



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA
Departamento de Física
Programa de Pós-Graduação em Astronomia



MARCOS SILVA ARAUJO

**ENSINO DE ASTRONOMIA NA EDUCAÇÃO PROFISSIONAL
E SUPERIOR POR MEIO DE KIT DIDÁTICO BASEADO EM
SEGUIDOR SOLAR.**

Feira de Santana-Bahia
2024

MARCOS SILVA ARAUJO

**ENSINO DE ASTRONOMIA NA EDUCAÇÃO PROFISSIONAL
E SUPERIOR POR MEIO DE KIT DIDÁTICO BASEADO EM
SEGUIDOR SOLAR.**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Astronomia – Mestrado Profissional, Departamento de Física, Universidade Estadual de Feira de Santana, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Astronomia.

Orientador: Prof. Dr. Germano Pinto Guedes

Feira de Santana
2024

Ficha Catalográfica – Biblioteca Central Julieta Carteado

A69e Araújo, Marcos Silva
Ensino de Astronomia na educação profissional e superior por meio de kit didático baseado em seguidor solar./ Marcos Silva Araújo, 2024.
196 f.: il.

Orientador: Germano Pinto Guedes

Dissertação (mestrado profissional) – Universidade Estadual de Feira de Santana. Programa de Pós-Graduação em Astronomia, 2024.

1.Ensino de Astronomia. 2.Seguidor solar. 3.Aprendizagem Baseada em Projetos. I.Guedes, Germano Pinto, orient. II.Universidade Estadual de Feira de Santana. III.Título.

CDU : 521/525(07)

Maria de Fátima de Jesus Moreira - Bibliotecária - CRB-5/1120



ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

CANDIDATO (A): MARCOS SILVA ARAUJO
DATA DA DEFESA: 19 de agosto de 2024 LOCAL: Sala 03 do LABOFIS
HORÁRIO DE INÍCIO: 16:05

MEMBROS DA BANCA	FUNÇÃO	TÍTULO	INSTITUIÇÃO DE ORIGEM
NOME COMPLETO			
GERMANO PINTO GUEDES	Presidente	DR	UEFS
NAZARENO GETTER FERREIRA DE MEDEIROS	Membro Interno	DR	UEFS
KILDER LEITE RIBEIRO	Membro Externo	DR	UFRB

TÍTULO DEFINITIVO DA DISSERTAÇÃO*:

ENSINO DE ASTRONOMIA NA EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E SUPERIOR POR MEIO DE KIT DIDÁTICO BASEADO EM SEGUIDOR SOLAR.

*Anexo: produto(s) educacional(is) gerado(s) neste trabalho.

Em sessão pública, após exposição de 45 min, o(a) candidato(a) foi argüido(a) oralmente pelos membros da banca, durante o período de 31 min. A banca chegou ao seguinte resultado**:

- APROVADO(A)
 INSUFICIENTE
 REPROVADO(A)

** Recomendações¹: Os membros da banca vão enviar as recomendações e sugestões de mudanças.

Na forma regulamentar, foi lavrada a presente ata, que é abaixo assinada pelos membros da banca, na ordem acima relacionada, pelo candidato e pelo coordenador do Programa de Pós-Graduação em Astronomia da Universidade Estadual de Feira de Santana.

Feira de Santana, 19 de agosto de 2024

Presidente: [Assinatura]

Membro 1: [Assinatura]

Membro 2: [Assinatura]

Membro 3: [Assinatura]

Candidato (a): Marcos Silva Araujo

Coordenador do PGAstro: [Assinatura]

¹ O aluno deverá encaminhar à Coordenação do PGAstro, no prazo máximo de 60 dias a contar da data da defesa, os exemplares definitivos da Dissertação, após realizadas as correções sugeridas pela banca.



**ANEXO DA ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO:
PRODUTO(S) EDUCACIONAL(IS) GERADO(S) NO TRABALHO FINAL DE CURSO**

CANDIDATO (A): MARCOS SILVA ARAUJO

DATA DA DEFESA: 19 de agosto de 2024 **LOCAL:** Sala 03 do LABOFIS

HORÁRIO DE INÍCIO: 16:05

SEGUIDOR SOLAR - GUIA DE ATIVIDADES PRÁTICAS COM SEGUIDORES SOLARES PARA O ENSINO PROFISSIONAL E SUPERIOR POR MEIO DA APRENDIZAGEM BASEADA EM PROJETOS.

Feira de Santana, 19 de agosto de 2024.

Presidente: [Handwritten Signature]

Membro 1: [Handwritten Signature]

Membro 2: [Handwritten Signature]

Membro 3: _____

Candidato (a): Marcos Silva Araujo

Coordenador do PGAstro: [Handwritten Signature]

A Deus, o Criador do Universo, cujo poder guia meus passos através da luz do conhecimento.

Ao meu querido filho Joaquim, minha fonte inesgotável de alegria e inspiração.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a todos que tornaram esta jornada possível e enriquecedora:

À minha esposa Ana Caroline e meu filho Joaquim, por serem minha fonte constante de amor, apoio e inspiração.

À minha mãe Maria Helena, cujo amor incondicional e incentivo foram fundamentais em cada passo deste caminho.

Aos meus irmãos Renato e Danilo, pelo suporte e encorajamento ao longo de toda esta trajetória.

Ao meu orientador Germano Pinto Guedes, pela orientação excepcional, pelos desafios estimulantes e pela dedicação em meu desenvolvimento acadêmico e profissional.

Aos meus colegas da 9^a turma do MPAstro, pelos momentos compartilhados, pelo apoio mútuo e pela colaboração durante todo o curso.

A todos os professores do programa, cujo conhecimento, orientação e comprometimento foram fundamentais para minha formação e crescimento.

Cada um de vocês desempenhou um papel fundamental neste percurso, e sou imensamente grato por tudo que contribuíram para minha jornada.

Com sincera gratidão.

*“Somos uma maneira do cosmos se
conhecer..”*

– Carl Sagan

RESUMO

A proposta deste trabalho é incentivar o ensino de Astronomia nos níveis de Ensino Profissional e Superior por meio do desenvolvimento de um Guia de Atividades Práticas para a construção de um kit didático baseado em seguidores solares. Esses seguidores solares, utilizados para otimizar a conversão de energia solar ao direcionar painéis fotovoltaicos, coletores parabólicos e sensores como pireliômetros, para o monitoramento dos parâmetros solares ao longo da trajetória aparente do Sol. A introdução desses kits no ambiente educacional permitirá que os alunos adquiram conhecimentos interdisciplinares em Astronomia, eletrônica e programação. A metodologia de ensino adotada é a Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP), uma estratégia pedagógica que envolve os alunos na resolução de problemas reais, estimulando a criatividade, a colaboração e o pensamento crítico. A pesquisa busca entender os impactos desses kits didáticos nas experiências de aprendizado dos alunos, explorando suas percepções, motivações e aquisição de conhecimento em sala de aula. O estudo foca em dois públicos-alvo: alunos do curso de Engenharia da Computação da Universidade Salvador (UNIFACS) e alunos do Ensino Profissional em Eletromecânica e Eletrotécnica do Centro Estadual de Educação Profissional Áureo de Oliveira Filho (CEEP), ambos em Feira de Santana-BA.

Palavras-chave: Ensino de Astronomia, Seguidor solar, Aprendizagem Baseada em Projetos.

ABSTRACT

The purpose of this work is to encourage the teaching of Astronomy at the Professional and Higher Education levels through the development of a Practical Activities Guide for the construction of an educational kit based on solar trackers. These solar trackers, used to optimize solar energy conversion by directing photovoltaic panels, parabolic collectors, and sensors such as pyrhelimeters, monitor solar parameters along the Sun's apparent path in the sky. Introducing these kits into the educational environment will allow students to acquire interdisciplinary knowledge in Astronomy, electronics, and programming. The adopted teaching methodology is Project-Based Learning (PBL), a pedagogical strategy that engages students in solving real-world problems, fostering creativity, collaboration, and critical thinking. The research aims to understand the impact of these educational kits on students' learning experiences, exploring their perceptions, motivations, and knowledge acquisition in the classroom. The study focuses on two target groups: students from the Computer Engineering course at Universidade Salvador (UNIFACS) and students from the Professional Education in Electromechanics and Electrotechnics at the Centro Estadual de Educação Profissional Áureo de Oliveira Filho (CEEP), both located in Feira de Santana, BA.

Keywords: Astronomy Education, Solar Tracker, Project-Based Learning.

LISTA DE FIGURAS

1.1	Movimento de revolução da Terra em Torno do Sol. . .	22
1.2	Movimento aparente do Sol visto por um observador no hemisfério sul.	23
2.1	Espectro da Radiação Solar.	29
2.2	Componentes da Irradiância Solar.	31
2.3	Transmitância atmosférica em função do comprimento de onda e as chamadas “janelas” atmosféricas.	34
2.4	Decaimento da intensidade da radiação solar direta: Influência da absorção em meios transmissivos.	37
2.5	Avermelhamento do céu no pôr do Sol causado pelo espalhamento Rayleigh	40
2.6	Média Anual do Total Diário da Irradiação direta Normal no Brasil.	42
2.7	Principais linhas imaginárias do planeta Terra	46
2.8	Sistema de coordenadas Horizontais	48
2.9	Trajetória Solar no applet 3D Sun Path para localização na Cidade de Feira de Santana-BA.	49
2.10	Sistema de Coordenadas Equatoriais Celestes.	51
2.11	Representação de um Relógio de Sol.	54
2.12	Alteração do comprimento da sombra de uma haste durante o ano.	55
2.13	Funcionamento do Seguidor Solar Passivo.	57
2.14	Seguidores solares ativos: a) de eixo horizontal, b) de eixo vertical, c) polar de eixo único, d) de dois eixos, e e) de plataforma rotativa de dois eixos.	61

2.15	Comparação do ganho fotovoltaico entre painéis fixos e com seguidor solar.	63
2.16	Concentradores parabólicos acoplados a seguidores solares.	65
2.17	Heliógrafo de Campbell-Stokes.	68
2.18	Actinógrafo.	69
2.19	Piranômetro.	70
2.20	Pireliômetro.	71
2.21	Sistemas para sombreamento do piranômetro utilizados na aquisição de dados de radiação difusa: anel de sombreamento (a) e esfera de sombreamento com rastreador solar (b).	74
2.22	Fotômetro Solar.	75
2.23	Espectrorradiômetro.	76
2.24	Distribuição espectral da energia solar ao nível do mar (radiação global) e acima da atmosfera terrestre (extra-terrestre), e principais gases absorvedores da radiação solar.	78
2.25	Imageador All Sky.	80
2.26	Imageador All Sky Operando em um Seguidor Solar com Esferas Sombreadoras.	81
3.1	Centro Estadual de Educação Profissional Áureo de Oliveira Filho.	90
3.2	Universidade Salvador-UNIFACS.	91
4.1	Gráficos de Azimute e Elevação (NOAA, Blanco-muriel e Reda- Andreas.	104
4.2	Adaptador Pan/Tilt para Micro Servos.	105
4.3	ESP-32 DOIT DevKit V1.	106
4.4	Plataforma Digital Servo FPV Drone Track.	109
4.5	Deslocamento da Sombra.	110
4.6	Relógio Solar Confeccionado.	111
4.7	Dados coletados do Relógio do Sol para a data 10/12/2023.	112

