2.4.2 Conversor A/D

Conversão **A/D** (analógico para digital) é uma etapa comum em experimentos que mensuram grandezas naturais, como temperatura, pressão, umidade, intensidade de radiação solar, etc. Esse tipo de conversão é necessária para que a informação possa ser trabalhada e armazenada por softwares e computadores. O arduino, neste projeto, executa as funções de conversor **A/D** da Etapa 4 do diagrama geral (Figura 26).

A placa disponível para ser utilizada neste projeto foi a Funduino MEGA (Figura 41), que é uma das muitas placas derivadas do Arduino e que utilizam a mesma **IDE** de programação. Poderíamos usar diversas placas arduino comerciais, por exemplo, os modelos baseados em Arduinos UNO e NANO.



Negativo do *Satfinder* conectado na entrada de referência GND

Positivo do *Satfinder* conectado na entrada analógica A0

Figura 41 – Placa Funduino MEGA 2560, baseada no Arduino MEGA 2560.
Créditos: Autor.

O hardware do arduino é predefinido para fazer conversão **A/D**, mas para isso é preciso escrever um programa por meio da **IDE** e depois fazer upload dele na placa, usando cabo USB. Aqui o cabo USB tem as funções de fornecer tensão de 5V ao arduino durante o experimento e fazer a comunicação entre placa e computador, comumente chamada de comunicação serial. Também é possível usar uma fonte externa de 5V para ligar o arduino, o que pode ser útil para outros tipos de experimentos.

Com a **IDE** aberta, devemos clicar no menu *Arquivo* → *Novo*, depois apagar todo o texto e colar o código descrito a seguir:

```

float radio = 0; // Define que o positivo do SatFinder será ligado no pino analógico A0 da placa
float val, valmv; // variáveis para fazer os cálculos dentro do programa
void setup()
{
  analogReference(INTERNAL1V1); // Configuração para melhorar a precisão exclusivamente das placas
  MEGA
  Serial.begin(9600); // Velocidade de comunicação pela porta serial USB
}
/* Este é um comentário: No monitor serial seria exibido um valor de 0 a 1024 (variável val), sendo que para o
caso de um potenciômetro alimentado com 1.1V, o valor 1024 indica máxima tensão. Como queremos medir dados
que variam na escala de milivolts, vamos converter a variável val para a escala de milivolts usando a expressão
para valmv. */
void loop()
{
  val = analogRead(radio); // Lê o valor do SatFinder armazenado na entrada radio
  valmv = (110*(val/1024)); // Expressão para converter o valor de volts para milivolts
  Serial.print(valmv); // Exibe o valor de tensão em milivolts
  delay(1000); // Espera um segundo antes de repetir o procedimento
}
// Fim do Programa

```

Detalhes de como esse programa funciona podem ser lidos na [subseção 2.4.2.1](#).

Copiado o código para a [IDE](#) do arduino, devemos selecionar no programa qual é o modelo da placa que usaremos. Para isso, devemos ir em *Ferramentas* → *Placa* → *ArduinoAVR Boards* e selecionar entre as opções qual é o modelo utilizado, Arduino UNO, Arduino NANO ou Arduino MEGA 2560.

Após selecionar a placa, clicamos no botão *Verificar* ([Figura 42](#)), isso testará se o código apresenta algum problema.

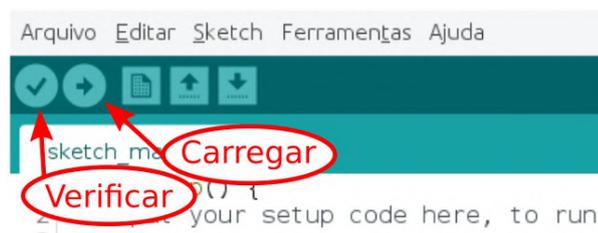


Figura 42 – Detalhe da interface da IDE do arduino.

Créditos: Autor.

Se houver mensagem de erro, deve-se revisar a escrita e a seleção de placa para verificar se faltou algum “;” ou se há chaves “{ }” não fechadas. Após verificar o programa, deve-se clicar no botão *Carregar*, assim o programa será gravado no arduino.

A cada segundo, o arduino enviará para o computador a leitura da intensidade da radiação solar calculada na unidade de milivolts.

Continuando o procedimento, os dois fios soldados no *SatFinder*, conforme os passos da seção 2.3, foram conectados aos terminais **GND** (*ground*) e A0 da placa, como indicado na Figura 41. O sinal positivo foi conectado na porta de entrada analógica A0, e o sinal negativo na porta de referência, indicada pela sigla **GND**.

A respeito dessas ligações eletrônicas, vale destacar que toda ligação eletrônica é feita com no mínimo dois fios. Um sempre representará a referência (nível zero de tensão) e o outro será o sinal, que no caso do arduino pode ir de 0 até 5 V. Em todo sistema elétrico é assim, existe a referência e o nível de tensão com sua magnitude em relação à referência.

2.4.2.1 Detalhes de como funciona o programa

O que faz esse programa? Ele basicamente executa leituras de tensão da porta A0 e envia por comunicação serial ao computador o valor da leitura em milivolts. Todo texto escrito após as barras duplas (//) é interpretado dentro do programa como um comentário, ou seja, não faz parte da programação e nem executará operações lógicas ou aritméticas. Serve apenas para entender melhor a função de cada linha do programa.

Todo programa para arduino segue uma estrutura que na maioria das vezes é caracterizada pela presença de três partes fundamentais no código. São elas: ambiente de declaração de variáveis, ambiente de configurações de gerais e ambiente de execução de cálculos e tarefas.

No código em questão, as duas primeiras linhas correspondem as variáveis de trabalho. Essas variáveis são estruturas de programação que usaremos para armazenar valores lógicos ou numéricos, que depois serão utilizados para cálculos e obtenção de informações. Elas estão declaradas com a palavra **float** na frente, isso diz qual é o tipo de número que elas representarão, neste caso, números de ponto flutuante, ou seja, números racionais. Se escrevêssemos, em vez de **float**, a palavra **int**, teríamos números inteiros. Quando se define o tipo da variável, é imposto um padrão numérico aos dados, que pode ser conveniente ou não. Como os números enviados do *SatFinder* são decimais, o tipo de variável que melhor os representará é o **float**.

Em seguida, temos o ambiente de configurações gerais definido entre parenteses, na sequência da função **void setup()**. Uma dessas configurações é a da função **analogReference()**, que regula a tensão de referência para a entrada analógica (o valor máximo do intervalo de entrada). O parâmetro comum dela é **DEFAULT**, que assume que a tensão do sinal de entrada será um valor entre 0 e 5 V (em placas arduino de 5 V) ou 3,3 V (em placas arduino de 3,3 V), não mais que isso. Porém, sabemos que a escala de tensão do sinal vindo do *SatFinder* é da ordem de 0 a 40 mV, o que é muito baixo em relação a 5 V.

Para aumentar essa precisão de leitura, exclusivamente para a placa arduino MEGA, pode-se utilizar o parâmetro `INTERNAL1V1` em `analogReference()`, que estabelece como máximo valor de entrada 1,1 V. Isso permite aumentar a precisão de leitura do arduino. Para cada tipo de placa há um parâmetro específico além do `DEFAULT`. Caso se opte, por exemplo, por uma placa dos tipos UNO ou NANO, o parâmetro de ajuste de precisão é `INTERNAL`. Para saber mais, deve-se verificar no manual de placas⁴.

A próxima linha, `Serial.begin()`, diz respeito a velocidade de comunicação com o computador. É comum se usar 9600.

Em seguida, temos a terceira parte do código, que a de execução de cálculos e tarefas. Essa parte é comandada pela função `void loop()`, responsável por executar instruções em loop, ou seja, repetidamente. Aqui é onde os comandos para ler o que chega do *SatFinder* e enviar ao computador serão executados. A variável *val* recebe o valor que entra na entrada A0 por meio da função `analogRead()` que lê a variável *radio*. Em seguida, esse valor na escala de volts é convertido para milivolts e armazenado na variável *valmv*. Depois a função `Serial.print()` envia ao computador o valor de *valmv*. Por fim, a função `delay()` faz o programa esperar 1000 milisegundos antes de repetir o processo da função `void loop()`.

Cabe ressaltar alguns detalhes sobre a programação de arduino. As únicas funções que não levam atributos aqui são `void setup()` e `void loop()`. Além disso, todas as linhas de comando são obrigatoriamente finalizadas com ponto e vírgula, isso é padrão nesse tipo de linguagem de programação.

2.5 PARTE 4: Software de Visualização do Trânsito Solar

O trânsito astronômico de um objeto ocorre quando este passa em frente de outro objeto, causando uma mudança de brilho deste. Os planetas Mercúrio e Vênus, por exemplo, apresentam o fenômeno de trânsito sobre o Sol quando seus planos orbitais coincidem com a linha de visão Terra-Sol. Nesses momentos, é possível avistar da Terra um pequeno ponto preto na frente do disco solar. A passagem deles pela frente do Sol causa uma pequena redução no brilho da estrela. De maneira semelhante, telescópios sensíveis podem detectar planetas e sistemas múltiplos de estrelas fora do sistema solar por meio da observação de trânsitos.

Neste experimento, o radiotelescópio observa a radiação do céu, que ao longo do dia tem comportamento estável, ou seja, uma curva com períodos de crescimento e redução suaves, sem grandes amplitudes, por exemplo, o intervalo de tempo compreendido entre os pontos 2000 e 4000 (~33 min) na [Figura 43](#), onde os picos pontuais são devidos as interferências naturais.

⁴ Disponível em: <<https://cdn.arduino.cc/reference/pt/language/functions/analog-io/analogreference/>>

Quando o Sol transita pelo céu ele provoca uma variação abrupta do sinal de rádio captado pela antena, como evidenciado pelo intervalo de tempo entre os pontos 4000 e 5400 (~23 min) na Figura 43. Deve-se lembrar que esse movimento ocorre devido à rotação da Terra, que faz com que tenhamos a impressão de que o Sol se movimenta de leste para oeste todos os dias.

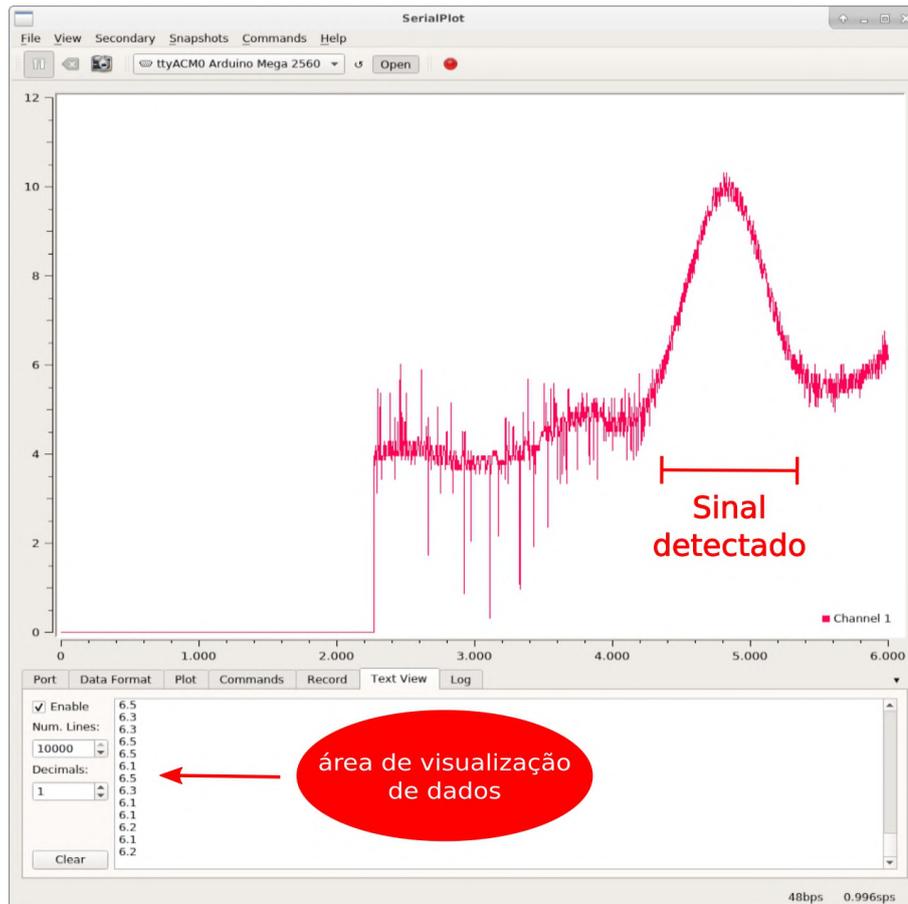


Figura 43 – Interface do SerialPlot durante uma observação de trânsito solar.
Créditos: Autor.

Para fazer a exibição dos dados durante o funcionamento do radiotelescópio, foi utilizado o software SerialPlot⁵, um programa *open source* desenvolvido para projetos com arduino. Na Figura 44 vemos a interface inicial da aplicação, ela possui botões de controle na parte superior, uma grande área de visualização para gráficos e na parte de baixo da tela possui várias abas para configurações específicas. Esse programa permite a visualização de dados em tempo real, sendo ideal para monitoramento de grandezas físicas.