4.8	Comparação dos dados de azimute e altura do Gnômon com os Algoritmos	113
4.9	Erros de Azimute e Altura do Gnômon em Relação aos Algoritmos.	114
4.10	Comparação dos dados do Gnômon com os Algoritmos .	115
4.11	Minicâmera acoplada ao seguidor solar.	116
4.12	Filmagem realizada das 9 às 16h na data de 28/02/2024.	117
4.13	Aula de Introdução.	120
4.14	Controle de posição angular de um motor servo	122
4.15	Controle de rotação de um motor de passo.	122
4.16	Controle de rotação de um motor de passo.	123
4.17	Controle de rotação de um motor de passo.	123
4.18	Aulas Práticas em Laboratório.	124
4.19	Construção de Seguidores Solares em Laboratório.	125
4.20	Projeto do Seguidor Solar para Painéis Fotovoltaicos e Cuba Heliotérmica.	126
4.21	Árvore de Natal com iluminação LED, alimentada por bateria conectada a um sistema de rastreamento da posição solar.	128
4.22	Forno Solar desenvolvido pela equipe 1.	129
4.23	Sistema de geração fotovoltaico desenvolvido pela equipe 3.	130
4.24	Radiotelscópio amador desenvolvido pela equipe 4.	131
4.25	Imageador solar desenvolvido pela equipe 5.	132
4.26	Apresentação das Equipes na Semana de Inovação da UNIFACS.	133
4.27	Montagem de Bases para Seguidores Solares.	137
4.28	Experimentos Práticos.	137
4.29	Costrução dos Artefatos.	138
4.30	Protótipos Iniciais.	139
4.31	Protótipos Construído na Oficina.	140
4.32	Alunos na Feira de Ciências, Empreendedorismo e Inovação da Bahia.	141

4.33	Premiação recebida por uma das equipes no FECIBA.	142
4.34	Aulas em simuladores de circuitos elétricos.	144
4.35	Aulas práticas na oficina do CEEP.	145
4.36	Fabricação de peças para acoplamento do motor a base do seguidor solar.	146
4.37	Instalação de instrumentos eletroeletrônicos.	147
4.38	Ajustes finais do protótipo.	149
4.39	Divulgação do protótipo desenvolvido para alunos, pro- fessores e funcionários do CEEP Áureo Filho.	151
5.1	Distribuição das respostas dos alunos de Engenharia da Computação sobre seguidores solares.	154
5.2	Distribuição dos desafios técnicos enfrentados pelos alunos.	156
5.3	Impacto pessoal do projeto sobre os alunos.	157
5.4	Análise das questões de 1 a 9 do questionário.	164
5.5	Análise da questão 10 do questionário.	167
6.1	Capa do Produto Educacional.	170

LISTA DE TABELAS

2.1	Principais Processos Físicos em que se Baseiam Sensores de Radiação Solar	66
2.2	Algoritmos para o Cálculo da Posição do Sol	84
3.1	Termos e definições da Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP)	96
4.1	Especificações Técnicas do Micro Servo Motor Tower Pro 9g Sg90.	106
4.2	Especificações do Modelo ESP-32 DOIT DevKit V1.	107
4.3	Termos e definições da Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP)	119
4.4	Termos e definições da Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP) para o Ensino Profissional Integrado ao Ensino Médio	135
5.1	Análise do Conhecimento dos Alunos sobre Astronomia	158
5.2	Questionário sobre a Integração de Astronomia no Ensino Profissional	161

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	25
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	28
2.1	TRANSMISSÃO ATMOSFÉRICA	30
2.1.1	Lei de Beer-Bouguer-Lambert	35
2.1.2	Espalhamento Rayleigh e Espalhamento Mie	38
2.1.3	Irradiação Solar no território Brasileiro	41
2.2	COORDENADAS DA POSIÇÃO DO SOL	44
2.2.1	Coordenadas Geográficas	45
2.2.2	Coordenadas Horizontais	46
2.2.3	Coordenadas Equatoriais Celestes	50
2.2.4	Coordenadas Equatoriais Horárias	52
2.3	RELÓGIO DE SOL	52
2.4	SEGUIDOR SOLAR	55
2.4.1	Seguidor Solar Passivo	56
2.4.2	Seguidor Solar Ativo	57
2.4.3	Ganho Fotovoltaico	61
2.4.4	Ganho Heliotérmico	64
2.5	INSTRUMENTOS SOLARIMÉTRICOS	65
2.5.1	Heliógrafo e Actinógrafos	67
2.5.2	Piranômetros, Pireliômetros e Fotômetro Solar	70
2.5.3	Espectrorradiômetros	75
2.5.4	Imageador do Céu	79

2.6	ALGORITMOS PARA CÁLCULO DA POSIÇÃO DO SOL	82
3	METODOLOGIA	87
3.1	TIPO DE PESQUISA	87
3.2	LOCAL DE EXECUÇÃO DA PESQUISA	89
3.3	DEFINIÇÃO DO PÚBLICO-ALVO	92
3.4	METODOLOGIA DE INTERVENÇÃO DIDÁTICA .	94
3.4.1	Planejamento da Aprendizagem Baseada em Projetos	97
4	ATIVIDADES REALIZADAS	102
4.1	PREPARAÇÃO E PESQUISA PARA ATIVIDADES EM SALA DE AULA	102
4.1.1	Simulação Computacional dos Algoritmos de Rastreamento da Posição Solar	103
4.1.2	Montagem do Protótipo Inicial	105
4.1.3	Montagem do 2º Protótipo	108
4.1.4	Coleta de Dados com o Relógio Solar	109
4.1.5	Filmagem do Sol utilizando o protótipo do seguidor solar	115
4.2	ATIVIDADES REALIZADAS NO ENSINO SUPERIOR	117
4.3	ATIVIDADES REALIZADAS NO ENSINO PROFISSIONAL INTEGRADO	134
4.4	ATIVIDADES REALIZADAS NO ENSINO PROFISSIONAL SUBSEQUENTE	142
5	RESULTADOS	152
5.1	RESULTADOS NO ENSINO SUPERIOR	152
5.2	RESULTADOS NO ENSINO PROFISSIONAL INTEGRADO E SUBSEQUENTE	157
6	PRODUTO EDUCACIONAL	169

7 CONCLUSÃO	171
7.1 TRABALHOS FUTUROS	172
REFERÊNCIAS	173
APÊNDICE A-GRÁFICOS	177
APÊNDICE B-QUESTIONÁRIO ENSINO SUPERIOR	192
APÊNDICE C-QUESTIONÁRIO ENSINO PROFISSIONAL	193

INTRODUÇÃO

A matriz energética de um país é caracterizada pela exploração de seus recursos naturais, incluindo petróleo e seus derivados, etanol, biodiesel, e as energias renováveis, como a hídrica, eólica, solar, das marés e das ondas. Entre as diversas alternativas renováveis analisadas, a energia solar emerge como uma opção notável para enriquecer a matriz energética do Brasil, especialmente ao considerar o Sol como uma fonte praticamente inesgotável de energia, ponderando a escala temporal da Terra e os padrões globais de consumo energético (Souza, 2016).

Dentro das salas de aula, a discussão sobre energia solar, ganha crescente relevância, transcendendo fronteiras disciplinares. Destaca-se, a interseção desse tema com a Astronomia, oferecendo uma abordagem que enriquece a compreensão dos alunos ao proporcionar uma visão mais ampla e contextualizada dos fenômenos celestes e sua relação com a captação de energia.

No cenário educacional atual, em meio à adaptação à Base Nacional Comum Curricular (BNCC) de 2018, os conteúdos são estruturados por áreas do conhecimento. Notavelmente, no Ensino Médio, o tema “Fontes de energia” está integrado à área de Ciências da Natureza na BNCC.

Avaliar tecnologias e possíveis soluções para as demandas que envolvem a geração, o transporte, a distribuição e o consumo de energia elétrica, considerando a disponibilidade de recursos, a eficiência energética, a relação custo/benefício, as características geográficas e ambientais, a produção de resíduos e os impactos socioambientais (Brasil, 2018, p. 541)

O tema “Fontes de Energia” abrange aspectos que vão além do Ensino Fundamental e Médio, sendo também relevante para cursos técnicos como Eletrotécnica e Eletromecânica, que formam profissionais capacitados em Mecânica, Eletrônica e Eletricidade. A integração com conceitos de Astronomia, como o estudo do movimento do Sol, pode enriquecer o ensino dessas áreas ao demonstrar como o conhecimento sobre a posição solar é fundamental para otimizar sistemas de geração de energia solar, além de ilustrar a interdependência entre ciência e tecnologia na prática profissional.

Ao estudar a energia solar, por exemplo, é possível relacionar esse conhecimento com fenômenos celestes, como a posição do Sol no céu e sua influência direta na geração de energia fotovoltaica, além da interação da radiação solar com a atmosfera terrestre, que impacta a eficiência desses sistemas

Nos cursos de nível superior da área ambiental, elétrica, dentre outros, o Ministério da Educação (MEC) (2010) define para cada curso de Engenharia os Referenciais de Curso, contendo as diretrizes que devem ser seguidas por todos os cursos de Engenharia no Brasil. Para o curso de Engenharia Elétrica, por exemplo, o Referencial apresenta nas definições de perfil do egresso a atuação profissional na elaboração de projetos e estudos de conservação e efficientização de

energia, utilização de fontes alternativas e renováveis, nas áreas de atuação a habilitação para trabalhar com as fontes alternativas e renováveis de energia e na infraestrutura recomendada consta laboratórios específicos para este fim.

Projetos educacionais podem ser implementados em todos os níveis de ensino, desde o início da educação básica até o ensino superior. Bacich e Holanda (2020) afirmam que a característica essencial do trabalho com projetos é que ele deve ser uma parte integrante da rotina dos alunos, abordando temas que sejam familiares a eles, isso garante que os tópicos abordados no ambiente educacional estejam diretamente relacionados com as experiências diárias dos estudantes, tornando o aprendizado mais significativo e relevante.

Os kits didáticos representam recursos alternativos para a introdução e assimilação de novas tecnologias. Podem abranger produtos eletrônicos, hardwares ou softwares, servindo como ferramentas didáticas que facilitam a exploração de conteúdos teóricos e a realização de atividades experimentais em áreas diversas, como Física, Eletrônica, Automação e Programação. Reconhecendo a incontestável importância das atividades experimentais no desenvolvimento acadêmico, especialmente para estudantes do nível médio ao superior, esta pesquisa fundamenta-se na construção de aparatos destinados a aprimorar a experimentação dos conceitos de Astronomia ministrados em sala de aula.

É importante destacar que não se trata de aprender teoria e prática separadamente, mas sim de integrá-las de maneira coesa no processo de ensino e aprendizagem, nesse sentido, a Aprendizagem

Baseada em Projetos (ABP) emerge como uma solução eficaz pois coloca o aluno no centro do processo de aprendizagem, enquanto o professor atua como um facilitador, assim, a ABP permite que os alunos apliquem seus conhecimentos teóricos em projetos práticos, construindo uma ponte sólida entre teoria e prática, preparando-os de forma mais eficaz para sua futura carreira.

Desta forma, justifica-se o desenvolvimento de um Guia de Atividades Práticas como produto educacional deste trabalho, que servirá para a construção de kits didáticos baseados no rastreamento do movimento aparente do Sol, comumente chamados de Seguidores Solares. Esses dispositivos são projetados para otimizar o aproveitamento da energia solar, ajustando a posição de painéis fotovoltaicos ou coletores parabólicos solares para garantir a incidência perpendicular da radiação solar. Além disso, são essenciais no estudo e monitoramento de parâmetros solares, sendo frequentemente associados a instrumentos como pireliômetros, piranômetros, imageadores, espectrorradiômetros e radiotelescópios.

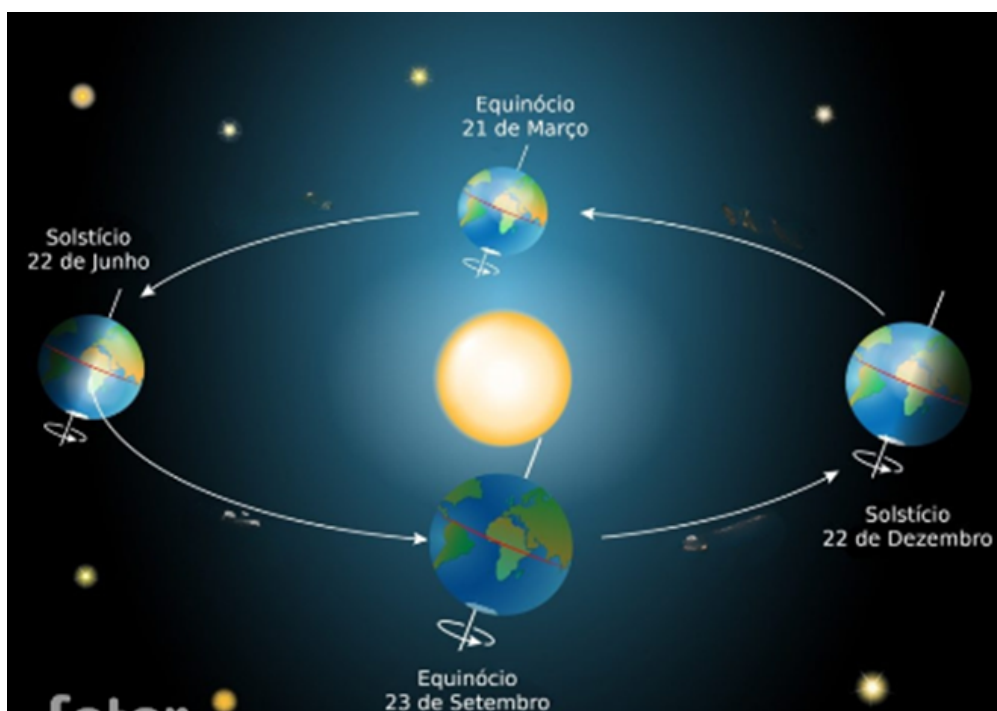
Ao realizar sua revolução em torno do Sol, a Terra percorre uma trajetória elíptica em um plano inclinado em relação ao equador, resultante da inclinação axial do planeta. Este movimento acarreta o desvio do plano norte-sul geográfico em relação ao campo magnético terrestre, conforme ilustrado na Figura 1. Essa órbita em torno do Sol origina quatro posições-chave – dois equinócios e dois solstícios – marcando a transição para novas estações do ano.

As variações sazonais entre os hemisférios Norte e Sul resultam da inclinação do eixo de rotação da Terra em relação à sua órbita

cerca de $23,5^\circ$, conhecida como obliquidade, que pode ser observado na Figura 1. O movimento de revolução da Terra se desdobra em quatro momentos fundamentais, compreendendo dois equinócios e dois solstícios, marcadores do início das quatro estações do ano.

Os equinócios, manifestados em março e setembro, caracterizam-se pelo equilíbrio na duração dos dias em ambos os hemisférios, indicando o início do outono e primavera, respectivamente, no hemisfério Sul. Os solstícios, nos meses de junho e dezembro, assinalam os momentos em que a Terra atinge sua inclinação máxima de $23,5^\circ$ para o Norte ou Sul, demarcando o início do inverno e verão, respectivamente, no hemisfério Sul.

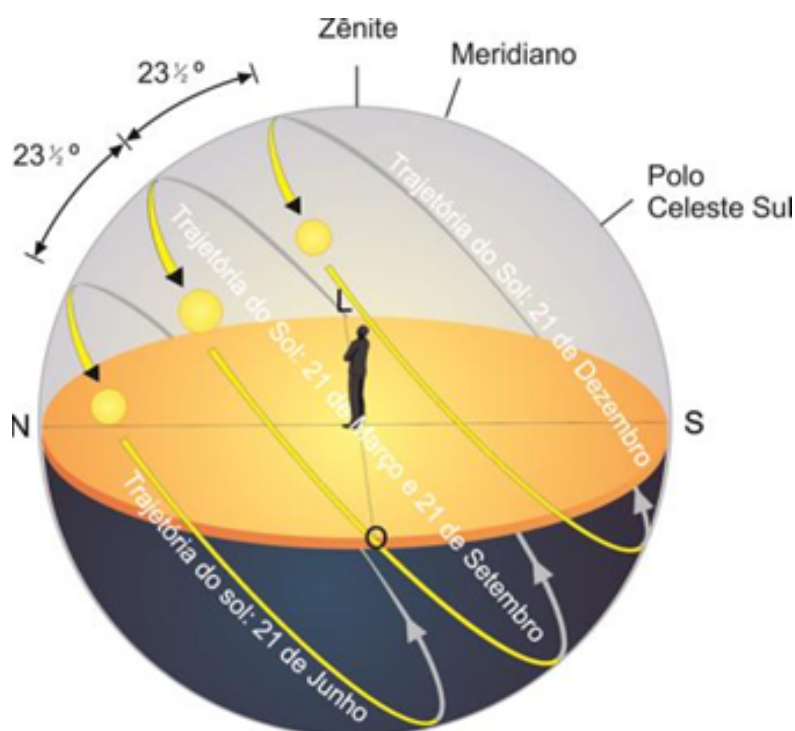
Figura 1.1: Movimento de revolução da Terra em Torno do Sol.



Fonte: IF-UFRGS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2023).

O movimento que a Terra faz ao redor do seu próprio eixo, ou seja, a rotação, é o motivo pelo qual um observador em qualquer ponto da superfície terrestre tem a sensação de que o Sol se movimenta ao seu redor. Esse movimento aparente do Sol sofre variações conforme o dia do ano, e, para diferentes latitudes, as trajetórias aparentes do Sol também variam. Na Figura 2, é possível observar as trajetórias diurnas do Sol nos equinócios (21 de março e 23 de setembro) e solstícios (21 de junho e 21 de dezembro), para um observador no hemisfério sul.

Figura 1.2: Movimento aparente do Sol visto por um observador no hemisfério sul.



Fonte: IF-UFRGS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2023).

Para viabilizar a análise da trajetória solar, torna-se necessário introduzir conceitos inerentes à esfera celeste. Inicialmente, ao exami-

nar a Figura 2, verifica-se que, ao se considerar um observador em qualquer ponto da superfície terrestre, a sua localização estabelece um plano referido como “plano do horizonte”. A partir desse plano, são estabelecidos os pontos cardeais: norte, sul, leste e oeste. O ponto imaginário posicionado diretamente acima desse observador é denominado zênite (Ze). A trajetória solar na esfera celeste ao longo do ano é formalmente conhecida como eclíptica e apresenta uma inclinação de $23,5^\circ$ em relação ao Equador celeste.

Ao longo do ano, a trajetória aparente do Sol não mantém constância. No hemisfério Sul, durante o solstício de verão, o Sol “nasce” e se põe mais ao sul, resultando em um percurso mais extenso e duradouro no céu durante o verão. Nos equinócios de primavera e outono, o Sol “nasce” precisamente a leste e se põe precisamente a oeste. Por outro lado, no solstício de inverno, o Sol “nasce” e se põe em direção ao norte, percorrendo um caminho mais breve e, por conseguinte, permanecendo menos tempo no céu.

A análise do posicionamento de nossa fonte energética em relação à superfície terrestre deve ser considerada nos estudos de otimização da captação de radiação por painéis fotovoltaicos. O conhecimento das mudanças na movimentação aparente do Sol é necessário ao ponderar a melhor posição para o posicionamento dos painéis.

Assim, a pergunta norteadora desta pesquisa é: Como podemos incorporar efetivamente o uso do seguidor solar, aplicando a Aprendizagem Baseada em Projetos, no aprendizado de estudantes do Ensino Médio ao Superior no contexto da instrumentação em Astronomia? Em última análise, buscamos que os estudantes compreendam o mo-

vimento do Sol, suas variações ao longo do ano e como isso impacta o monitoramento solar, aplicando esse entendimento em sua vida cotidiana.

O objetivo geral deste trabalho é incentivar o ensino de Astronomia nos níveis de Ensino Profissional e Superior por meio do desenvolvimento de um Guia de Atividades Práticas para a construção de um kit didático baseado em seguidores solares. Os objetivos específicos são:

- discutir as equações do movimento aparente do Sol;
- projetar, construir e calibrar protótipos eletromecânicos de seguidores solares;
- Criar um site educacional para divulgação e pesquisa sobre seguidores solares e Astronomia.

1.1 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Neste trabalho, é empreendido uma exploração na criação de um kit didático voltado ao monitoramento do Sol, que se fundamenta na aplicação de um seguidor solar. O escopo do projeto abraça diversos temas, abordando não somente a energia solar fotovoltaica e térmica, mas também se estende à integração de sensores solarimétricos. Para proporcionar clareza e organização, os próximos capítulos foram estruturados da seguinte forma:

No Capítulo 2, o Referencial Teórico, inicialmente, será abordado a transmissão atmosférica da radiação solar, explorando como a atmosfera influencia a propagação da luz solar e as coordenadas

celestes do Sol, examinando como varia sua posição no céu em diferentes referenciais, além disso, a energia fotovoltaica e o ganho fotovoltaico com seguidores solares serão aprofundados, avaliando como esses dispositivos acompanham o movimento solar para otimizar a eficiência. Os princípios da solarimetria e a importância dos instrumentos solarimétricos na medição da radiação solar incidente serão detalhados. Os algoritmos de posicionamento solar também serão analisados, sendo fundamentais para a orientação do protótipo.

No Capítulo 3, exploraremos a metodologia qualitativa e quantitativa que orientará nosso estudo, incluindo a abordagem da Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP) como intervenção didática, também, discutiremos o público-alvo da pesquisa, destacando como a ABP se aplica tanto ao ensino superior quanto ao ensino profissional e tecnológico.

No Capítulo 4, detalharemos o processo de desenvolvimento do Seguidor Solar, incluindo a implementação computacional dos algoritmos de rastreamento da posição solar e a montagem dos protótipos, posteriormente, descreveremos as atividades realizadas ao levar o Seguidor Solar para a sala de aula o que incluirá a interação com os alunos, configuração prática do equipamento e experiências pedagógicas proporcionadas.

No Capítulo 5, discutiremos os resultados da implementação do Seguidor Solar em sala de aula e incluirá o aprofundamento da compreensão dos alunos do ensino superior e do ensino profissional e tecnológico em relação à aplicação prática de microcontroladores, programação e eletrônica em sistemas de energia solar.