⁵ disponível em: <https://hackaday.io/project/5334-serialplot-realtime-plotting-software>

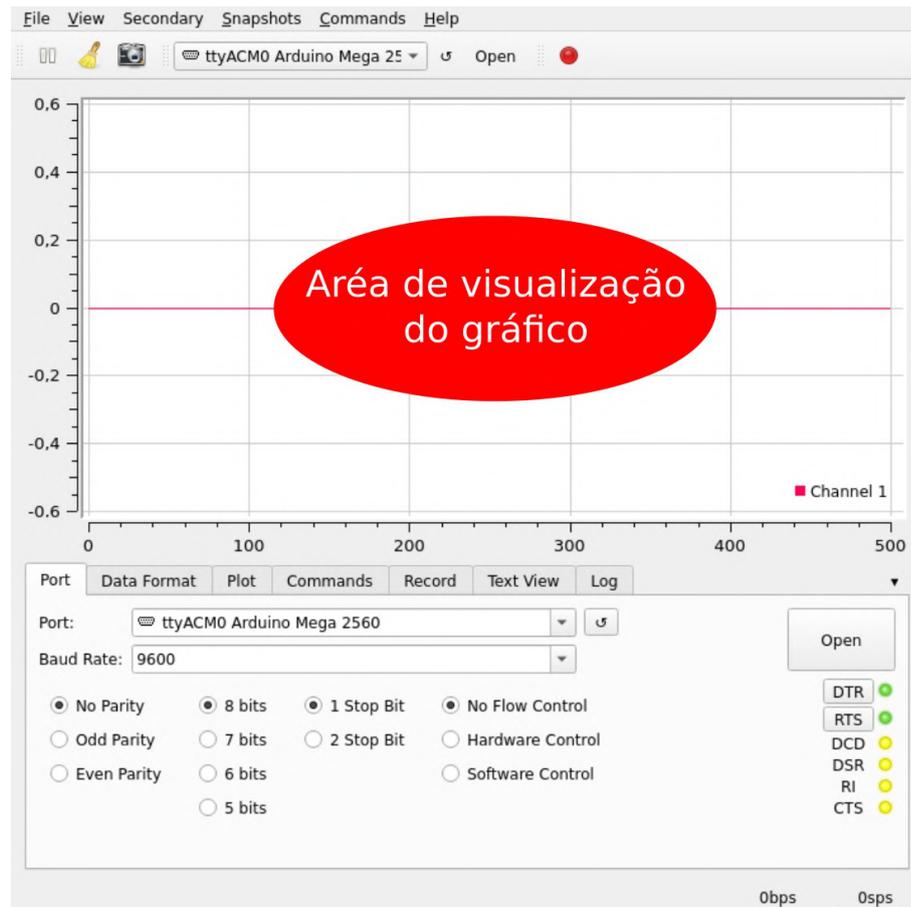


Figura 44 – Interface inicial do SerialPlot.
Créditos: Autor.

Após instalar o programa é preciso fazer configurações conforme os parâmetros e opções mostrados nas figuras a seguir. Na [Figura 45](#), na aba *Port*, podemos ver algumas configurações da porta física do computador em que o arduino está conectada. No exemplo da figura a placa foi identificada como conectada à porta `ttyACM0`, a velocidade de comunicação serial (*Baud Rate*) foi definida no valor de 9600 bits/segundo. Outros valores de velocidade poderiam ser utilizados, mas no programa descrito na [subseção 2.4.2](#) foi definido o valor de 9600.

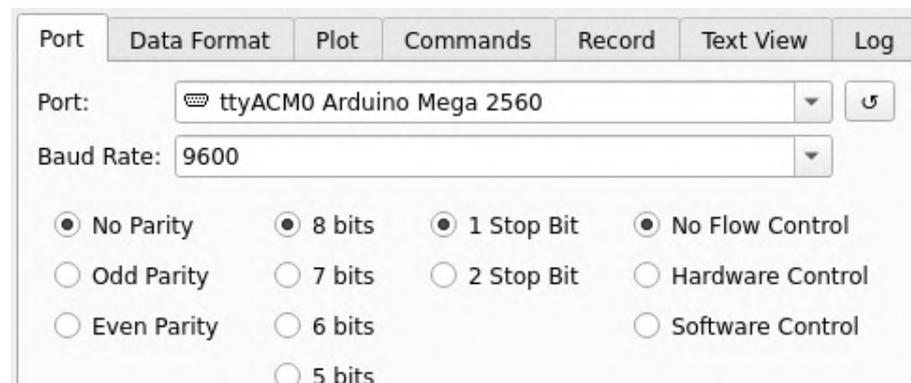


Figura 45 – Velocidade de transmissão em 9600 bits/segundo e opções de ajuste.
Créditos: Autor.

Já na [Figura 46](#), temos na aba *Data Format* as configurações referentes ao formato dos dados enviados pelo arduino, que no caso são no formato ASCII. O delimitador de coluna (*Column delimiter*) está definido como *comma*, que significa vírgula em inglês. As demais opções devem ser marcadas conforme a [Figura 46](#).

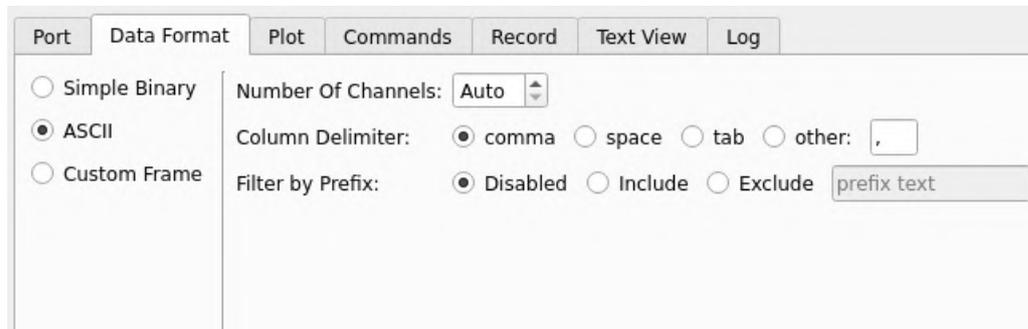


Figura 46 – Formato de dados ASCII e demais ajustes.
Créditos: Autor.

Na [Figura 47](#) escolhemos configurar as opções *Buffer Size* no valor de 6000, isso significa que o computador vai manter armazenado na memória até 6000 leituras. É um valor bem acima do esperado, visto que, dificilmente a operação do radiotelescópio vai demandar muito além de 4000 pontos guardados na memória, como pode ser visto na [Figura 43](#), onde o sinal detectado todo tem próximo de 3800 pontos. A opção *Plot Width* diz respeito ao tamanho do gráfico, a quantidade de pontos exibida, que, por padrão, deixamos no mesmo tamanho do *buffer size*. As demais opções devem ser marcadas como na [Figura 47](#).

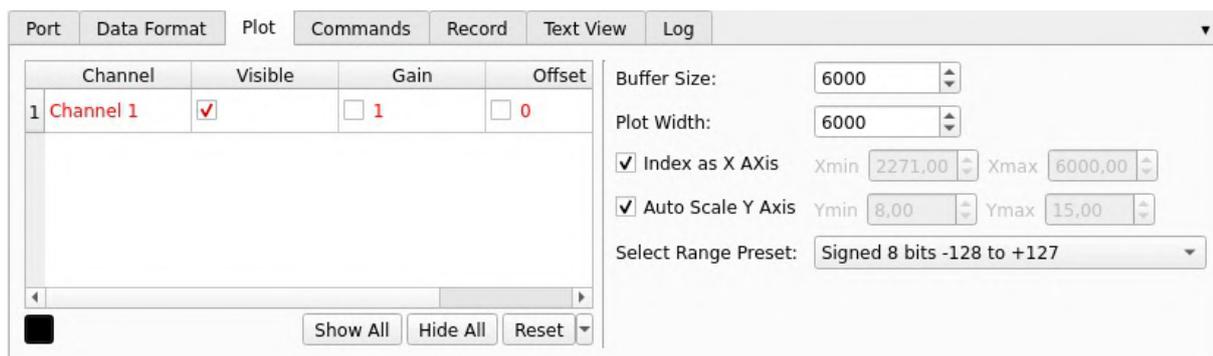


Figura 47 – Tamanho da área de plotagem.
Créditos: Autor.

Na [Figura 48](#) temos a aba *Text View* para visualizar na forma de texto os dados que chegam via porta serial. Marcando a opção *Enable* e configurando o número de linhas para 6000, seguindo o mesmo raciocínio do *buffer size*, poderemos visualizar os dados chegando em tempo real. O parâmetro *Decimals* diz respeito ao número de casas decimais que serão exibidas após a vírgula, o valor 1 é suficiente para a operação desse radiotelescópio.



Figura 48 – Visualização dos dados em linhas até dez mil pontos.
Créditos: Autor.

Feitas essas configurações, o SerialPlot está pronto para gerar a visualização dos dados de trânsito solar em tempo real.

3 OBSERVAÇÃO DO TRÂNSITO SOLAR

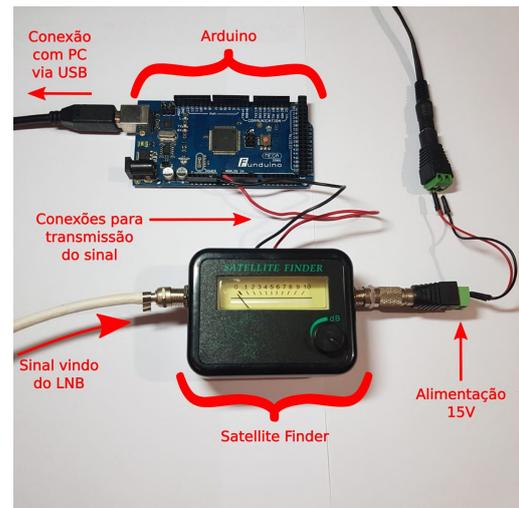
3.1 Conexão dos Componentes

Existem duas marcações no *SatFinder*, a **TOLNB** e **TOREC** para ligar na antena e na fonte de alimentação, respectivamente. Após montar a antena, devemos conectar o cabo coaxial entre a saída do **LNB** (Figura 49(a)) e o terminal do *SatFinder* identificado pela sigla **TOLNB**. A sigla **TOREC** indica onde deverá ser conectada a alimentação de 15 V, que só será ligada depois que todos os componentes estiverem conectados.

As conexões para transmissão do sinal do *Satfinder* para as portas **GND** e **A0** do arduino são mostradas na Figura 49(b). O arduino deve então ser conectado ao computador via cabo USB. Por último, conectamos a fonte de alimentação do *SatFinder* na tomada.



(a) Versão anterior do radiotelescópio montado junto com cabo coaxial.



(b) amplificador e conversor A/D com conexões prontas.

Figura 49 – Conexões para ligar o radiotelescópio. Créditos: Autor.

3.2 Primeiro Ajuste do Amplificador *SatFinder*

Com tudo ligado, devemos ajustar o regulador de ganho dB do *SatFinder* para o valor unitário (ponteiro sobre o 1) como na Figura 50. Antes de iniciar a captura de dados, será preciso refazer esse ajuste, pois a antena precisa atingir equilíbrio com os ruídos e temperatura ambiente. Pode-se notar que minutos após fazer esse primeiro ajuste o ponteiro passará a indicar um sinal crescente até atingir um patamar constante, mesmo se não estiver apontada para o Sol.



Figura 50 – Mostrador analógico do *SatFinder* ajustado para ganho unitário.
Créditos: Autor.

3.3 Seleção do Alvo e Planejamento da Observação

3.3.1 O planetário virtual Stellarium

Para selecionar o alvo e definir o cronograma da observação vamos utilizar o planetário virtual Stellarium. Esse programa é muito utilizado por astrônomos amadores, profissionais, educadores e curiosos. É multiplataforma e pode ser baixado gratuitamente no site do desenvolvedor¹. Vamos usá-lo para verificar a posição do alvo e o horário de observação. Lembrando que este radiotelescópio usa o sistema de coordenadas altazimutal, no qual precisamos anotar duas coordenadas, a altura e o azimute, ambos em graus.

Para mais detalhes de como usar esse planetário, podemos consultar alguns materiais como a apostila Aprenda a usar o Stellarium².

3.3.1.1 Configurando o local do observador no Stellarium

No primeiro uso do Stellarium é preciso configurar o local do observador. No menu esquerdo, clicamos em Janela de Localização (atalho F6), depois na caixa de busca digitamos o nome da cidade onde estamos. Em seguida a seta vermelha do mapa-múndi mudará para esse local, para salvar como padrão basta marcar a caixa “Usar a localização atual como padrão” e fechar essa janela.

3.3.1.2 Busca do alvo e definição do horário

Após definir o local de observação, vamos selecionar o alvo e verificar o horário de trânsito. O procedimento recomendado é definir as coordenadas do alvo prevendo a passagem pela frente da antena para dali a 20 minutos. Isso quer dizer, por exemplo, que

¹ Disponível em: <https://stellarium.org/pt_BR>

² Disponível em: <<https://astro.ufes.br/sites/default/files/TC%201%20-%20Stellarium.pdf>>

se vamos iniciar a captação de dados às 11h35, devemos programar no Stellarium o horário 11h55 e anotar as coordenadas do alvo, ou seja, às 11h55 o alvo estará diretamente a frente da antena e será o momento de pico de sinal, o chamado pico previsto.

Precisamos monitorar o sinal oriundo do céu para depois separá-lo do sinal do alvo. O trânsito solar nessas antenas dura cerca de 23 minutos em condições ideais. Sugerimos que o início da coleta de dados se dê com cerca de 20 minutos de antecedência, assim teremos tempo de capturar o ruído natural de rádio, que normalmente é linear e plano. Ao final da observação teremos o sinal do Sol bem separado do ruído do céu (continuando o passo da [seção 3.2](#)).

No [Apêndice B](#) sugerimos uma tabela para programar a observação. Podemos montar ela da seguinte maneira: anotando o alvo, data, localização e demais informações.

Observação	Alvo	Data	Localização		Fuso local
01	Sol	26/03/23	Lat: -23° 33' 34"	Lon: -46° 43' 26"	03:00:00

Coordenadas do alvo	Correção	Diferença		Hora de início
Azimute:				
Altura:	--			

	posição gráfica	tempo decorrido	intensidade	horário	tempo UTC	Diferença do previsto
Pico Previsto		min	mV			
pico detectado		min	mV			
Início do trânsito:		min	mV			Duração do trânsito
Fim do trânsito:		min	mV			
Início da coleta:		Variação de intensidade:	mV			

Figura 51 – Tabela sugerida para programar uma observação do trânsito solar.
Créditos: Autor.

As coordenadas do alvo nós obtemos pelo Stellarium quando clicamos no Sol (sugestão: usar barra de espaço para centralizar o alvo na tela). Do lado esquerdo serão exibidas várias informações sobre o alvo, mas a que nos interessa são as coordenadas de azimute e altura, indicadas na linha AZ/ALT, como, por exemplo, AZ/ALT: +358°37'30"/+65°20'33", que então anotamos na tabela de coordenadas do alvo ([Figura 52](#)). Se essas informações não estiverem disponíveis, pode-se adicioná-las no menu Janela de Configuração clicando na aba Informações.

A caixa “Correção” indica o quanto a coordenada de azimute foi corrigida em relação à declinação magnética local, esse passo será abordado na [seção 3.4](#). Hora de início corresponde ao tempo de início da captação de radiação do céu, e deverá ser anotado no momento de início da coleta de dados pelo computador.

Coordenadas do alvo		Correção	Diferença		Hora de início
Azimute:	358°				
Altura:	65°	--			

Figura 52 – Marcação das coordenadas de apontamento da antena para captura do trânsito solar. Créditos: Autor.

3.4 Apontamento da Antena

A instrução de como fazer o apontamento está na [subseção 3.4.5](#), mas antes precisamos conhecer os detalhes do Sistema Altazimutal e saber como corrigir as coordenadas em função da declinação magnética local usando uma bússola.

3.4.1 Considerações sobre o Sistema Altazimutal/Horizontal

O procedimento para apontar essa antena leva em conta o Sistema Altazimutal de coordenadas, também conhecido como Horizontal. Nele, precisamos conhecer dois ângulos ortogonais que indicam a posição de um objeto, o azimute e a altura ([Figura 53](#)).

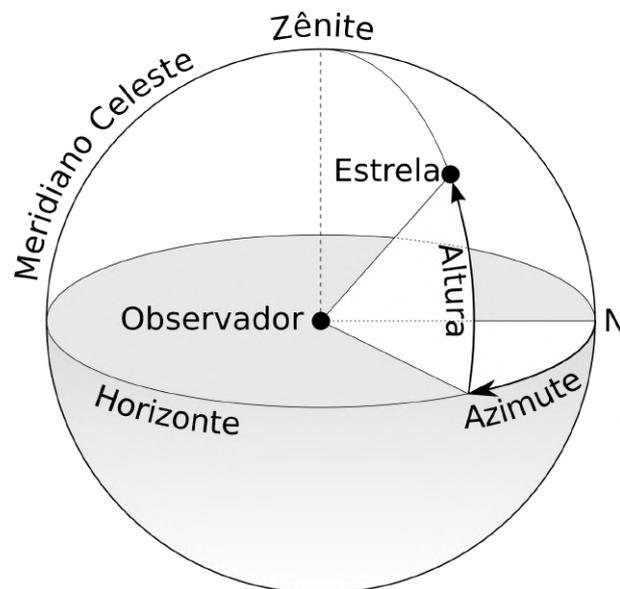


Figura 53 – Um diagrama esquemático do Sistema Altazimutal no que se refere à visualização de objetos celestes.³

O azimute tem como referência o norte geográfico, partindo dele podemos descrever uma circunferência no plano horizontal local, no sentido crescente do Norte para o Leste, de 0 até 360 graus. A altura é medida num plano vertical em relação ao plano horizontal local, variando de zero no horizonte até 90 graus no zênite. Com essas duas coordenadas

³ Modificado de: TWC Carlson, CC BY-SA 3.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>>, via Wikimedia Commons.

podemos localizar qualquer objeto no céu, como, por exemplo, o objeto Estrela indicado na Figura 53.

Esse sistema é semelhante ao utilizado pelos geógrafos nos mapas geográficos, que usam longitude e latitude para determinar posições sobre o globo terrestre.

3.4.2 Considerações sobre bússolas

A Bússola Mapa Militar com Milésimos (Figura 54) é um dispositivo muito antigo utilizado para orientação geográfica. Elas possuem uma agulha magnética que é sensível ao sentido do campo magnético terrestre, ou seja, podemos identificar qual direção e sentido do campo. Como os polos magnéticos são relativamente próximos dos polos geográficos, fazendo uma pequena correção podemos inferir a direção do polo norte geográfico. De maneira semelhante, o polo sul geográfico também.

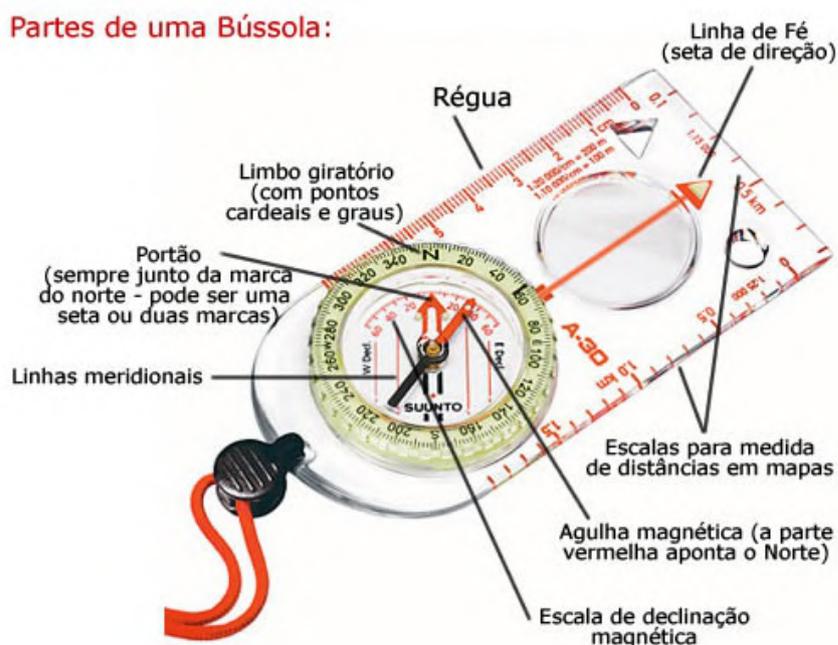


Figura 54 – Bússola Mapa Militar com Milésimos, com suas partes componentes identificadas.⁴

Um problema com o uso das bússolas reside no fato de que a direção do campo magnético é variável ao longo do planeta, por isso, para cada local o valor do quanto o polo magnético difere do geográfico será diferente. Essa diferença é chamada de **declinação magnética local**, e pode ser calculada por meio de calculadoras virtuais disponíveis na internet, como a da NOAA (*National Oceanic And Atmospheric Administration*)⁵ ou de aplicativos de *smartphone*, que é uma opção mais prática e fácil de fazer isso. Ambas as ferramentas serão exemplificadas nas seções seguintes.

⁴ Disponível em: <<https://trekkingbrasil.com/orientacao-com-bussola-e-mapa-parte-1>>

⁵ Disponível em: <<https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/calculators/magcalc.shtml>>

3.4.3 Cálculo da declinação magnética local usando uma calculadora virtual

A declinação magnética é uma medida do quanto o norte magnético, indicado pela bússola, está deslocado em relação ao norte geográfico, essa diferença é suficiente para se errar completamente o posicionamento da antena. O valor da declinação magnética local pode ser obtido no site da [NOAA](#) com sua calculadora de declinação. Basta digitarmos as coordenadas do local que o resultado será exibido como na parte esquerda da [Figura 55](#).

Calculate Declination

Latitude: S N

Longitude: W E

Model: WMM (2019-2024) IGRF (1590-2024)
 EMM (2000-2019)

Date: Year Month Day

Result format: HTML XML CSV JSON PDF

Model Used:	WMM-2020
Latitude:	23° 33' 34" S
Longitude:	46° 43' 26" W
Date	Declination
2023-03-26	21° 44' W ± 0° 25' changing by 0° 6' W per year

Figura 55 – Calculadora de declinação magnética local do NOAA. Créditos: Autor.

Para as coordenadas do exemplo, a declinação local é 21° Oeste, ou seja, o norte magnético indicado pela bússola está defasado em cerca de 21° em relação ao norte geográfico, o referencial para o Sistema Altazimutal. Como fazemos essa correção? Neste caso basta somar 21° ao valor do azimute indicado no *Stellarium*. Como a soma da mais que 360°, descontamos os 360° da volta completa (Pois não há coordenada maior que isso) e ficamos com 19° de azimute. Esse é o valor que deveremos utilizar na bússola para posicionar a antena. Na [Figura 56](#) vemos como ficará a tabela preenchida.

Coordenadas do alvo		Correção	Diferença		Hora de início
Azimute:	358°	19°	21°		
Altura:	65°	--			

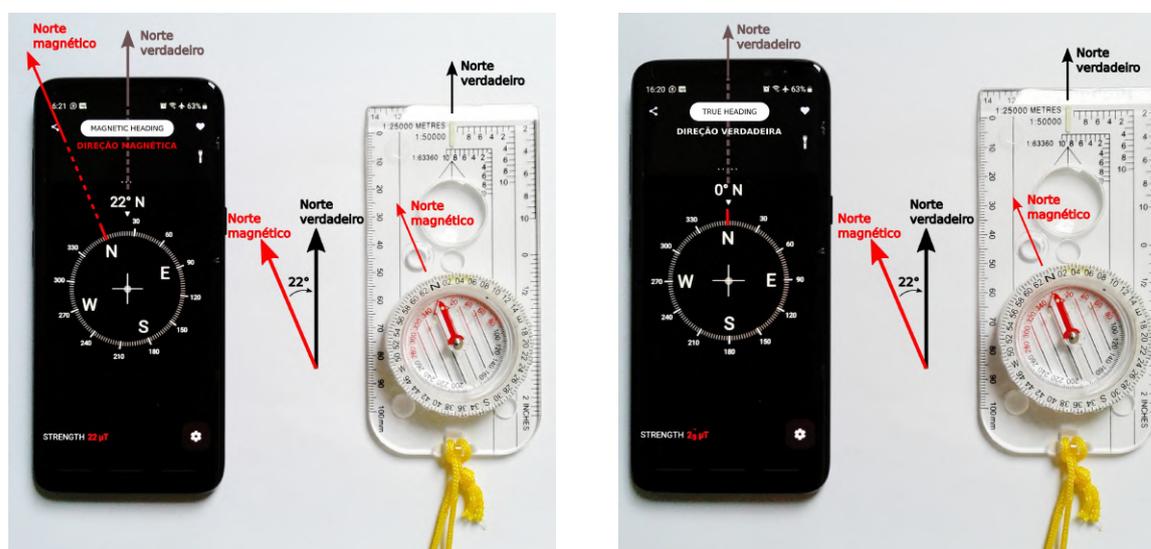
Figura 56 – Correção da declinação magnética. Créditos: Autor.

Na [subseção 3.4.5.1](#) veremos que, na prática pode ser necessário modificar o valor dessa diferença.

3.4.4 Cálculo da declinação magnética local usando um aplicativo de smartphone (método mais fácil)

Há diversos aplicativos que simulam bússolas, mas poucos que permitem, neste caso, substituir de forma prática a bússola real. Um deles é o Digital Compass⁶, um aplicativo para celulares android, que tem a opção de apontar para o norte verdadeiro já com a correção automática da declinação, isso torna desnecessário fazer cálculos para descobrir a declinação local.

Na Figura 57(a) podemos ver uma comparação entre o aplicativo e uma bússola de mapas. O norte verdadeiro está indicado pelas setas para cima (desenhadas para auxiliar no entendimento), já o norte magnético, tomando a indicação da bússola como referência, está inclinado 22 graus para o oeste.



(a) Aplicativo mostrando direção do norte magnético igual a bússola convencional.

(b) Aplicativo mostrando o norte verdadeiro já corrigido.

Figura 57 – Aplicativo Digital Compass nos modos *Magnetic Heading* e *True Heading*, respectivamente, comparado com uma bússola comum. Créditos: Autor.