No capítulo 6, enfatizaremos a criação do Manual de Experimentos como um produto educacional. No Capítulo 7, serão apresentadas as conclusões, bem como propostas para pesquisas e desenvolvimentos de trabalhos futuros.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O Sol, estrela mais próxima de nós, também é a mais estudada. A energia proveniente desse astro tem sido usada desde o início das civilizações. Atualmente, essa fonte energética não apenas continua a ser vital para a vida, mas também se tornou uma das mais promissoras para a matriz energética global. Portanto, é um elemento importante no desenvolvimento das sociedades atuais. Embora considerado uma fonte renovável de energia, na verdade, é uma fonte inesgotável quando consideramos a escala de tempo da vida no planeta. A seguir, apresentamos informações precisas sobre o Sol.

O Sol é uma estrela de tamanho médio e a energia irradiada por ele é consequência das reações de fusão nuclear dos átomos de Hidrogênio (representam cerca de 75 por cento da composição do Sol) para formar Hélio (cerca de 25 por cento da composição do Sol). A taxa de energia emitida pelo Sol é aproximadamente constante há bilhões de anos com uma potência atual da ordem de $3,86 \times 10^{26}$ W. A temperatura efetiva na superfície do Sol é da ordem de 5778 K (5505° C) (Martins *et al.*, 2017, p. 15).

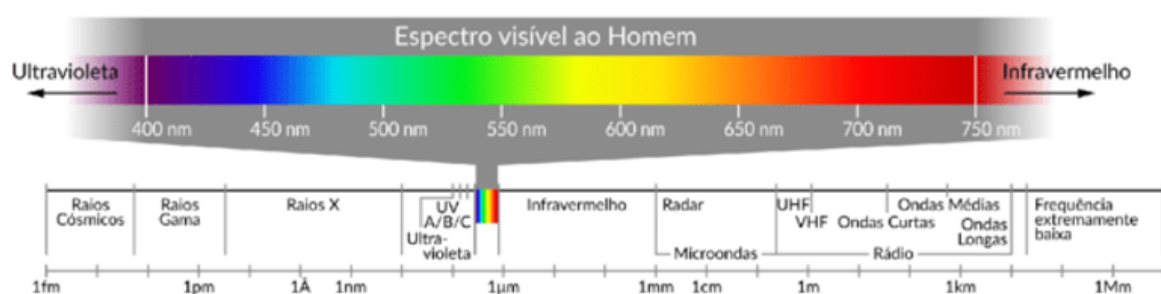
A energia solar é transmitida em uma ampla faixa de frequências do espectro eletromagnético, como ilustrado na Figura 2.1. A

maior parte da radiação que chega à atmosfera terrestre se concentra em comprimentos de onda que vão desde a região visível até a proximidade do infravermelho. Esse fenômeno sublinha a importância de compreender a radiação solar e suas implicações.

No cenário do desenvolvimento científico e tecnológico, os processos e tecnologias relacionados ao aproveitamento dessa energia, como a heliotérmica e fotovoltaica, exemplificam avanços notáveis. Nas últimas décadas, temos testemunhado progressos significativos tanto no campo do aproveitamento térmico para atender demandas residenciais e processos industriais quanto na conversão da energia solar em eletricidade.

O entendimento da radiação solar, englobando conceitos da Física, Astronomia, Astrofísica e outras disciplinas relacionadas ao estudo do Sol, é fundamental para guiar e impulsionar os avanços tecnológicos. Destaca-se, portanto, a relevância do Ensino de Astronomia como componente essencial da formação educacional, capacitando os estudantes a compreenderem conceitos fundamentais que promovem o desenvolvimento sustentável e inovador.

Figura 2.1: Espectro da Radiação Solar.



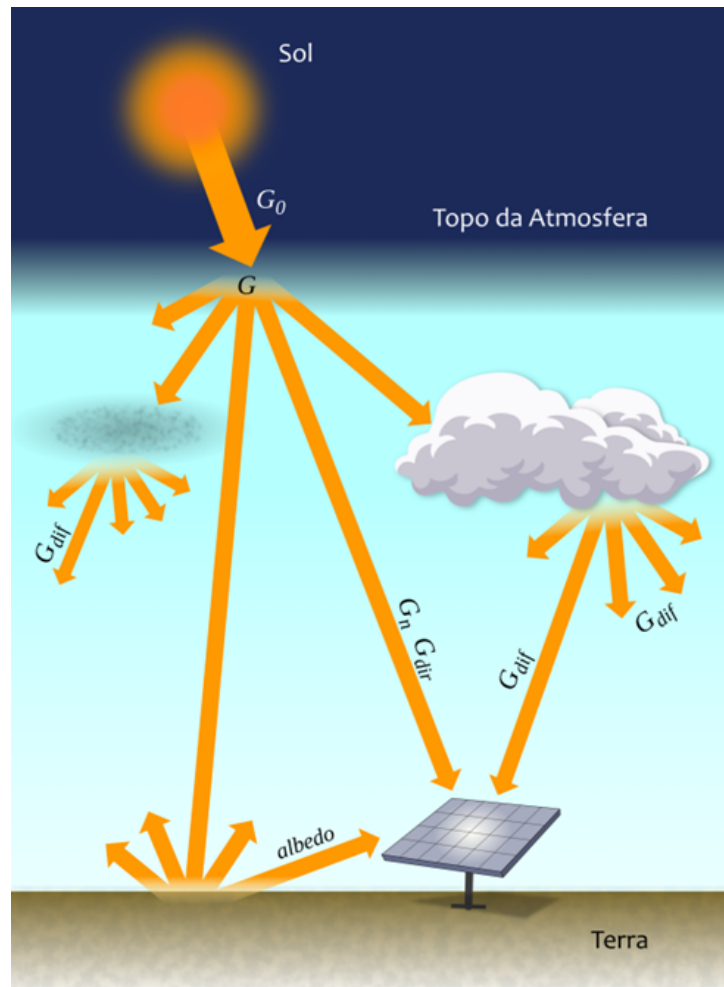
Fonte: Martins *et al.* (2017).

2.1 TRANSMISSÃO ATMOSFÉRICA

A disponibilidade do recurso energético solar e sua variabilidade espacial e temporal estão intrinsecamente ligadas a conceitos da Astronomia. O primeiro fator a ser considerado é a posição relativa entre o Sol e a Terra, a qual circunda o Sol a uma distância média de cerca de 150 milhões de quilômetros, completando um ciclo a cada 365,25 dias solares. Durante esse período, a distância varia entre $1,47 \times 10^8$ km e $1,52 \times 10^8$ km, resultando em flutuações no fluxo de radiação solar (irradiância solar), que oscila entre 1.325 W/m^2 e 1.412 W/m^2 . O valor médio da irradiância solar, equivalente a 1.366 W/m^2 , é estabelecido como a constante solar (Koebrich *et al.*, 2019).

A irradiância e a irradiação solar são categorizadas com base em dois critérios: os processos radiativos na atmosfera e a superfície de incidência. No primeiro critério, as componentes são classificadas como Global, Direta e Difusa. No segundo critério, a classificação considera a superfície de incidência, que pode ser Plano Inclinado, Plano Horizontal ou Extraterrestre. Para distinguir essas componentes, utiliza-se a notação “Gdir” para a irradiância direta global, “Gdif” para a irradiância difusa global, “G0” para a irradiância global no plano horizontal extraterrestre e “Gi” para a irradiância no plano inclinado (Martins *et al.*, 2017). A ausência de subscritos é empregada para representar a irradiância global incidente no plano horizontal. A Figura 2.2 ilustra os componentes da irradiância solar.

Figura 2.2: Componentes da Irradiância Solar.



Fonte: Martins *et al.* (2017).

- **Irradiância Extraterrestre (G_0):** É a irradiância solar incidente em um plano horizontal imaginário posicionado no topo da atmosfera. Também conhecida como irradiância no topo da atmosfera ou TOA.
- **Irradiância Difusa (G_{dif}):** É a irradiância solar incidente sobre uma superfície horizontal. Resulta do espalhamento do feixe solar direto pelos componentes atmosféricos, como moléculas,

material particulado, nuvens, entre outros.

- **Irradiância Direta Normal (G_n) - DNI:** É a irradiância proveniente diretamente do Sol. Incide na direção normal sobre uma superfície sem sofrer espalhamento durante sua passagem pela atmosfera.
- **Irradiância Direta (G_{dir}):** Representa a parcela da irradiância solar direta que incide perpendicularmente em uma superfície horizontal. É calculada como o produto da irradiância direta normal pelo cosseno do ângulo zenital solar (θ_z).
- **Irradiância Global Horizontal (G):** É a irradiância solar total que atinge uma superfície horizontal. Composta pela soma das irradiâncias solar direta e difusa, ou seja, $G = G_{\text{dif}} + G_{\text{dir}}$ ou $G = G_{\text{dif}} + G_n \cdot \cos(\theta_z)$.
- **Irradiância no Plano Inclinado (G_i):** Refere-se à taxa de energia total, por unidade de área, que incide em um plano inclinado em relação à superfície da Terra.
- **Albedo:** Refere-se à interação da radiação solar com superfícies terrestres e corpos celestes. Quando a luz solar incide em um objeto, parte é refletida de volta ao espaço, enquanto outra é absorvida, convertendo-se em calor. O albedo é a fração da radiação solar refletida em relação à radiação incidente. Superfícies de alto albedo, como gelo e neve, refletem uma grande parte da radiação solar, contribuindo para o resfriamento da Terra. Em contraste, superfícies de baixo albedo, como florestas e oceanos, absorvem mais radiação solar, contribuindo para o aquecimento.

Ao analisar o espectro solar incidente no topo da atmosfera em comparação com o espectro solar na superfície terrestre, observa-se uma diminuição da radiação em faixas específicas de comprimento de onda. Nas faixas espectrais conhecidas como bandas de absorção, diversos tipos de gases e partículas presentes na atmosfera absorvem a radiação solar direcionada à superfície.

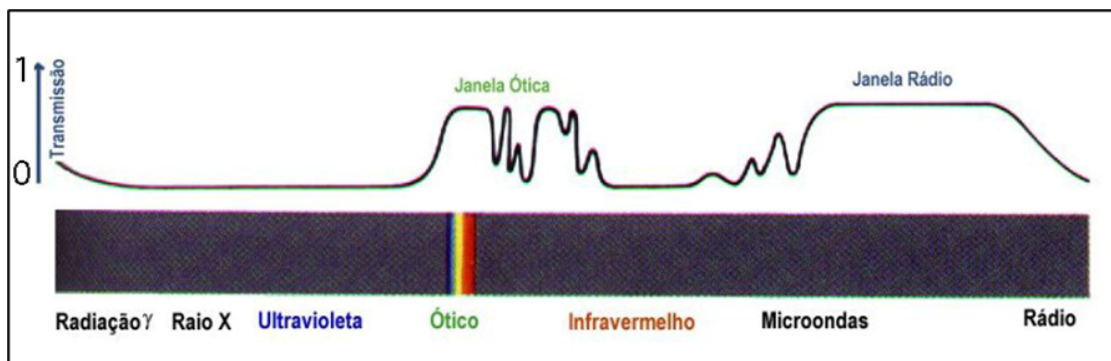
As faixas que possibilitam praticamente toda a transmissão da radiação são denominadas “Janelas atmosféricas” (Procópio, 2005). Esses gases desempenham um papel importante na absorção da radiação eletromagnética do Sol, sendo responsáveis pela atenuação, isto é, absorção ou espalhamento, da intensidade solar que atinge a superfície terrestre, atuando em comprimentos de onda específicos. A Figura 2.3 ilustra as janelas atmosféricas para cada comprimento de onda do espectro solar.

No espalhamento, moléculas ou partículas em suspensão distribuem a energia radiativa em todas as direções, enquanto a absorção envolve a conversão da energia radiativa incidente em outras formas de energia por gases ou partículas. A dinâmica das vibrações eletrônicas no interior da matéria determina as propriedades desses processos (Procópio, 2005).

A atmosfera também contém partículas de aerossóis, provenientes de fontes naturais e humanas. Aerossóis são partículas líquidas ou sólidas em suspensão no ar, excluindo gotículas de nuvem e precipitação. Na atmosfera, esses aerossóis desempenham vários papéis, dependendo de suas características físicas e morfológicas, como contribuir para a formação de gotículas de nuvens e influenciar o

espalhamento da radiação solar. Exceto pelo aerossol presente na estratosfera, principalmente resultante de erupções vulcânicas, os demais permanecem concentrados nos primeiros quilômetros acima da superfície (Pereira *et al.*, 2017).

Figura 2.3: Transmitância atmosférica em função do comprimento de onda e as chamadas “janelas” atmosféricas.



Fonte: Filho (2018).

O espalhamento da radiação está associado a uma propriedade física conhecida como parâmetro de tamanho (x), que representa a relação entre o tamanho da partícula e o comprimento de onda da radiação incidente. Conforme definido por Liou (2002) para uma partícula esférica de raio (r), x é expresso pela Equação 2.1:

$$x = \frac{2\pi r}{\lambda} \quad (2.1)$$

Se a partícula for muito menor que o comprimento de onda da radiação incidente ($x \ll 1$), o espalhamento é descrito pela teoria de Rayleigh. Essa teoria, desenvolvida por Lord Rayleigh (John

William Strutt) no século 19, explica como partículas muito pequenas, como moléculas ou pequenas partículas atmosféricas, dispersam a luz. Em contraste, quando o tamanho da partícula se aproxima do comprimento de onda da radiação incidente (ou seja, quando a razão entre o tamanho da partícula e o comprimento de onda é aproximadamente 1, $x \approx 1$), o espalhamento é descrito pela teoria de Mie. Desenvolvida pelo físico alemão Gustav Mie, essa teoria é frequentemente usada para descrever o espalhamento por partículas maiores, como gotículas de água ou partículas de poluição.

A fotometria solar se baseia na lei de Beer-Bouguer-Lambert, que descreve a atenuação de um feixe de radiação monocromático ao atravessar um meio. Neste caso específico, o meio em questão é a atmosfera terrestre, e o feixe de radiação monocromático provém diretamente do Sol. A transmitância atmosférica é determinada pela atenuação do feixe eletromagnético incidente, causada pelo espalhamento e/ou absorção pelos constituintes atmosféricos. Ao medir a magnitude do feixe transmitido pela atmosfera e conhecer a intensidade ao incidir no topo, a aplicação da lei de Beer-Bouguer-Lambert torna-se interessante para o cálculo da transmitância atmosférica.

2.1.1 Lei de Beer-Bouguer-Lambert

A formulação desta Lei proporciona uma abordagem simplificada com amplas aplicações em questões relacionadas à atmosfera, focalizando exclusivamente o decaimento da intensidade da radiação no feixe direto proveniente do Sol.

A Lei de Beer-Bouguer-Lambert é o resultado da fusão de duas

leis previamente distintas que regem a diminuição da radiação: a Lei de Lambert-Bouguer, que correlaciona a quantidade de luz absorvida com a distância percorrida através do meio, e a Lei de Beer, que associa a absorção de luz à concentração da substância absorvente. Esta última condição se aplica quando o meio consiste em uma solução diluída de uma substância absorvente em um solvente não absorvente.

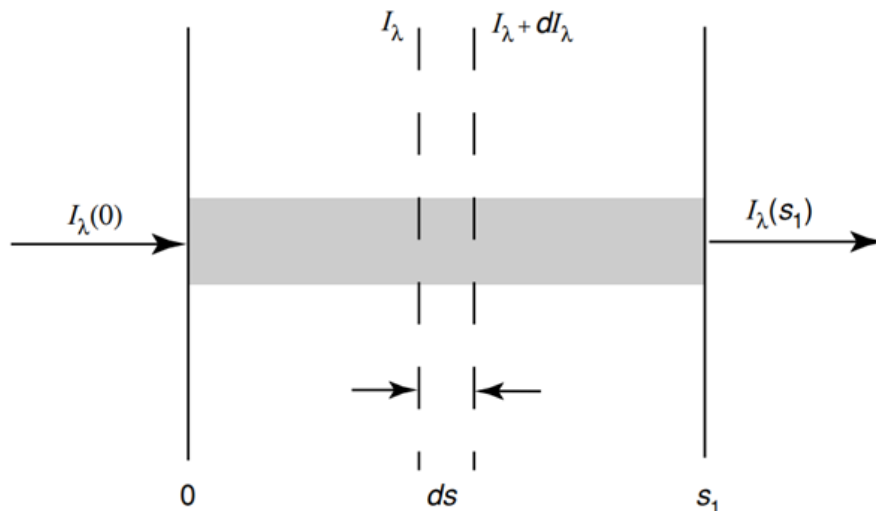
A Figura 2.4 representa a atenuação da radiação solar ao atravessar a atmosfera, conforme descrito pela Lei de Beer-Bouguer-Lambert (Liou, 2002). Esse fenômeno pode ser expresso matematicamente pela equação 2.2. Nessa equação, $I_\lambda(0)$ refere-se à intensidade inicial da radiação solar que entra na atmosfera, conhecida como espectro solar extraterrestre. A função $T(\lambda)$ descreve a transmitância atmosférica, ou seja, a fração da radiação que atravessa a atmosfera sem ser absorvida ou dispersa.

A espessura óptica, representada por $\tau(\lambda)$, mede o grau de atenuação da radiação causada pela interação com as partículas e gases presentes na atmosfera. Em termos simples, quanto maior a espessura óptica, maior será a absorção ou dispersão da radiação (Liou, 2002). A espessura óptica depende do comprimento de onda λ da radiação e das condições atmosféricas, como a presença de nuvens, aerossóis e gases.

O parâmetro M é o fator de massa de ar, ou caminho óptico, que indica a distância efetiva percorrida pela radiação ao atravessar a atmosfera, sendo maior quando o Sol está próximo do horizonte (Liou, 2002). Por fim, $I_\lambda(s_1)$ representa a intensidade final da radiação após essa interação com a atmosfera, mostrando que a intensidade decai

exponencialmente conforme a radiação atravessa o caminho óptico, influenciada pela espessura óptica e pela massa de ar (Liou, 2002).

Figura 2.4: Decaimento da intensidade da radiação solar direta: Influência da absorção em meios transmissivos.



Fonte: Liou (2002).

$$I_{\lambda}(s_1) = I_{\lambda}(0) \cdot T(\lambda) = I_{\lambda}(0) \cdot e^{-\tau(\lambda)M} \quad (2.2)$$

O termo ds na Figura 2.4 refere-se a um elemento infinitesimal do comprimento ao longo do caminho percorrido pela radiação solar na atmosfera. Em outras palavras, ds representa um pequeno segmento desse caminho, permitindo que o cálculo da intensidade da radiação leve em consideração variações muito pequenas ao longo da trajetória.

No contexto da Lei de Beer-Bouguer-Lambert, o comprimento total percorrido pela radiação é denotado por S , que vai de 0 até a posição S_1 , correspondente ao ponto de interesse na atmosfera ou

na superfície terrestre. O uso de ds possibilita integrar a atenuação da radiação ao longo de todo o caminho, considerando as mudanças que ocorrem em cada pequeno trecho. Isso reflete como a radiação é absorvida ou dispersa em diferentes pontos da atmosfera, levando a uma variação gradual na intensidade ao longo do percurso.

2.1.2 Espalhamento Rayleigh e Espalhamento Mie

As propriedades do espalhamento da radiação solar na atmosfera estão intrinsecamente ligadas ao tamanho das moléculas de gases e aerossóis presentes nela. O espalhamento Rayleigh ocorre quando partículas possuem raio significativamente menor que o comprimento de onda da radiação incidente. Nesse cenário, a irradiância monocromática espalhada segue uma relação inversamente proporcional à quarta potência do comprimento de onda ($I(\lambda) \sim \lambda^{-4}$).

A maior parte da energia da radiação solar está concentrada no intervalo visível, entre o vermelho e o violeta. A luz azul, com um comprimento de onda em torno de $0,425 \mu m$, sofre uma dispersão significativamente maior do que a luz vermelha, com aproximadamente $0,625 \mu m$ de comprimento de onda. Portanto, a luz azul é cerca de 5,5 vezes mais suscetível à dispersão em comparação com a luz vermelha, superando também as luzes verde, amarela e laranja. Como resultado, ao observarmos o céu, especialmente afastado do disco solar, ele se apresenta com a tonalidade característica de azul.

Segundo Roberti (2013), apesar da teórica possibilidade de o céu ser violeta devido ao menor comprimento de onda da luz violeta ($0,405 \mu m$), tal cenário não se manifesta na prática. Isso se deve à

energia substancialmente menor contida na radiação solar na região violeta, em comparação com a região azul; além disso, o olho humano é mais sensível à luz azul do que à violeta. Contrastando com essa mudança, ao se aproximar do horizonte durante os eventos de nascer e pôr do Sol, a radiação solar percorre um trajeto mais extenso através das moléculas de ar. Isso promove uma maior dispersão da luz azul de menor comprimento de onda para fora do feixe de luz, contribuindo para a coloração avermelhada do céu (ver Figura 2.5). Este fenômeno se manifesta de maneira especialmente proeminente em dias nos quais partículas de poeira ou fumaça estão presentes na atmosfera.

Ao contrário do espalhamento Rayleigh, que se aplica a partículas menores que os comprimentos de onda, o espalhamento Mie descreve a dispersão para partículas com dimensões maiores que o comprimento de onda da radiação incidente, como aerossóis e partículas com tamanho superior a 10^{-5} micrômetros. Gustav Mie (1908) e Lorentz (1890) apresentaram independentemente esse tipo de espalhamento como uma solução para a interação de ondas eletromagnéticas isotrópicas com esferas homogêneas, deduzida das equações de Maxwell, descrevendo como as ondas eletromagnéticas de comprimento de onda são perturbadas ao interagir com esferas homogêneas de raio “ r ” (Liou, 2002).

Figura 2.5: Avermelhamento do céu no pôr do Sol causado pelo espalhamento Rayleigh



Fonte: Roberti (2013).

Nesse contexto, a dispersão da radiação não está atrelada ao comprimento de onda específico e manifesta-se uniformemente para todos os comprimentos. Partículas presentes em nuvens, como pequenos cristais de gelo ou gotículas de água, assim como a maioria dos aerossóis atmosféricos, contribuem para o espalhamento da luz solar dessa forma. Esse processo explica a coloração branca das nuvens e a razão pela qual o céu pode parecer esbranquiçado em ambientes com uma concentração significativa de aerossóis.