A bússola de acrílico foi corrigida usando os dados do NOAA (21°), já o aplicativo apresentou uma pequena diferença de 1° em relação a esse valor, o que pode decorrer de alguns fatores como a imprecisão da bússola, a calibração do *smartphone* ou mesmo a presença de campo magnético próximo.

Na Figura 57(b) podemos ver o aplicativo **indicando o norte verdadeiro**. Para ele fazer isso, devemos trocar a opção MAGNETIC HEADING para TRUE HEADING, que são “direção magnética” e “direção verdadeira”, respectivamente (isso é feito clicando-se no botão correspondente). Dessa forma, em vez de usar a bússola e fazer o cálculo da

⁶ Aplicativo desenvolvido pela Axiomatic Inc. e disponível para Android na Google Play: <<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.vincentlee.compass>>

coordenada corrigida, podemos usar a coordenada copiada diretamente do Stellarium sem necessidade de correções. Na tela do aplicativo também é possível ler a intensidade do campo magnético do local em unidades de micro teslas.

Um detalhe importante sobre o uso de aplicativos de bússola é que é preciso fazer a calibração do sensor do *smartphone*. Essa calibração é feita movimentando-se o celular para fazer o sinal de infinito “deitado” no ar, basta seguir a instrução dada pelo aplicativo.

3.4.5 Ajuste e apontamento da antena

O movimento de rotação da Terra faz com que a posição dos objetos celestes varie constantemente no céu. Como esse radiotelescópio observa trânsitos, é preciso montar a estrutura para antecipar a passagem do objeto pela frente da antena. Usaremos como referência o valor de 30 minutos, ou seja, devemos pensar que em cerca de 30 minutos o Sol estará de frente à antena, esse será o momento de maior intensidade do sinal. Como o trânsito dura cerca de 23 minutos, usando 30 minutos como referência podemos supor que dali a aproximadamente 11 minutos começaremos a observar uma mudança no sinal captado, em decorrência do avistamento do Sol.

3.4.5.1 Ajuste do azimute com bússola comum

Após corrigida a coordenada em função da declinação magnética ([subseção 3.4.3](#)), devemos ajustar a bússola. Neste procedimento foi utilizada uma bússola como a da [Figura 58](#).



Figura 58 – Bússola Mapa Militar com Milésimos. Créditos: Autor.

Na [Figura 59](#) temos um modelo semelhante com identificação das partes componentes, embora não seja o mesmo modelo, o princípio é o mesmo. A seguir comentaremos as particularidades de cada uma para podermos utilizar tanto uma como a outra.

Nesse tipo de bússola a Linha de Fé indicará o azimute para apontar a antena. Outras partes importantes para o nosso projeto são a Escala de Declinação Magnética, a Agulha Magnética, o Portão e o Limbo Giratório.

Partes de uma Bússola:

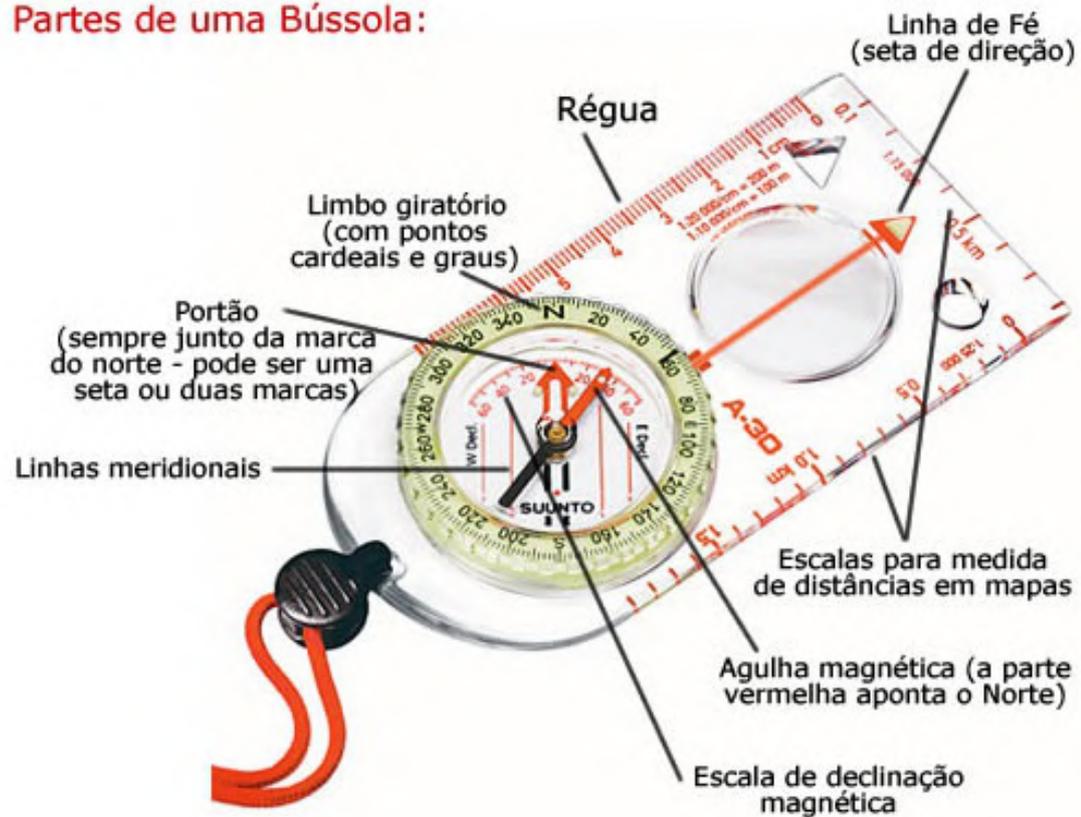


Figura 59 – Bússola de mapas, com suas partes componentes identificadas.⁷

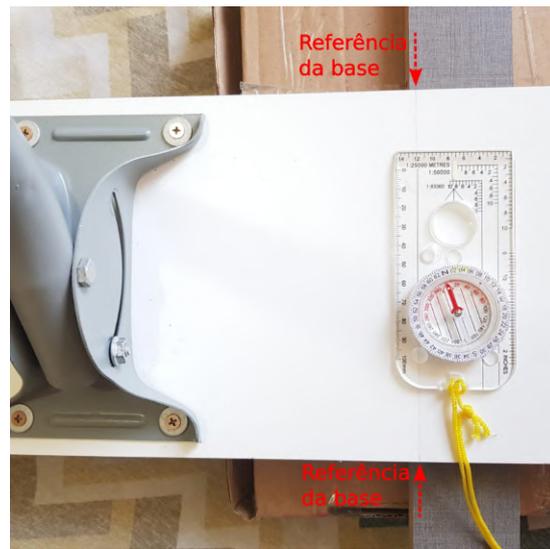
No mercado podemos encontrar algumas variações desse tipo de bússola. No exemplo da [Figura 59](#), o Limbo Giratório tem uma escala que vai de 0 a 360°, ele deverá ser rotacionado para que o valor de azimute coincida com a Linha de Fé. Já na bússola da [Figura 58](#) o Limbo Giratório representa o sistema de Marcos (Sudeste, noroeste, norte-nordeste, etc), o que não será útil para nós. Nesse caso é a Escala de Declinação que indicará o azimute (Note que ela vai de 0 a 360°), devendo ser ajustada para coincidir com a Linha de Fé, como pode ser visto na [Figura 60\(a\)](#). No momento de adquirir uma bússola é preciso identificar essas particularidades para não se perder, embora tanto uma como a outra sirvam ao mesmo propósito.

Prosseguindo, de acordo com nosso exemplo a coordenada de azimute é 19°. Na [Figura 60\(a\)](#) podemos observar em destaque o Marcador da Linha de Fé, que devemos utilizar como referência para ajustar a Escala de Declinação (ou Limbo Giratório). Feito esse ajuste, basta fazer uma marcação de referência na base da antena e alinharmos a bússola com ela, como na [Figura 60\(b\)](#). Em seguida deve-se girar base de forma que a Agulha Magnética coincida com o Portão. Quando essas marcas estiverem alinhadas a antena apontará para o azimute correto.

⁷ Disponível em: <<https://trekkingbrasil.com/orientacao-com-bussola-e-mapa-parte-1>>



(a) Detalhe do ajuste da Escala de Declinação com a Linha de Fé.



(b) Bússola alinhada com o eixo de referência da base da antena.

Figura 60 – Detalhes de alinhamento de bússolas. Créditos: Autor.

3.4.5.2 Ajuste do azimute com aplicativo

Para realizar o ajuste com o aplicativo, basta selecionar a opção TRUE HEADING e posicionar o *smartphone* como na Figura 61, alinhado com a referência de base, de maneira semelhante ao que seria feito com uma bússola. Em seguida deve-se girar a base até que o azimute correto apareça na tela (358° no exemplo). Deve-se tomar cuidado para que o aparelho não desalinhe das marcas de referência durante esse procedimento.



Figura 61 – *Smartphone* alinhado com o eixo de referência da base da antena. Créditos: Autor.

3.4.5.3 Ajuste da altura na antena

Esse ajuste é mais simples de fazer do que o de azimute. Não é necessária uma bússola, pois a própria antena vem com um sistema de ajuste de altura, bastando o eixo de apoio estar nivelado na vertical, como veremos na [subseção 3.4.5.4](#).

No modelo de antena da [Figura 62\(a\)](#) ajustamos para que a borda do parafuso coincida com a marca de 65° da escala, que é a coordenada de altura do Sol indicada pelo Stellarium. Para outros modelos de antenas, sejam as de 60 ou 90 cm, a referência de ajuste não é padronizada, podendo ser, por exemplo, no meio do parafuso. Esse é um detalhe muito importante que infelizmente só pode ser determinado apontando a antena diretamente para o Sol e verificando visualmente na escala de cada uma onde ela marca a coordenada correta do Sol. É preciso sempre testar isso previamente.



(a) Borda do parafuso como referência para ajuste da coordenada 65° de altura.



(b) Referência de ajuste para 60° em um segundo modelo de antena.

Figura 62 – Detalhes do ajuste de altura para antenas diferentes. Créditos: Autor.

Como visto anteriormente na [Figura 56](#), a coordenada de altura do exemplo é 65° . Dito isso, devemos afrouxar os parafusos e manusear o prato da antena até que a marca de referência indique o ângulo correto, de maneira semelhante aos ajustes mostrados na [Figura 62](#). Esse ajuste tem de ser feito com atenção, pois geralmente não há uma marcação precisa nesses modelos de antenas comerciais. Recomendamos treinar um pouco para entender como fazer corretamente.

3.4.5.4 Nivelamento da antena

Conhecidos os dados de posição, ajustamos a antena em função deles. A coordenada do ângulo de altura tem indicações de ajuste na própria estrutura do equipamento, porém, o ângulo de azimute é ajustado girando-se por completo a base da estrutura. Esse ajuste do

azimute é um pouco rústico e pode ocasionar o desnivelamento da base, o que compromete todo o posicionamento. Para mitigar isso, após ajustar o azimute e a altura, podemos utilizar um nível de bolha, como exemplificado na [Figura 63](#).



Figura 63 – Nível bolha em formato de disco.
Créditos: Autor.

Esse tipo de nível de bolha, em formato de disco (37 mm) e com alvo no meio, é recomendável, pois permite visualizar se o eixo vertical da antena está desalinhado para qualquer lado do plano horizontal. Também poderíamos utilizar um nível cilíndrico, muito comum, mas seria preciso ter mais atenção e treinar o manuseio dele. O nível em formato de disco se acopla muito bem na estrutura dessas antenas.

Feito esse nivelamento, a montagem está pronta, basta fazer os demais ajustes na parte eletrônica e de software.

3.5 Segundo Ajuste do Amplificador *SatFinder*

Como visto anteriormente na [seção 3.2](#), o *SatFinder* foi ajustado para que o ponteiro marcasse ganho unitário. É muito importante que aquele passo tenha sido feito um tempo antes de alinhar a antena, assim que ela esteja montada na base, pois dessa forma poderemos agora mitigar o ruído térmico atmosférico, da radiação cósmica de fundo, do ambiente ao redor e do aquecimento dos componentes.

Dito isso, após concluir o alinhamento da antena, deveremos observar o indicador do *SatFinder*. É esperado que ele indique um sinal maior do que 1, como na [Figura 64\(a\)](#),

decorrente das interferências do meio. Para retornar o ponteiro ao 1, devemos girar o botão no sentido anti horário, isso faz com que a sensibilidade do dispositivo diminua (em termos técnicos, estamos diminuindo o ganho de sinal), para reduzir a captação do ruído que está sendo captado e só pegar sinais fortes, como o do Sol. O ponteiro deverá estar como na [Figura 64\(b\)](#).



(a) Indicador marcando sinal elevado de ruído atmosférico.



(b) Indicador ajustado para considerar como 1 o ruído comum.

Figura 64 – Detalhes do ajuste de ganho no Satfinder. Créditos: Autor.

Esse passo é feito para podermos minimizar as interferências no sinal, deixando assim, dessa forma, que o trânsito solar seja destacado durante a observação. Feito isso, o sistema eletrônico estará pronto, não mexeremos mais nas regulagens da antena e o próximo passo será configurar o software de captação pelo computador.

3.6 Coleta de Dados e Visualização

Na [seção 2.5](#) aprendemos como configurar o software de visualização de dados. A seguir aprenderemos como iniciar a captação e salvar as informações. Mas antes, vamos comentar alguns detalhes sobre a interface do software. Na [Figura 65](#) podemos ver alguns botões práticos que podemos utilizar:



Figura 65 – Detalhe do software onde seleciona-se a placa de arduino e inicia-se a coleta de dados.

Créditos: Autor.

- O primeiro botão serve para pausar ou continuar o recebimento de dados;
- O limpar elimina o gráfico plotado da área de visualização;
- O selecionar placa permite marcarmos a porta computacional onde está conectado o arduino (essa porta pode aparecer escrita como COM1, COM2, etc. em sistemas windows, ou ttyACM0 em sistemas linux, como o exemplo utilizado). O nome do modelo de arduino utilizado aparece ao lado da porta correta, então fica fácil selecionar;
- O botão atualizar deve ser utilizado para refrescar a lista de portas caso precisemos desconectar o arduino para alguma mudança qualquer;
- O botão Open serve para iniciar a comunicação com o arduino e receber os dados. Quando ele for clicado, o gráfico começará a ser plotado e na janela Text View aparecerão, um embaixo do outro, os valores medidos pela antena na escala de milivolts.

3.6.1 Iniciando a coleta de dados

Primeiro precisamos testar se os dados estão chegando corretamente. Para isso, faremos o passo a passo enumerado na [Figura 66](#):



Figura 66 – Passo a passo enumerado para testar e iniciar a coleta de dados.

Créditos: Autor.

- Passo 1 Clique em Open para iniciar a leitura dos dados enviados via USB (porta serial) pelo arduino. No ambiente de visualização gráfica começará a aparecer um gráfico, já no ambiente de visualização numérica poderemos ler os valores em unidades de milivolts;
- Passo 2 Após os primeiros dados começarem a ser exibidos nos dois ambientes do programa, isso significa que a coleta está funcionando. Então clique no botão de pausa para parar esse teste;
- Passo 3 Em seguida, clique em limpar (clear) para apagar o gráfico de teste;
- Passo 4 Depois, no ambiente de visualização numérica, clique em Clear para limpar tudo ali também;
- Passo 5 Nesse momento estará tudo pronto para iniciar a observação do trânsito solar. Verifique a hora certa e anote o exato momento em que for clicar no botão de pausa para iniciar a captura dos dados. Em seguida, tudo que se faz é aguardar e monitorar a captação. Não se deve mexer na antena e nem parar o processo durante a captação, só após terminar o trânsito. Dessa forma, será possível avaliar melhor as informações coletadas.

A hora de início deverá ser anotada na tabela de planejamento para depois poder avaliar a precisão do apontamento realizado, ou seja, se foi conseguido capturar o pico do trânsito na hora prevista. No caso de não estar havendo a captação da emissão do Sol, deve-se verificar se o alinhamento está correto. Nesse caso, o mais indicado é recomeçar a medição quando a antena for realinhada.

Conforme o exemplo utilizado na [subseção 3.3.1.2 \(Figura 51\)](#), o pico foi previsto para às 11h55min. Sendo assim, o procedimento de alinhamento da antena iniciado com antecedência, permitiu que o Passo 5 fosse realizado às 11h35, como marcado na [Figura 67](#), cerca de 20 minutos antes do pico previsto.

Coordenadas do alvo		Correção	Diferença		Hora de início
Azimuth:	358°	19°	21°		11:35:38
Altura:	65°	--			

Figura 67 – Tabela com hora de início. Créditos: Autor.

Feito isso, não há nada mais a se fazer, se não, esperar pelo trânsito completo que, se estiver tudo correto, deverá começar em cerca de 8 minutos, às 11h43. O sinal do Sol poderá ser notado como um sinal crescente e em destaque.

3.6.2 Finalizando a coleta de dados

Se tivermos obtido sucesso, teremos algo como o mostrado na [Figura 68](#). Na figura temos um registro de trânsito solar ocorrido em 26 de março de 2023. Para finalizar a coleta de dados, basta apertar no botão de pausar. O tamanho da área de plotagem do SerialPlot tem cerca de 6000 divisões, como configurado anteriormente pelos parâmetros *buffer size* e *plot width*.

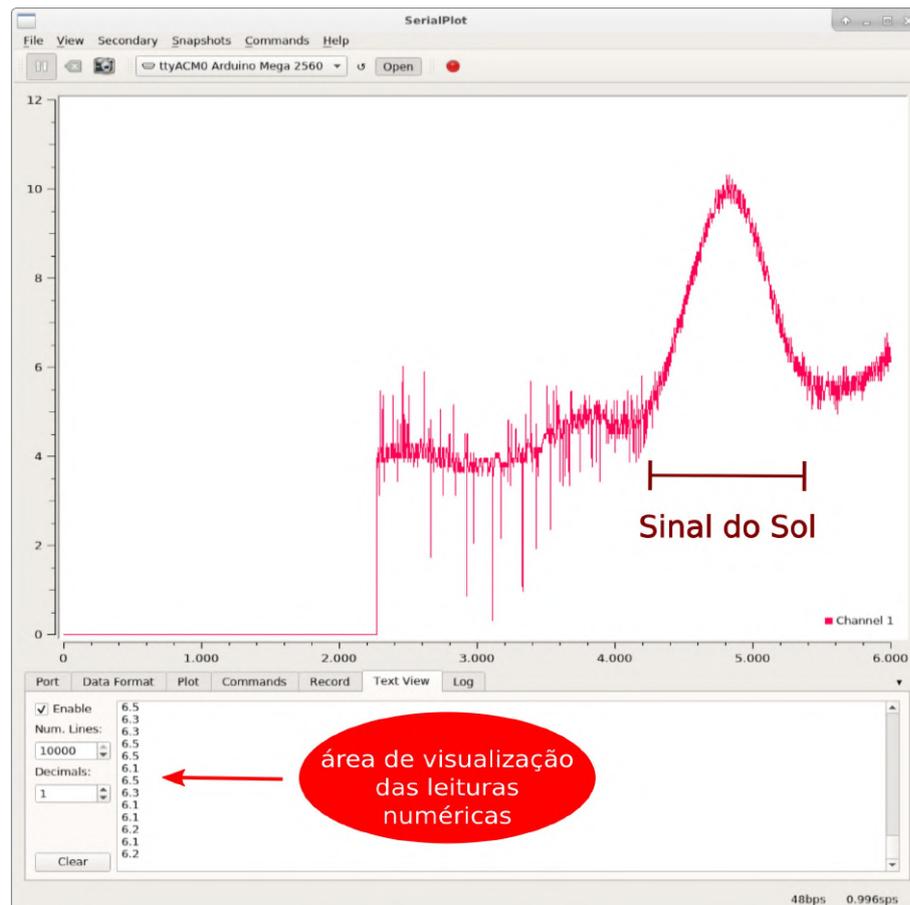


Figura 68 – Observação do trânsito solar ocorrido em 26 de março de 2023 durante o período de uma hora. Créditos: Autor.

3.6.3 Salvando os dados

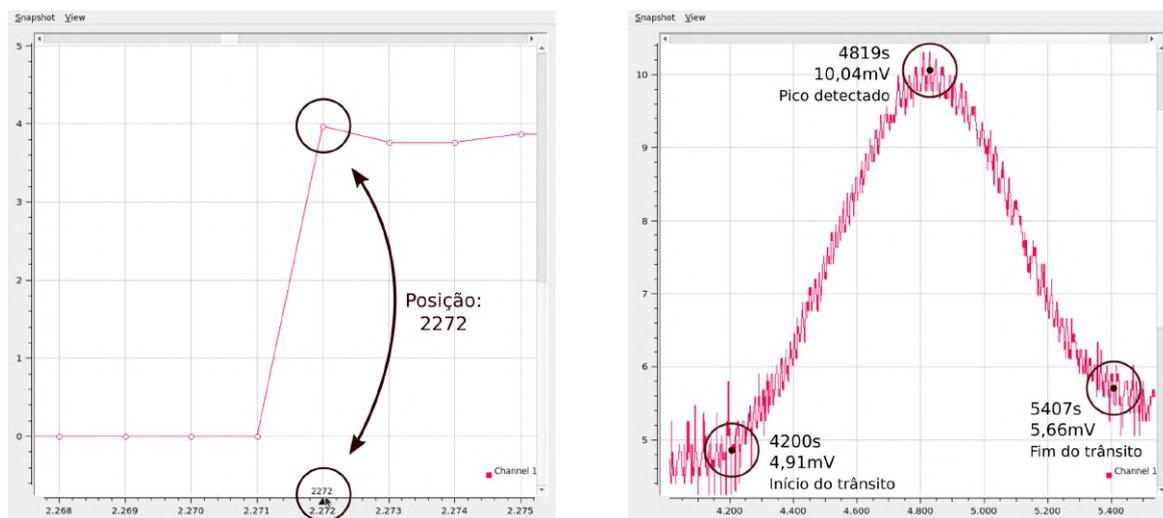
Em seguida, se desejado, podemos salvar as informações para posterior uso. No menu superior, na opção *file*, temos duas alternativas para salvar, o formato csv ou o svg:

- **Export CSV:** arquivo de texto para salvar dados numéricos e textuais. Um formato muito comum de salvar informações científicas obtidas em experimentos. O arquivo CSV pode ser aberto em qualquer editor de planilhas, como, por exemplo, o bem conhecido Excel (mas recomendamos o uso do LibreOffice, por ser gratuito e multiplataforma).

- **Export SVG:** arquivo de imagem que pode ser aberto por qualquer software de visualização de dados no computador ou *smartphone*.

Dentro do SerialPlot podemos tirar algumas informações para compor a nossa tabela de dados do trânsito solar. Isso também pode ser feito, como já mencionado anteriormente, por meio de um editor de planilhas da preferência do usuário. Para preencher a tabela, vamos seguir o seguinte passo a passo analisando as informações disponíveis no próprio SerialPlot:

Início do Trânsito: Posição em que a coleta se iniciou. Isso pode ser feito por meio de zoom no gráfico com o botão esquerdo do mouse. Na [Figura 69\(a\)](#) podemos ver que esse instante corresponde a posição 2272 do gráfico. Então anotamos esse valor na tabela onde está indicado **Início da coleta**. Se fossemos pensar em termos de tempo, esse seria o tempo zero, que corresponde ao horário de 11h35min.



(a) Instante do início da coleta de dados.

(b) Instantes de início, pico e fim do trânsito solar.

Figura 69 – Detalhes importantes nos dados coletados. Créditos: Autor.

Pico Previsto: podemos notar que o tempo previsto para obtermos o pico de sinal era de 20 minutos. Como 20 minutos é igual a 1200 segundos, podemos anotar a posição gráfica somando esse valor ao do Início da coleta, que dará a posição 3449. Se dessemos zoom no gráfico, veríamos que nessa posição a intensidade do sinal foi 4,14 mV, muito abaixo do valor durante o pico detectado, isso denota um erro de apontamento da antena.

Início do Trânsito: No gráfico notamos que a curva começa sua subida aproximadamente na posição 4200, com intensidade de 4,91 mV. O tempo em minutos pode ser obtido subtraindo-se 4200 menos 2272 e dividindo-se por 60, o que dará 32 minutos, ou seja, o início do trânsito começou cerca de 32 minutos após o início da coleta de dados.

Pico Detectado: Da mesma maneira que no passo anterior, podemos dar zoom e encontrar a posição e intensidade do pico observado. No exemplo da [Figura 69\(b\)](#) vemos que a posição de início de detecção foi 4819 e a intensidade 10,04 mV. O tempo em minutos desde o início foi de 42 minutos, ou seja, houve um atraso de 22 minutos em relação ao esperado.

Fim do Trânsito: O fim do trânsito acontece aproximadamente na posição 5407, com intensidade de 5,66 mV. O tempo foi de 52 minutos desde o início da coleta.

Diferença do Previsto: Aqui podemos verificar a precisão do alinhamento, que neste teste não foi tão boa, com o pico detectado 22 minutos atrasado em relação ao previsto.

Duração do Trânsito: A duração é obtida subtraindo o tempo entre o fim e o início do trânsito, que nesse exemplo foi de 20 minutos. Esses valores serão próximos a isso em todas as observações realizadas com esse equipamento.

Variação de Intensidade: Essa variação corresponde a intensidade do sinal captado pela antena antes e depois do trânsito. Em decorrência do aquecimento do equipamento durante a passagem do Sol, esse valor de base é geralmente maior do que o de antes do início do trânsito devido ao aquecimento do equipamento e da atmosfera após a passagem do Sol.

Se essa etapa não puder ser feita logo após a observação, basta salvar o arquivo de dados em CSV e depois abri-lo como um *snapshot* no programa. Para isso, devemos clicar no menu superior em *Snapshots/Load Snapshots* e selecionar o arquivo da observação. De resto o procedimento é o mesmo.

Os dados coletados nesse exemplo estão na [Figura 70](#).