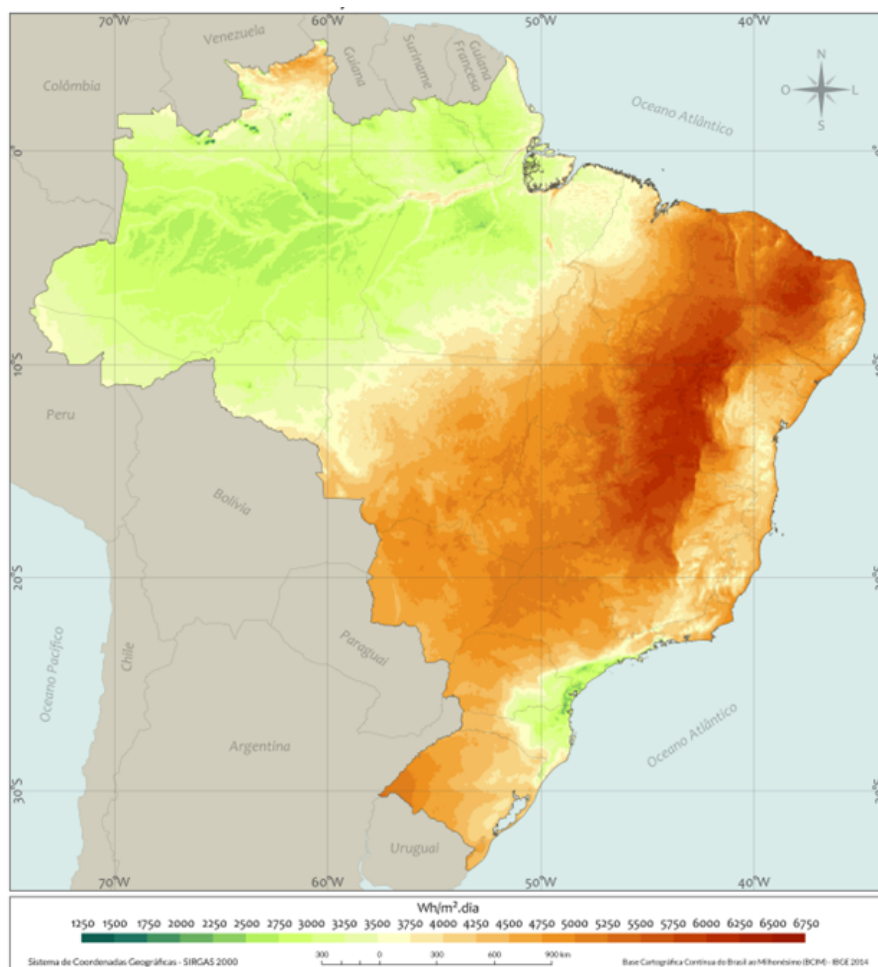
Quando o raio das partículas é superior a 10^{-5} micrômetros, a distribuição angular da radiação espalhada é descrita pelos princípios da ótica geométrica. O espalhamento de luz visível por gotas de nuvens, gotas de chuva e partículas de gelo pertence a esse regime, resultando em diversos fenômenos ópticos, como arco-íris e auréolas.

2.1.3 Irradiação Solar no território Brasileiro

Conforme Martins *et al.* (2017), a integração da irradiância ao longo do tempo é caracterizada como irradiação solar (Wh/m^2) ou energia radiante incidente acumulada durante um determinado período. No contexto brasileiro, a média mensal da irradiação global horizontal é de $5,15 \text{ kWh}/\text{m}^2$. Na região Nordeste, o maior potencial solar é evidenciado com um valor médio diário de irradiação global horizontal de $5,49 \text{ kWh}/\text{m}^2$. Enquanto as regiões Sudeste e Centro-Oeste apresentam uma média de $5,07 \text{ kWh}/\text{m}^2$, a região Sul exibe $4,53 \text{ kWh}/\text{m}^2$ e a região Norte registra $4,64 \text{ kWh}/\text{m}^2$, de acordo com a Figura 5.

Além disso, de acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), 83,04% da matriz energética brasileira são provenientes de fontes renováveis. No que se refere à geração solar, o potencial do Brasil é indiscutivelmente enorme, com os maiores valores de irradiação solar mundial e alta estabilidade na irradiação. Destaca-se a região Nordeste como a mais promissora para a implementação de projetos solares, devido ao seu elevado índice de irradiação e ao crescimento contínuo na demanda por fontes de energia renováveis. Conforme relatado pelo Ministério de Minas e Energia (MME, 2016), a integração de tecnologias solares no Nordeste pode representar uma significativa contribuição para a matriz energética nacional, consolidando ainda mais o país como um líder global em energia solar.

Figura 2.6: Média Anual do Total Diário da Irradiação direta Normal no Brasil.



Fonte: Martins *et al.* (2017).

O relatório *Renewables 2023* da Agência Internacional de Energia (AIE), destaca a liderança do Brasil na América Latina em termos de expansão de energia renovável. As estimativas indicam um aumento de 165 gigawatts (GW) na geração de energia renovável na região entre 2023 e 2028, com o Brasil previsto para representar mais de 65% desse total. A energia solar está na vanguarda dessa expansão, seguida pela energia eólica.

Ainda segundo o relatório, o Brasil é responsável por quase 90% das adições de energia solar distribuída na América Latina. As projeções da AIE sugerem que o setor de energia solar distribuída no Brasil continuará a crescer de forma consistente, com adições médias superiores a 7 GW por ano até 2028. Esses dados consolidam o Brasil como um dos principais protagonistas na transição energética global, não apenas devido ao seu ambiente favorável para investimentos, mas também por meio de políticas inovadoras que promovem o crescimento das fontes de energia limpa e sustentável.

Nessa combinação de fatores, os materiais usados na geração de energia solar ficaram mais baratos, na contramão do preço da energia elétrica no Brasil, que nos últimos anos foi reajustado acima da inflação. Como reflexo desse cenário, cerca de 70% da eletricidade solar no país é gerada por sistemas de geração distribuída, instalados em residências e edifícios urbanos e rurais. Os demais 30% provêm da geração centralizada, em grandes usinas solares com capacidade superior a 5 megawatts, distribuídas por dezessete estados brasileiros.

Com o crescimento expressivo da energia solar no Brasil, tanto na geração distribuída quanto na centralizada, tecnologias que otimizam o uso desse recurso têm se tornado cada vez mais importantes. Nesse cenário, os Seguidores Solares podem desempenhar um papel importante. Ao permitir um melhor aproveitamento ao realizar o acompanhamento da trajetória aparente do Sol, esses dispositivos ajudam a aumentar a eficiência dos sistemas fotovoltaicos.

O aumento da geração distribuída — sistemas instalados em residências e estabelecimentos comerciais — torna os seguidores ainda

mais relevantes, pois permitem que esses sistemas gerem mais eletricidade, reduzindo custos e aumentando a competitividade. Além disso, nas usinas solares de grande porte, os seguidores são fundamentais para otimizar a produção e garantir o máximo aproveitamento da radiação solar, promovendo a expansão sustentável do setor no país.

2.2 COORDENADAS DA POSIÇÃO DO SOL

Para determinar a posição do Sol no céu, assim como de outros corpos celestes, é necessário estabelecer um sistema de coordenadas. Nesse sistema, a utilização de coordenadas angulares é suficiente, sem a necessidade de levar em consideração as distâncias entre os astros. Ao definir uma posição em uma esfera, é essencial escolher um eixo e um plano perpendicular a esse eixo. A posição do astro será determinada por dois ângulos de posição, sendo um deles medido em relação a um plano fundamental, enquanto o outro é medido perpendicularmente a esse plano (Filho; Saraiva, 2022).

Três sistemas principais de coordenadas da Astronomia desempenham um papel fundamental na determinação das posições celestes: o sistema horizontal, o sistema equatorial celeste e o sistema equatorial horário. Além desses, é relevante lembrar o sistema de coordenadas geográficas, amplamente utilizado para medir posições na superfície terrestre.

2.2.1 Coordenadas Geográficas

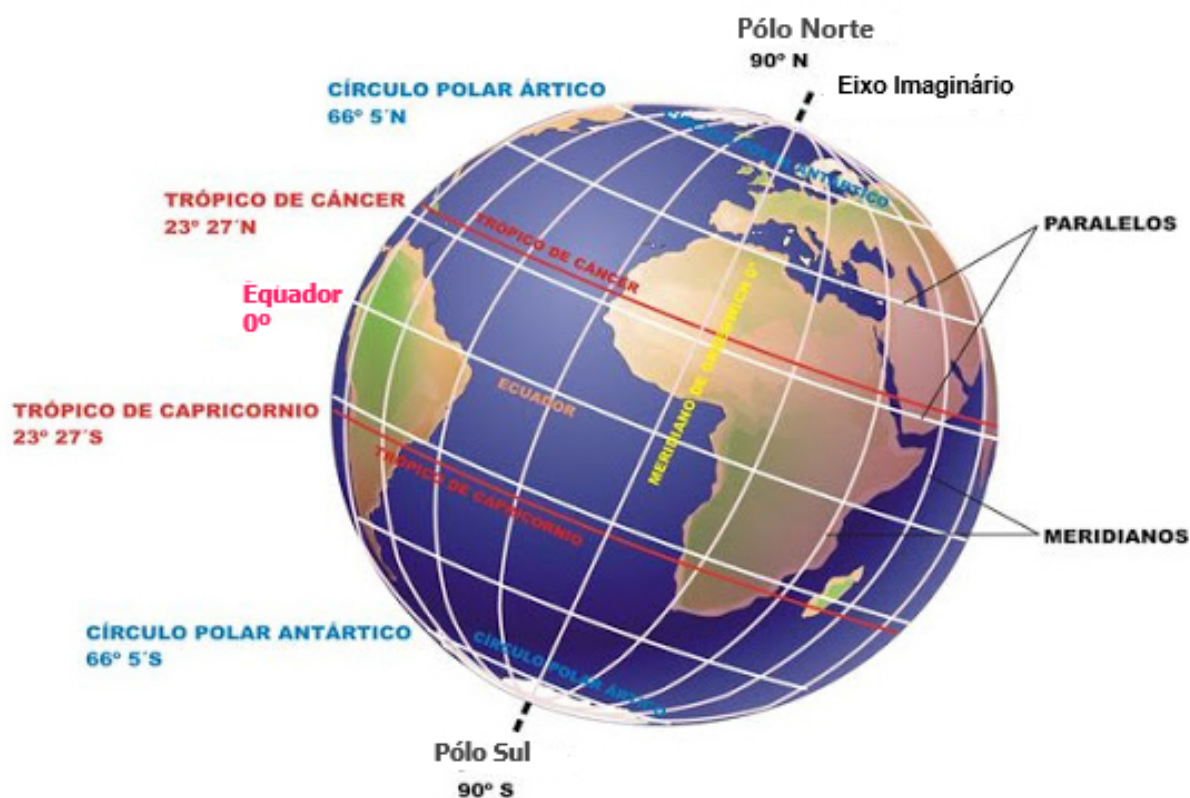
A longitude geográfica (λ) é um ângulo medido ao longo do Equador da Terra, partindo do Meridiano de Greenwich como ponto de referência e estendendo-se até o meridiano local em questão. A variação ocorre de 0° a 180° para leste ou oeste de Greenwich, sendo comumente atribuído sinal positivo às longitudes a oeste e sinal negativo às longitudes a leste. Uma maneira usual de representar a longitude de um local é pela diferença entre a hora local e a hora de Greenwich. Nesse contexto, as longitudes a oeste de Greenwich variam de 0h a -12h, enquanto as longitudes a leste variam de 0h a +12h. Assim, a faixa de valores para a longitude geográfica é de -180° (Oeste) até $+180^\circ$ (Leste), ou ainda, de -12h (Oeste) até +12h (Leste) quando expressa em termos de horário.

No que diz respeito à latitude geográfica (ϕ), é um ângulo medido ao longo do meridiano do local, com o equador como ponto de origem e alcançando o local em questão. A variação ocorre entre -90° e $+90^\circ$, onde o sinal negativo indica latitudes no Hemisfério Sul, enquanto o sinal positivo indica latitudes no Hemisfério Norte. Os paralelos de destaque incluem o Equador (0°), os Trópicos de Câncer ($+23,5^\circ$) e Capricórnio ($-23,5^\circ$), que marcam os limites das zonas tropicais, e os Círculos Polares Ártico ($+66,5^\circ$) e Antártico ($-66,5^\circ$), que delimitam as regiões polares, caracterizadas por fenômenos como o sol da meia-noite e longas noites no inverno.

Tanto a latitude quanto a longitude geográfica são coordenadas fundamentais para determinar a posição precisa de um ponto na superfície terrestre, desempenhando papel essencial na navegação,

cartografia e estudos geoespaciais. A Figura 2.7 ilustra de maneira visual os principais paralelos e meridianos no globo terrestre.

Figura 2.7: Principais linhas imaginárias do planeta Terra



Fonte: Favilla (2016).

2.2.2 Coordenadas Horizontais

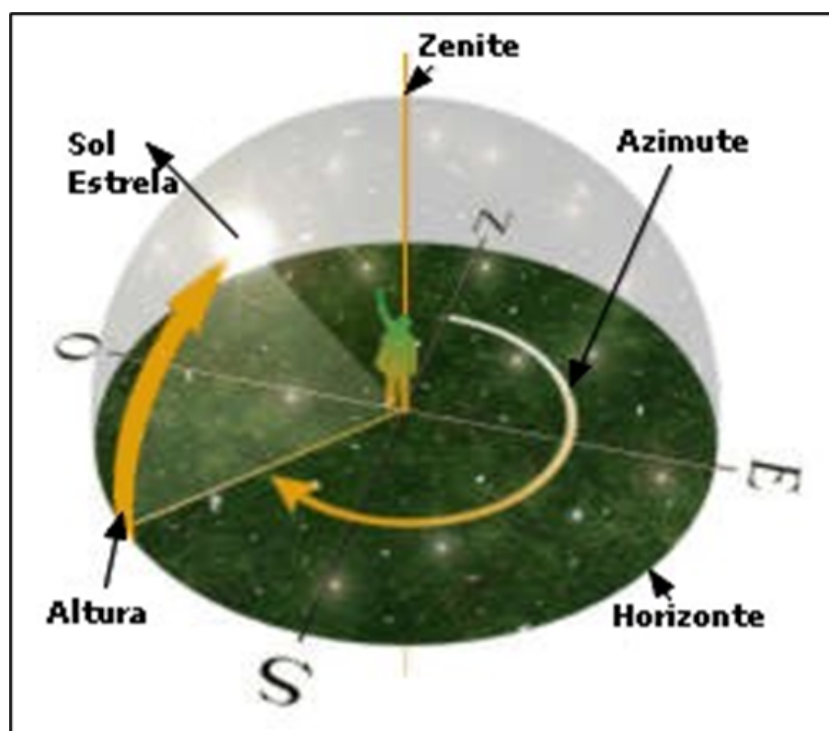
Neste sistema de coordenadas da Astronomia, utiliza-se o horizonte celeste como plano fundamental. O sistema horizontal é local e fixado na Terra, suas coordenadas dependem do lugar e do instante da observação, não sendo características intrínsecas do astro observado

(neste caso, o Sol). As coordenadas horizontais são o azimute e a elevação.

O azimute (Az) é o ângulo medido sobre o horizonte, no sentido horário, com origem no Norte geográfico e extremidade no círculo vertical do Sol, variando entre 0° e 360° .

A elevação (El), às vezes chamada de altitude (Alt), é o ângulo medido sobre o círculo vertical do Sol, com origem no horizonte e extremidade na linha que passa pelo centro do Sol, variando entre -90° e $+90^\circ$. O complemento da elevação é o ângulo zenital (z). Portanto, o ângulo zenital é medido sobre o círculo vertical do Sol, com origem no zênite (eixo vertical) e extremidade na linha que passa pelo centro do Sol. A distância zenital varia entre 0° e 180° . A Figura 7 ilustra claramente esse sistema.

Figura 2.8: Sistema de coordenadas Horizontais



Fonte: Electrônica(2015).

Uma ferramenta útil para a visualização das coordenadas horizontais e da posição do Sol ao longo do dia e do ano é o aplicativo interativo *3D Sun Path*, desenvolvido pelo Dr. Andrew Marsh, arquiteto, consultor de design e desenvolvedor de software, com experiência em projetos de construção voltados para eficiência ao redor do mundo. Ele desenvolveu diversos softwares de design técnico e analítico amplamente utilizados na educação e no mercado profissional.

O *3D Sun Path* permite explorar a relação entre a localização geográfica e a posição do Sol, oferecendo uma visualização dinâmica do caminho solar e das projeções de sombra. O aplicativo facilita a observação das variações no azimute e na elevação do Sol, ajudando

a compreender o movimento aparente do Sol no céu em diferentes latitudes.

Além disso, o aplicativo possibilita ajustar a localização e a data para visualizar em tempo real o caminho do Sol e os ângulos de azimute e elevação. Essa funcionalidade é especialmente útil para ilustrar conceitos da Astronomia, como solstícios e equinócios, quando o Sol atinge posições significativas ao longo dos Trópicos de Câncer ($+23,5^\circ$), Capricórnio ($-23,5^\circ$) ou o Equador (0°).

Na Figura 2.9, é mostrado um exemplo para Feira de Santana-BA, destacando a trajetória solar no equinócio de 23 de setembro de 2023 e as mudanças no azimute e na elevação ao longo do dia.

Figura 2.9: Trajetória Solar no applet 3D Sun Path para localização na Cidade de Feira de Santana-BA.



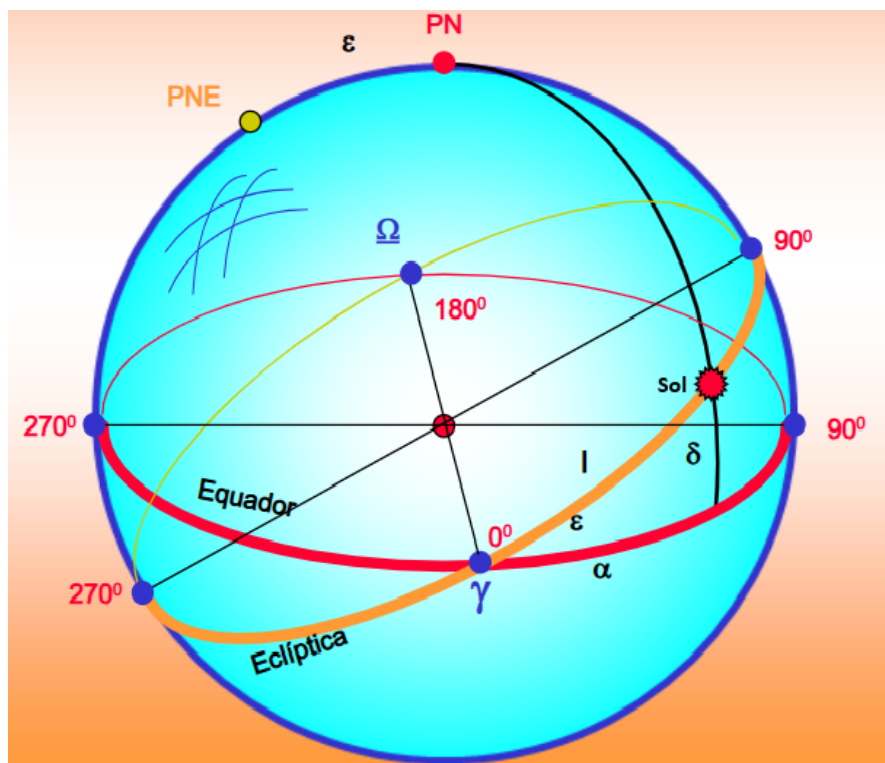
Fonte: Marsh(2023).

2.2.3 Coordenadas Equatoriais Celestes

O sistema equatorial celeste é um dos principais sistemas de coordenadas celestes utilizado para localizar e descrever a posição dos objetos no céu. Nesse sistema, o Equador celeste é o plano fundamental, uma projeção da linha do equador terrestre na esfera celeste. Ele emprega duas coordenadas essenciais: a ascensão reta (α) e a declinação (δ).

A ascensão reta (α) corresponde a um ângulo medido ao longo do Equador celeste, similar à longitude na Terra. A diferença é que, em vez de ser expressa em graus, a ascensão reta é medida em horas, minutos e segundos, abrangendo de 0h a 24h, equivalente a um círculo completo de 360 graus. Essa medição está vinculada ao meridiano que cruza o ponto Áries, também conhecido como ponto vernal ou ponto gama (γ). Este ponto especial marca o ponto de transição do Sol do hemisfério celeste sul para o hemisfério celeste norte durante o equinócio de primavera no hemisfério norte, em torno de 22 de março, sendo usado como referência para a ascensão reta.

Figura 2.10: Sistema de Coordenadas Equatoriais Celestes.



Fonte: (Boczko, s.d.).

A declinação (δ), por sua vez, corresponde ao ângulo medido sobre o meridiano do objeto celeste, similar à latitude terrestre. A variação da declinação ocorre de -90° a $+90^\circ$, indicando a posição do objeto acima ou abaixo do Equador celeste. Quando um objeto celeste se encontra sobre o Equador celeste, sua declinação é 0° , denotando que está diretamente acima deste plano.

O sistema equatorial é fixo na esfera celeste; suas coordenadas não variam com o local ou momento de observação. Isso confere grande importância ao sistema para as investigações dos astros.

2.2.4 Coordenadas Equatoriais Horárias

No Sistema Equatorial Horário, o plano fundamental continua sendo o Equador celeste, similar ao sistema equatorial celeste. No entanto, a coordenada que é medida ao longo do equador não é mais a ascensão reta, mas sim uma coordenada variável conhecida como ângulo horário (H), enquanto a outra coordenada que permanece constante é a declinação.

O ângulo horário (H) é o ângulo medido sobre o equador celeste, com origem no meridiano do local de interesse e extremidade no meridiano do astro em questão. O ângulo H varia entre $-12h$ e $+12h$. Quando o astro está a leste do meridiano do local de interesse, é atribuído um sinal negativo ao ângulo horário, enquanto um sinal positivo indica que o astro está a oeste desse meridiano.