Observação	Alvo	Data	Localização		Fuso local
01	Sol	26/03/23	Lat: -23° 33' 34"	Lon: -46° 43' 26"	03:00:00

Coordenadas do alvo	Correção	Diferença		Hora de início
Azimute:	358°	19°	21°	11:35:38
Altura:	65°	--		

	posição gráfica	tempo decorrido	intensidade	horário	tempo UTC	Diferença do previsto
Pico Previsto	3449	19,6 min	4,14 mV	11:55:00	14:55:00	ATRASO
pico detectado	4819	42,5 min	10,04 mV	12:17:00	15:17:00	22,8 min
Início do trânsito:	4200	32,1 min	4,91 mV	12:07:00	15:07:00	Duração do trânsito
Fim do trânsito:	5407	52,3 min	5,66 mV	12:29:00	15:29:00	20,1 min
Início da coleta:	2272	Variação de intensidade:	0,75 mV			
			Aumento			

Figura 70 – Tabela com os dados coletados do trânsito solar.

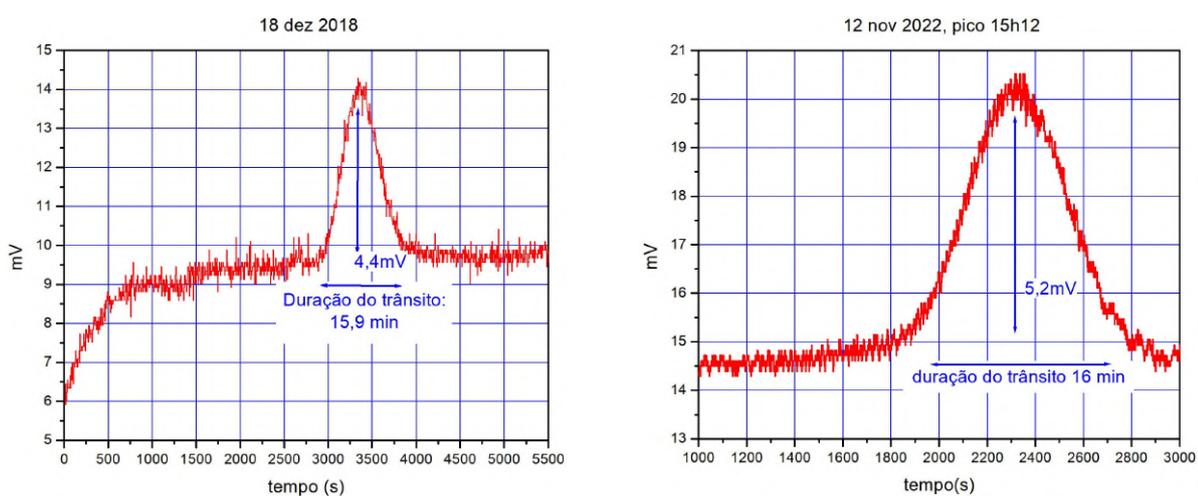
Créditos: Autor.

Essa observação captou a emissão solar com cerca de 20,1 minutos de atraso em relação ao previsto, o que significa que a antena foi apontada muito a frente do previsto, cerca de 5° adiante do alvo desejado, o que levou a uma detecção tardia das emissões do Sol. Esse tipo de erro pode ser reduzido com treino da operação, mas não é algo absurdo.

3.7 Exemplos de testes com antenas de 90 e 60 cm

Há dois tipos de antenas bem comuns, as de 90 cm e as de 60 cm. A seguir, na [Figura 71](#) apresentamos dois resultados de observações realizadas com uma antena de 90 cm. A [Figura 71\(a\)](#) é resultado de testes iniciais realizados no ano de 2018, a segunda já é mais recente. Chamamos atenção para a duração dos trânsitos, que foi de aproximadamente 16 minutos. Nas antenas de 90 cm o tempo de trânsito é menor que nas de 60 cm, essa diferença será abordada na seção [subseção 3.7.1](#).

Na [Figura 71\(b\)](#) apresentamos um teste realizado em 12 de novembro de 2022, onde foi captado um trânsito completo do Sol com uma antena de 90 cm. Essa observação captou a emissão solar com cerca de 11 minutos de atraso em relação ao previsto, o que significa que a antena foi apontada corretamente na trajetória do Sol, mas um pouco adiante da posição prevista, mais especificamente $2,75^\circ$ além do previsto. Sabemos desse atraso, pois tomamos o pico do sinal como referência de quando o Sol está diretamente a frente do radiotelescópio. A variação da intensidade da emissão captada durante o pico foi de 5,2 mV em relação ao ruído de fundo. O tempo de duração aproximado desse trânsito foi de 16 minutos.



(a) Registro do trânsito solar em 18-12-2018.

(b) Registro do trânsito solar em 12-11-2022.

Figura 71 – Observações realizadas com antena de 90 cm. Créditos: Autor.

As antenas de 60 cm, como mostrado na [Figura 72](#), são um modelo comum mais prático e leve de trabalhar. Com um único ponto de apoio fixado no chão elas já adquirem

estabilidade, o que é diferente das de 90 cm, que devido ao tamanho e peso, necessitam de fixação em três pontos de apoio.



(a) Antena de 60 cm.



(b) Vista de trás da antena.

Figura 72 – Antena de banda Ku utilizada nos testes. Créditos: Autor.

Na [Figura 73](#) temos uma captação com a antena de 60 cm. Nesse teste ocorreu um erro de alinhamento, pois quando o sistema foi acionado, já estava ocorrendo o trânsito. Podemos notar que o início da detecção de emissão solar (curva Gaussiana) se deu quando a curva estava subindo, já estando o entorno do Sol em frente ao prato. No ponto 1750 o sinal se encontra estabilizado, o que corresponde ao ruído em rádio presente na atmosfera, que é normal de se captar.

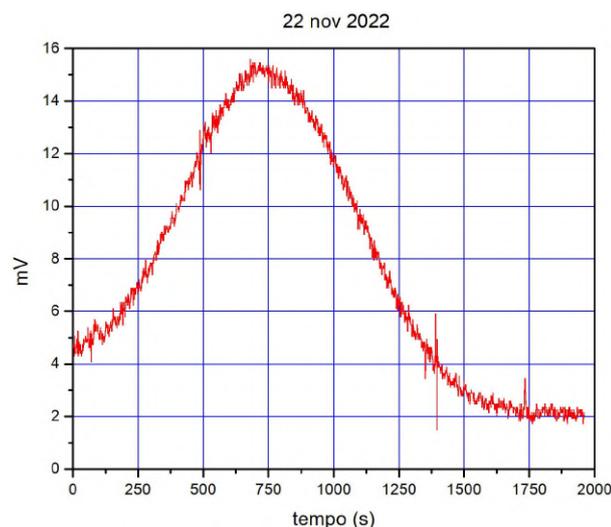


Figura 73 – Registro do trânsito solar em 22-11-2022. Créditos: Autor.

A seguir temos um recorte de alguns resultados de testes realizados com a antena de 60 cm. Diversas tentativas foram feitas para refinar o procedimento de alinhamento e definir o melhor passo a passo. Na [Figura 74\(a\)](#), [\(b\)](#) e [\(d\)](#) temos três captações que deram

certo. Já a da [Figura 74\(c\)](#) não ficou boa, pois ocorreu um erro no alinhamento, o que ocasionou na captação parcial das emissões de rádio.

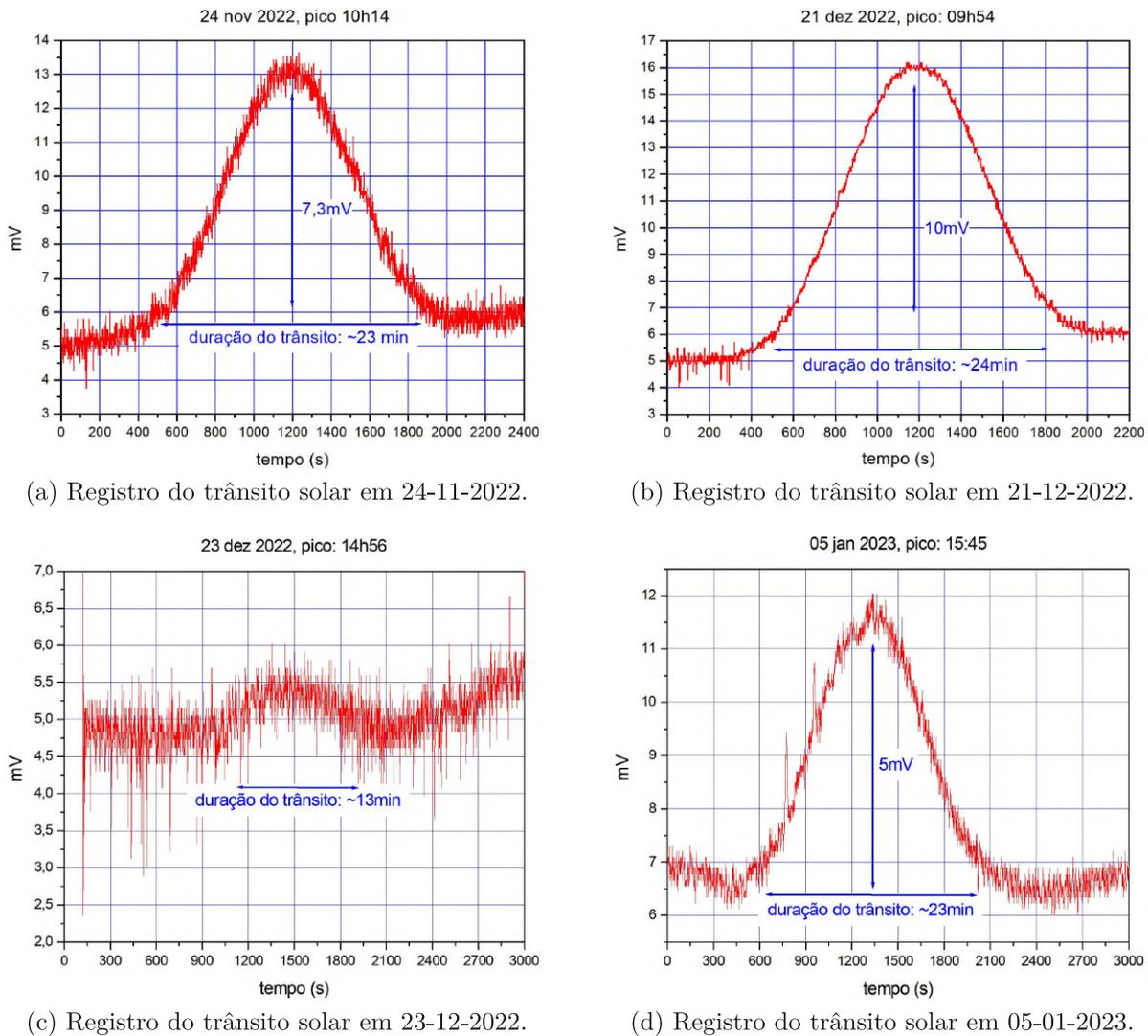
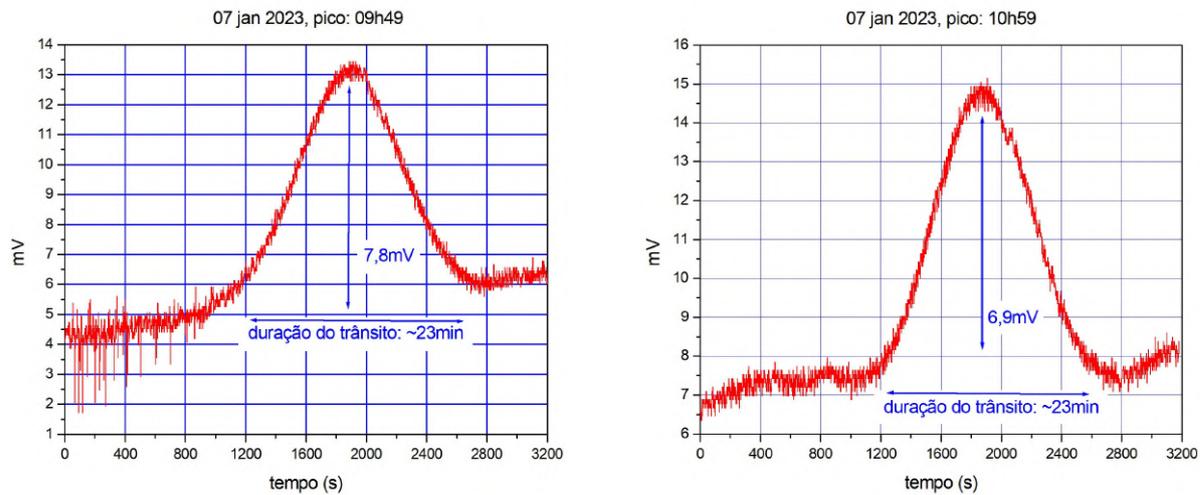


Figura 74 – Registros de emissão do Sol. Créditos: Autor.

O azimute, obviamente precisa ser reajustado devido à declinação magnética, mas observa-se que a estrutura metálica da antena causa uma pequena deflexão na agulha da bússola quando esta é colocada muito próxima do metal. Quanto a isso, só o que pode ser feito é tentar deixar a bússola o mais longe possível do metal durante o alinhamento, o que, na prática, é resolvido com cerca de 20 centímetros de distância.

Nas figuras a seguir, temos duas captações realizadas utilizando o procedimento padronizado neste manual. Na [Figura 75\(a\)](#) a diferença entre o momento do pico previsto e o detectado foi de 8,3 minutos, cerca de 2° no céu, o que consideramos bastante satisfatório visto as imprecisões do equipamento. Na [Figura 75\(b\)](#) obtivemos um tempo de captação semelhante aos resultados anteriores, mas onde o pico de emissão foi detectado apenas 7 minutos mais tarde que o previsto, isso é $1,75^\circ$ de diferença do esperado. Isso é devido ao

alinhamento da antena.



(a) Teste 1 em 07-01-2023.

(b) Teste 2 em 07-01-2023.

Figura 75 – Registros de emissão do Sol. Créditos: Autor.

Na Figura 76 podemos ver um teste onde ocorreu um atraso de cerca de 23 minutos em relação à hora do pico previsto, ou seja, $5,75^\circ$ de diferença. Esse tipo de erro ocorre devido a imprecisões durante o apontamento, uma leitura errada na bússola ou um movimento brusco durante o aperto dos parafusos da antena pode causar o desalinhamento dela.

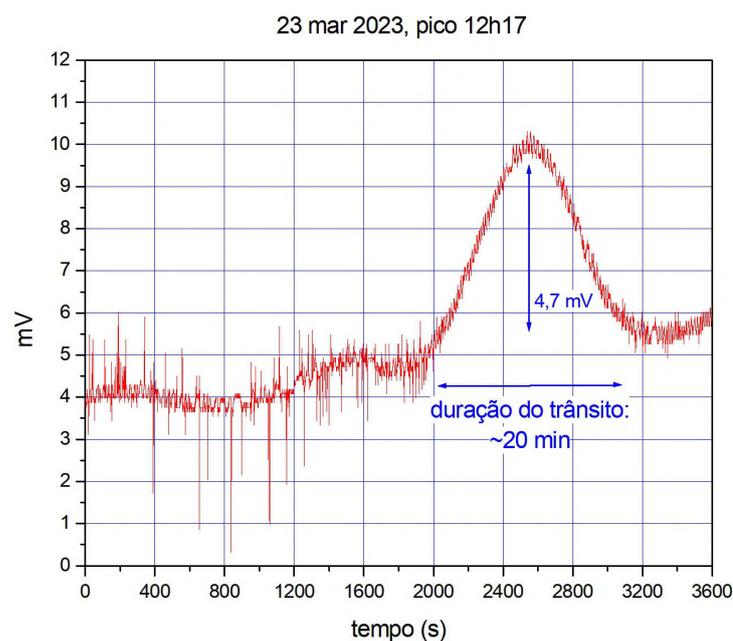


Figura 76 – Registro de trânsito solar em 23-03-2023.
Créditos: Autor.

3.7.1 Diferenças entre as antenas de 90 e 60 cm

Notamos dois aspectos perceptíveis quando comparamos os resultados dos dois tipos de antenas, a de 90 e a de 60 cm, o tempo de duração dos trânsitos e o nível de ruído captado. Enquanto na antena de 90 os tempos variam em torno de 16 minutos, na de 60 é em média 23 minutos, como poder ser visto na [Figura 77](#).

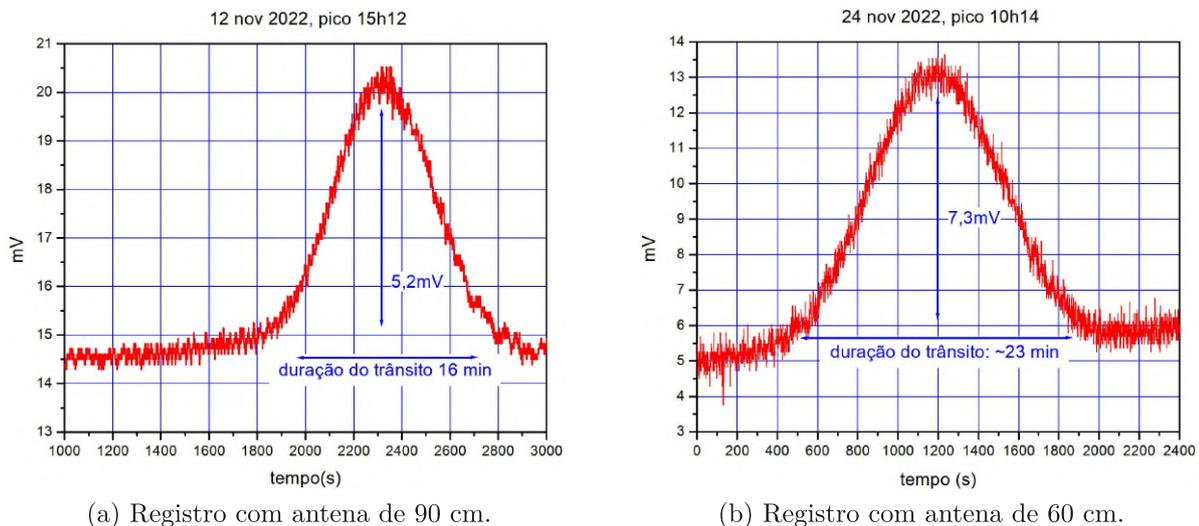


Figura 77 – Comparação de registros obtidos por duas antenas diferentes. Créditos: Autor.

Essa diferença nos tempos de trânsito se deve ao fato de a razão focal ser diferente nas duas antenas, como pode ser visto na tabela da [Figura 78](#). Razão focal (F/D), assim como nos telescópios ópticos, é o quociente entre a distância focal e o diâmetro do prato. Quanto maior o F/D maior o zoom no objeto, porém a quantidade de luz captada não aumenta em proporção, ela se espalha por uma área maior e a imagem fica mais tênue. A antena de 90 cm pode, em teoria, enxergar com mais zoom, porém, a quantidade de radiação captada se torna menor devido ao espalhamento. É como se fizéssemos zoom na imagem, mas sem aumentar a resolução. Em suma, a antena de 90 cm “visualiza” uma região menor do céu, enquanto na de 60 é o contrário, ela monitora uma região maior, o que implica que o Sol estará por mais tempo no seu campo visual⁸.

Para $\lambda = 25$ mm		
Diâmetro do prato (cm)	90	60
Distância focal	540 mm	390 mm
Razão focal F/D	0,7	0,65
Resolução teórica	1,94°	2,91°
Duração média do trânsito	16 min	23 min

Figura 78 – Detalhes técnicos das antenas utilizadas.
Créditos: Autor.

⁸ Leia mais em: <<https://skyandtelescope.org/astromy-blogs/imaging-foundations-richard-wright/how-focal-ratio-affects-your-astro-images/>>

Quanto ao nível de ruído detectado, nos dois testes apresentados tivemos uma diferença de aproximadamente 9 mV. Enquanto que com a antena de 90 cm o ruído oscilou entre 14,5 e 15 mV, na antena menor variou em torno de 5 e 6 mV. Imaginamos que isso se deve ao ganho em dBi da antena, que é uma maneira de medir a potência de uma antena em relação a outra de referência. Aqui, tomando a antena de 60 cm como referência, temos que o ganho de sinal em dBi, dado pela [Equação 3.1](#) em termos nível de ruído, é de 3,97 dBi quando usamos a antena de 90 cm.

$$G(dBi) = 10 \log \left(\frac{\text{ruído antena 90}}{\text{ruído antena 60}} \right) = 10 \log \left(\frac{15mV}{6mV} \right) = 3,97dBi \quad (3.1)$$

Para antenas de 60 cm, operando em 12,75 GHz, uma especificação comercial comum é 36 dBi, enquanto que para uma de 90 cm o ganho na mesma frequência é de 39,7 dBi⁹. A diferença entre elas é de 3,7 dBi a mais para a antena de 90 cm, o que é próximo do valor medido na comparação feita com a [Equação 3.1](#). Os valores dessa comparação não são muito precisos pois o ajuste de ruído de fundo antes da observação é feito à mão por meio de potenciômetro giratório e com base no apito emitido pelo Satfinder.

3.8 Considerações Finais

Podemos pensar em algumas questões que esse experimento desperta, como, por exemplo, como são construídas as imagens de objetos celestes na radioastronomia. No exemplo foi realizada uma varredura do céu numa única dimensão, representada pela curva de intensidade durante o trânsito solar frontal. Se dispuséssemos de uma antena motorizada, que pudesse executar um movimento de variação da altura, poderíamos em tese obter uma imagem do disco solar completo.

A operação do radiotelescópio didático ajuda a compreender como operam os grandes radiotelescópios pelo mundo, pois suas instruções de operação contemplam, de maneira simplificada, as etapas de captação, filtragem, amplificação e tratamento de dados, comuns em observações de pesquisa, tanto na faixa do rádio como nas demais frequências. Esse é um aspecto interessante, pois proporciona uma vivência prática do processo de observação do céu.

A Competência Específica 2 do Ensino Médio, descrita na Base Nacional Comum Curricular (BNCC), institui que o aluno deve ser capaz de discutir o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do universo, com base no conhecimento sobre as dinâmicas físicas da natureza, para contribuir, ao longo de sua vida, de forma responsável com a sociedade, fundamentando, tomando e defendendo decisões éticas e responsáveis.

⁹ Disponível em: <<https://www.centurybr.com.br/produtos/antena-banda-ku-century-60cm>>

A construção de um pequeno radiotelescópio é opção viável para desenvolver nos estudantes habilidades previstas na BNCC. Nesta proposta foi sugerido o uso de arduino, um *hardware* que permite fazer inúmeros experimentos e projetos de eletrônica e robótica, algo que pode ser bastante útil no desenvolvimento de habilidades técnicas e de programação pelos alunos.

Na BNCC temos, por exemplo, as habilidades EM13CNT203, EM13CNT204 e EM13CNT205, para o ensino médio, que tratam da necessidade dos alunos em fazer previsões sobre os movimentos de objetos do sistema solar e interpretações acerca dos dados obtidos em experimentos realizados por eles. Nesse experimento podem ser trabalhados, por exemplo, o entendimento do movimento aparente do Sol, a utilização de trigonometria e o cálculo do deslocamento angular de objetos no céu, com base no diâmetro de uma circunferência e duração do dia.

Na Competência Específica 3 para o ensino médio é dito que os alunos deverão aprender a avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico no mundo, além de comunicarem suas descobertas e conclusões ao público. Em vista disso, a utilização do experimento didático se enquadra também na habilidade EM13CNT302, que trata justamente da capacidade de comunicar resultados, análises e pesquisas, visando que os estudantes se tornem capazes de promoverem debates científicos relevantes para a sociedade, o que pode ser desenvolvido também por meio da apresentação de seus resultados com o experimento em feiras de ciências, um objetivo interessante, pois justificaria o tempo de preparação. Seria possível, por exemplo, relacionar as observações com a primeira foto do buraco negro de M87, algo que poderia ser promissor para desenvolver o interesse científico nos jovens e nas pessoas que assistissem à apresentação do grupo.

O monitoramento do clima espacial condiz bem com a habilidade EM13CNT306, visto que é importante compreender de que maneira as tecnologias contemporâneas impactam no seu cotidiano, quão seguro é ser dependente delas e como, por exemplo, uma grande tempestade solar, semelhante as do Evento Carrington, a de 1921 e a de 1989, podem interferir e inutilizar as redes de satélites, de telecomunicações e de energia elétrica. Não apenas tirando do ar redes sociais populares e a comunicação de dados via celular, mas expondo a população a sérios riscos de segurança.

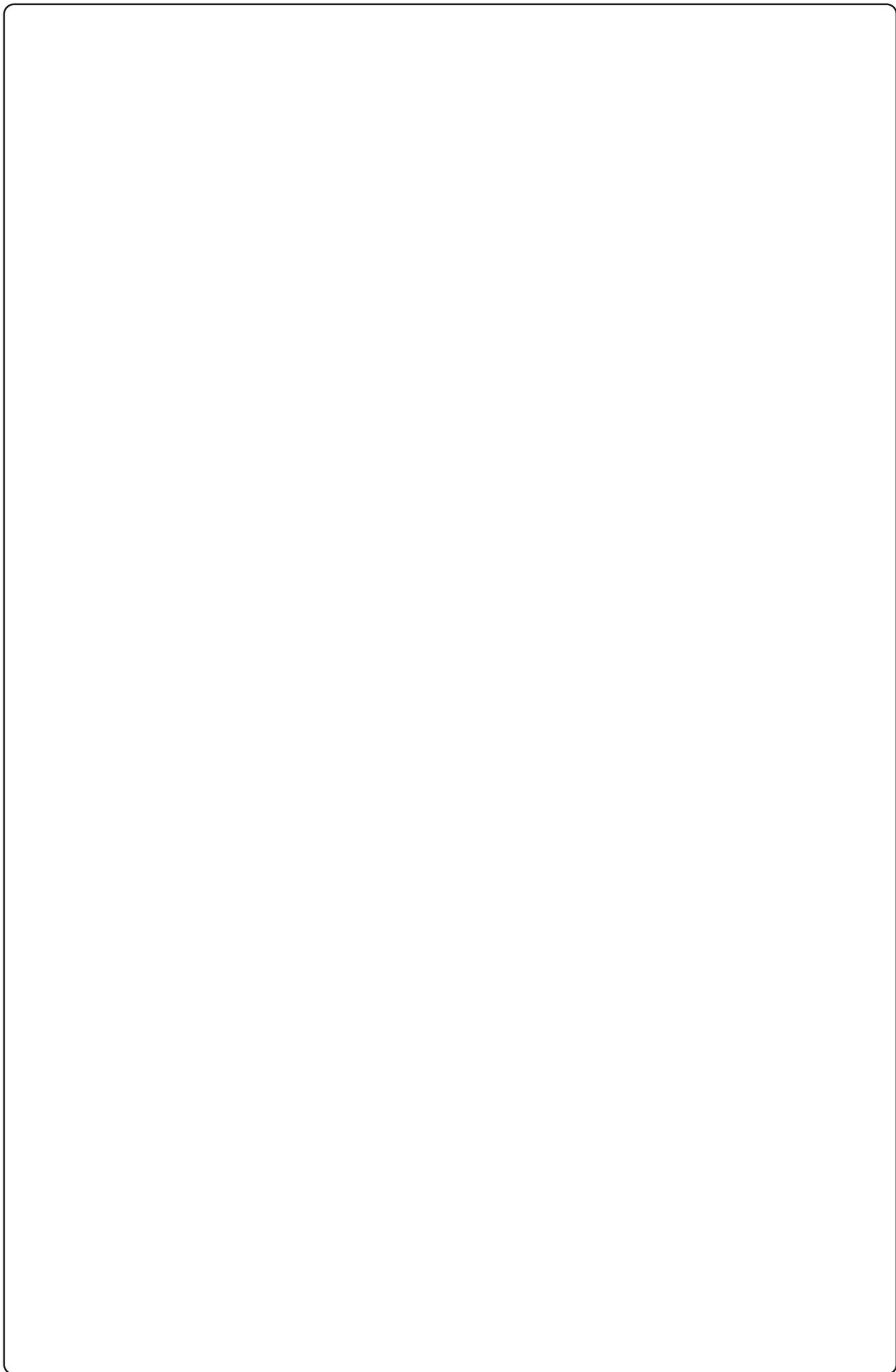
O desenvolvimento dessa atividade envolve muitas habilidades e conceitos, como astronomia de posição, coordenadas geográficas, movimento de rotação da Terra e radiação eletromagnética, além de aspectos de eletrônica que, dependendo do contexto, podem ser aprofundados ou não. Em relação ao manuseio da base durante o alinhamento, nos primeiros testes podemos ter um pouco de dificuldade devido ao desalinhamento dos componentes durante sua construção. O alinhamento do azimute depende da fixação da antena na base ter sido feita com precisão, além do uso de uma boa bússola.

Quanto aos materiais utilizados listados no [Apêndice A](#), propõe-se que sejam

recicladas antenas de banda Ku, cabos e receptores de TV, para reduzir os custos dos componentes. O arduino está na faixa de R\$ 51,00, o Satellite Finder R\$ 43,00, a fonte de 15 V R\$ 52,00 e os conectores R\$ 18,42, que na cotação atual do mercado, somados, está na faixa de R\$ 164,42.

Para o caso de escolas que já possuem arduino, esse custo poderia ser reduzido à faixa de R\$ 113,42. Também sugerimos reciclar receptores de TV, em vez de comprar a fonte de 15 V, o que poderia reduzir o custo total de R\$ 164,42 para aproximadamente R\$ 94,00, ou R\$ 43,00 no caso de a instituição já possuir arduino.

Este material foi pensado para servir de apoio aos professores de ciências, que não tendo a oportunidade de terem contato com a radioastronomia durante sua graduação, podem, com esse material, disponibilizado como um Recurso Educacional Aberto, desenvolver uma atividade com potencial motivador nos estudantes.



Referências

- 1 LATTARI, C. J. B.; TREVISAN, R. H. Radioastronomia: noções iniciais para o ensino médio e fundamental como ilustração de aula. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 18, n. 2, p. 229–239, 08 2001. ISSN 2175-7941. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6682>>. Citado na página 7.
- 2 FERNANDES, K. C. *CONSTRUÇÃO DE UM RADIOTELESCÓPIO AMADOR EM MICROONDAS 12 GHz, DOTADO DE UM SISTEMA AUTOMÁTICO DE AQUISIÇÃO DE DADOS*. 27 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) — UNIVERSIDADE CATÓLICA DE BRASÍLIA, Brasília, DF, 2007. Citado na página 7.
- 3 CASTRO, M. T. de; SILVA, M. Q. da; BRITO, A. C. de. Montagem e utilização de um radiotelescópio amador utilizando arduíno para o estudo de sinais emitidos do espaço. In: . Campina Grande: Realize Editora, 2017. ISSN 2594-8318. Disponível em: <<https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/49952>>. Acesso em: 28 nov 2023. Citado na página 7.
- 4 ARAÚJO, M. L. *Simuladores experimentais de radiotelescópios para o ensino de astronomia no nível médio*. Dissertação (Mestrado), 2017. DEPARTAMENTO DE FÍSICA. Disponível em: <<http://tede2.uefs.br:8080/handle/tede/tede/644>>. Citado na página 7.
- 5 PINTO, C. H.; ARANHA, N. Construção de radiotelescópio para análise de micro-ondas solares em 12 ghz. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, scielo, v. 40, 00 2018. ISSN 1806-1117. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172018000200412&nrm=iso>. Citado na página 7.
- 6 SILVA, R. A. F. da; CAVALCANTE, I. P.; CORRÊA, H. P. S. Space weather interference in earth communications and construction of a small-scale radio telescope for sun observation in radio waves using arduino. *Physics Education*, IOP Publishing, v. 55, n. 6, p. 065018, sep 2020. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.1088/1361-6552/abad11>>. Citado na página 7.
- 7 BRASIL. *Base Nacional Comum Curricular*. Brasília, DF: Ministério da Educação, 2018. Citado na página 8.
- 8 MOURA, B. A. Newton versus huygens: como (não) ocorreu a disputa entre suas teorias para a luz. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), v. 33, n. 1, p. 111–141, 2016. ISSN 1677-2334. Citado na página 10.
- 9 OLIVEIRA, R. A. de; SILVA, A. P. B. da. William herschel, os raios invisíveis e as primeiras ideias sobre radiação infravermelha. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 36, n. 4, p. 4603, 2014. ISSN 1806-9126. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1806-11172014000400022>>. Acesso em: 25 dez 2021. Citado 2 vezes nas páginas 12 e 15.
- 10 SOCIETY, F. *Linhas Fraunhofer*. 2021. Fraunhofer Society. Disponível em: <<https://www.fraunhofer.de/en/about-fraunhofer/profile-structure/chronicles/joseph-von-fraunhofer.html#699780216>>. Acesso em: 08 dez 2021. Citado na página 13.

- 11 LEITNER, A. The life and work of Joseph Fraunhofer (1787-1826). *American Journal of Physics*, v. 43, n. 1, p. 59–68, 1975. Disponível em: <<https://doi.org/10.1119/1.9998>>. Citado na página 13.
- 12 CACERES, C. A. L. *Bunsen, Robert Wilhelm Eberhardt (1811-1899)*. 2021. Faculdade de Engenharia Mecânica - UNICAMP. Disponível em: <<http://www.fem.unicamp.br/~em313/paginas/person/bunsen.htm>>. Acesso em: 23 dez 2021. Citado na página 13.
- 13 FILHO, K. de S. O.; SARAIVA, M. de F. O. *Espectroscopia*. 2020. Departamento de Astronomia do Instituto de Física - UFRGS. Disponível em: <<http://astro.if.ufrgs.br/rad/espec/espec.htm>>. Acesso em: 08 dez 2021. Citado na página 15.
- 14 MILLER, D. F. Basics of radio astronomy: For the Goldstone-Apple Valley Goldstone-Apple Valley Radio Telescope. Jet Propulsion Laboratory, California, EUA, 1998. Disponível em: <<http://www.jpl.nasa.gov/radioastronomy>>. Citado na página 17.
- 15 ESA. *The European Space Agency's Herschel Space Observatory*. 2019. Disponível em: <<http://sci.esa.int/herschel/>>. Acesso em: 21 set 2023. Citado na página 17.
- 16 BRITANNICA, T. E. of E. *Karl Jansky*. 2023. Encyclopedia Britannica. Disponível em: <<https://www.britannica.com/biography/Karl-Jansky>>. Acesso em: 21 set 2023. Citado na página 19.
- 17 BRITANNICA, T. E. of E. *Grote Reber*. 2022. Encyclopedia Britannica. Disponível em: <<https://www.britannica.com/biography/Grote-Reber>>. Acesso em: 21 set 2023. Citado na página 19.
- 18 AQUINO, P. V. P. d. Introdução à radioastronomia solar. João Pessoa, PB, 2013. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/241019434/Radio-Parte-1>>. Citado na página 19.
- 19 (ESO), E. S. O. *Manual de Radioastronomia, ALMA na Escola*. 2019. Disponível em: <<https://www.cac.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/30/2019/10/Projeto-ALMA-agosto-2019.pdf>>. Citado na página 23.
- 20 JÁCOME, H.; ECHER, E.; MARQUES, M. Uma introdução à interação eletrodinâmica entre Júpiter e os satélites galileanos. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, Sociedade Brasileira de Física, v. 45, p. e20220278, 2023. ISSN 1806-1117. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2022-0278>>. Citado na página 24.
- 21 SHOSTAK, S. *A Primer on SETI at the SETI Institute*. 2021. Disponível em: <<https://www.seti.org/primer-seti-seti-institute>>. Acesso em: 21 set 2023. Citado na página 24.
- 22 CAPOZZOLI, U. *No Reino dos Astrônomos Cegos*. 1. ed. Record, 2005. ISBN 9788501072597. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=XwojQAAACAAJ>>. Citado na página 26.
- 23 PIASSI, L. P. et al. *Literatura e cinema no ensino de física: interfaces entre a ciência e a fantasia*. 1. ed. São Paulo, SP: Ed. Livraria da Física, 2017. (Coleção professor inovador). ISBN 978-85-7861-503-1. Citado na página 26.

- 24 NASA. *SDO - Solar Dynamics Observatory: A guide to the mission and purpose of nasa's solar dynamics observatory*. 2009. Disponível em: <<https://sdo.gsfc.nasa.gov/mission/spaceweather.php>>. Acesso em: 21 set 2023. Citado na página 27.
- 25 SOLARSTORMS.ORG. *May 13, 1921 - The New York Railroad Storm*. 1921. Disponível em: <<http://www.solarstorms.org/SS1921.html>>. Acesso em: 21 set 2023. Citado na página 29.
- 26 HYDRO-QUÉBEC. *Le Québec a Subi en Mars 1989 une Panne Générale d'Électricité par suite d'une Tempête Solaire*. Montreal, Canadá: [s.n.], 1989. Disponível em: <<http://www.hydroquebec.com/comprendre/notions-de-base/tempete-mars-1989.html>>. Acesso em: 21 set 2023. Citado na página 29.
- 27 COUNCIL, N. R. *Severe Space Weather Events—Understanding Societal and Economic Impacts: A Workshop Report: Extended Summary*. Washington, DC: The National Academies Press, 2009. ISBN 978-0-309-13811-6. Disponível em: <<https://www.nap.edu/catalog/12643/severe-space-weather-events-understanding-societal-and-economic-impacts-a>>. Citado na página 29.

APÊNDICE A – Lista de Materiais

Tabela 1 – Lista de componentes.

ITEM	DESCRIÇÃO	VALOR (R\$)	DETALHES	
1	1x Antena offset	125,00	Antena comum utilizada para TVs via satélite.	
2	1x LNB	19,02	LNB para banda Ku.	
3	1x Arduino	51,00	Placa de prototipagem baseada em arduino (sugestão Arduino Mega 2560).	
4	1x Satellite Finder (SatFinder)	43,00	Dispositivo analógico de medir sinal de satélites. Tensão de alimentação CC: 13 - 18 V.	
5*	1x Fonte chaveada 15 V	52,00	Corrente: 1 A. Tensão de alimentação bivolt: 127/220 V.	
6*	1x Conector P4 fêmea com borne para fonte	0,79	Deve ser comprado junto com a fonte para testar o encaixe.	
7*	1x Adaptador RCA fêmea x F coaxial macho	15,99	Encontrado em lojas de eletrônica e antenas.	
8*	1x Conector RCA macho padrão europeu com borne	1,64	Encontrado em lojas de eletrônica e antenas.	
9	1x Cabo coaxial	18,90	Um completo de 5 m para ligar a antena ao Satélite Finder.	
10	1x Microcomputador	–	Sistemas Linux ou Windows.	
	TOTAL	327,34		

* Componentes que podem ser dispensados caso se opte por usar um receptor de televisão comercial, assim como descrito na [subseção 2.3.1](#).

APÊNDICE B – Tabela de Observação em Branco

Observação	Alvo	Data	Localização		Fuso local
		/ /	Lat: ° ' "	Lon: ° ' "	

Coordenadas do alvo		Correção	Diferença	Hora de início	
Azimute:					
Altura:		--			

	posição gráfica	tempo decorrido	intensidade	horário	tempo UTC	Diferença do previsto
Pico Previsto		min	mV			
pico detectado		min	mV			
Início do trânsito:		min	mV			Duração do trânsito
Fim do trânsito:		min	mV			
Início da coleta:		Variação de intensidade:	mV			

Figura 79 – Tabela para observação do trânsito.
Créditos: Autor.