O sistema equatorial celeste e o sistema equatorial horário, quando combinados, são fundamentais para a compreensão do conceito de tempo sideral, que é um dos sistemas de medição do tempo utilizado na Astronomia. Ele está relacionado à rotação da Terra em relação às estrelas fixas no espaço, ou seja, é o tempo que se baseia na posição aparente das estrelas no céu, tornando-o uma medida fundamental para a determinação da posição e dos movimentos celestes.

2.3 RELÓGIO DE SOL

O Relógio de Sol, uma das mais antigas formas de medir o tempo durante o dia, remonta a tempos ancestrais da história da humanidade. Sua concepção inicial era simples, consistindo apenas de um gnômon (haste) fincado no solo para projetar a sombra conforme

a posição do Sol no céu. Ao longo dos séculos, esse dispositivo foi aprimorado com a incorporação de elementos que aprimoraram sua precisão e funcionalidade.

Diferentemente dos relógios convencionais, que dependem de complexos conjuntos de engrenagens para seu funcionamento, o Relógio de Sol opera de maneira única, utilizando diretamente a luz solar como fonte de referência temporal. Neste instrumento, a sombra projetada pelo gnômon desempenha o papel de ponteiro, indicando as horas conforme se desloca ao longo do dia.

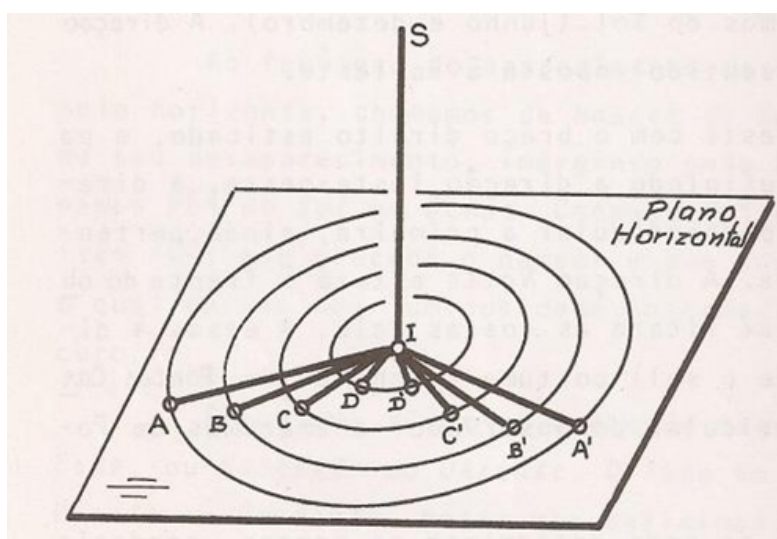
Essa relação direta com os ciclos naturais do dia e da noite torna o Relógio de Sol não apenas uma ferramenta de medição, mas também um símbolo da ligação íntima entre a humanidade e os ritmos da natureza. Sua presença em diferentes culturas ao redor do mundo reflete a universalidade do desejo humano de compreender e acompanhar o tempo.

Além de sua função tradicional de indicar o tempo, o Relógio de Sol serve como um meio de validar os dados obtidos das equações da posição solar. Através da sombra projetada pelo gnômon, é possível obter os ângulos de azimute e da altura do Sol ao longo do dia. Essas medições permitem avaliar a precisão das equações utilizadas.

Este relógio consiste em uma haste vertical fixada ao solo ou a uma base, onde observamos a sombra projetada pela haste devido à luz solar durante o dia. Em regiões localizadas no hemisfério Sul, a sombra é direcionada para o Sul geográfico. A Figura 2.11 ilustra um relógio solar, no qual A, B, C e D representam a mudança no comprimento da sombra durante a manhã, enquanto D', C', B' e A'

representam essa variação durante a tarde. No momento do nascer do Sol (ponto A na Figura 2.11, a sombra é bastante longa, diminuindo gradualmente até atingir seu comprimento mínimo próximo ao meio-dia, quando a altura do Sol é máxima. Posteriormente, a sombra começa a se alongar novamente, alcançando seu comprimento máximo ao pôr do Sol (ponto A' na Figura 2.11).

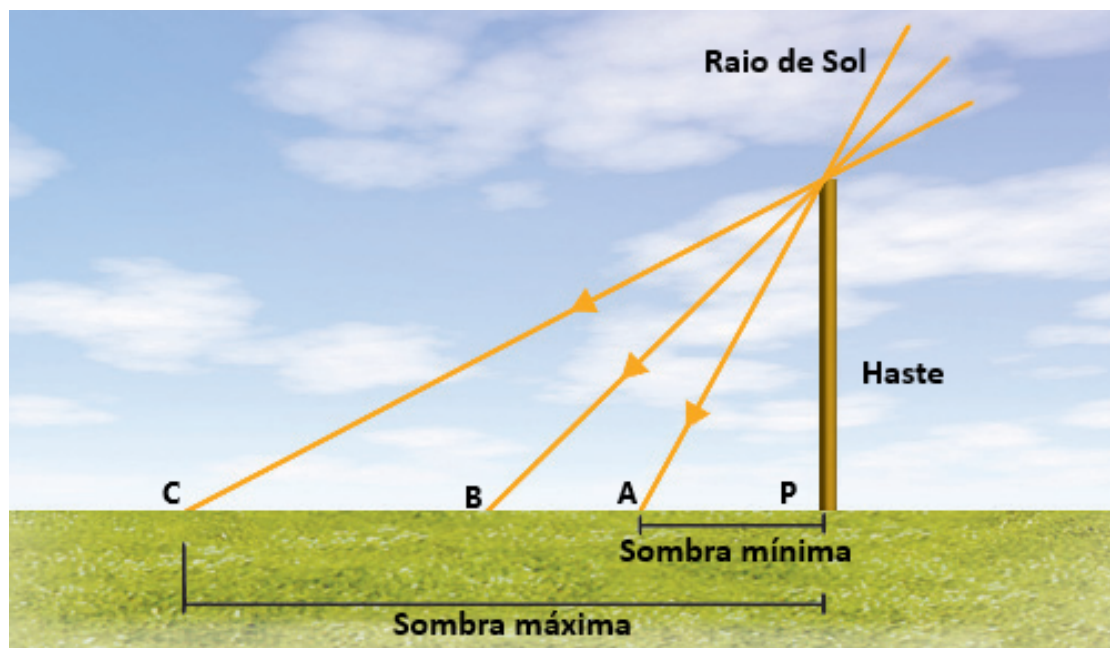
Figura 2.11: Representação de um Relógio de Sol.



Fonte: Spencer (1971).

Também é possível analisar o comprimento da sombra ao longo do ano por meio dos equinócios (Primavera e Outono) e solstícios (Inverno e Verão), conforme mostrado na Figura 2.12. Durante o Solstício de Verão, o comprimento da sombra é mínimo (PA), enquanto no equinócio de Outono, a sombra atinge (PB). No Solstício de Inverno, ocorre o momento em que a sombra é máxima (PC), e no equinócio de Primavera, a sombra é (PB), indo de C para A .

Figura 2.12: Alteração do comprimento da sombra de uma haste durante o ano.



Fonte: Adaptado de Brandão (2011).

2.4 SEGUIDOR SOLAR

O sistema do seguidor solar é um conjunto de componentes que desempenham funções para garantir seu funcionamento adequado. Os principais elementos que compõem esse sistema incluem o dispositivo de rastreamento, o algoritmo de rastreamento, a unidade de controle, o sistema de posicionamento, o mecanismo de acionamento e os dispositivos de sensoriamento.

O algoritmo de rastreamento é responsável por calcular os ângulos necessários para orientar o rastreador solar em relação ao sol. Existem duas abordagens principais para realizar esse cálculo: as equações da Astronomia, que se baseiam em complexos cálculos matemáticos para determinar a posição do astro, e os algoritmos

de intensidade de radiação em tempo real, que utilizam leituras da intensidade de luz para ajustar a posição do rastreador.

A unidade de controle executa o algoritmo de rastreamento e gerencia o funcionamento do sistema como um todo. Ela coordena tanto o sistema de posicionamento quanto o mecanismo de acionamento, garantindo que o rastreador solar seja direcionado corretamente de acordo com os cálculos realizados pelo algoritmo. Enquanto o sistema de posicionamento orienta o dispositivo para seguir o movimento solar conforme os ângulos determinados, o mecanismo de acionamento é responsável por efetuar os movimentos físicos necessários para posicionar o rastreador de acordo com as instruções da unidade de controle.

Por fim, os dispositivos de sensoriamento monitoram diversas variáveis ambientais e operacionais que afetam o funcionamento do sistema. Isso inclui a medição da intensidade de luz, a detecção de condições ambientais como temperatura e umidade, e a verificação do ângulo de inclinação do rastreador. Essas informações são essenciais e permitem ajustes e otimizações conforme necessário.

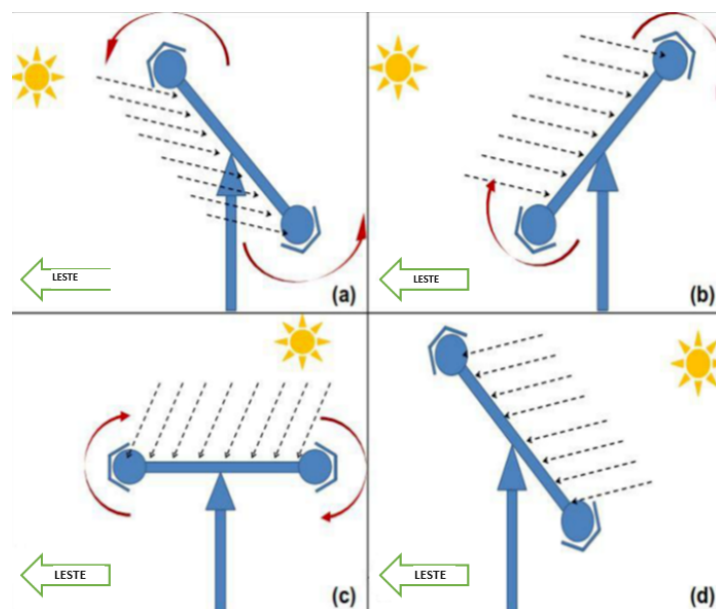
Os seguidores solares são comumente classificados como passivos ou ativos (dependendo de sua forma de controle) estrutura e número de eixos de operação.

2.4.1 Seguidor Solar Passivo

Os seguidores solares passivos se baseiam em princípios como a expansão térmica de materiais ou ligas com memória de forma. Tipicamente, esses sistemas consistem em dois recipientes contendo um fluido volátil de baixo ponto de ebulição, como, por exemplo,

o gás freon, e que trabalham em oposição às diferenças de pressão quando aquecidos pela radiação solar. Quando o sistema está em equilíbrio, ambos os recipientes estão expostos à radiação solar de maneira uniforme. No entanto, qualquer desequilíbrio resulta em forças que procuram restaurar o equilíbrio, movendo o dispositivo para manter sua orientação em direção à fonte de radiação solar (Narendrasinh; Parmar; Parmar, 2015). Na figura 2.13 podemos ver o funcionamento do seguidor passivo.

Figura 2.13: Funcionamento do Seguidor Solar Passivo.



Fonte: Adaptado de Narendrasinh, Parmar e Parmar (2015).

2.4.2 Seguidor Solar Ativo

De acordo com Racharla e Rajan (2017), os sistemas de rastreamento solar ativos dependem de eletricidade para operar e podem ser divididos em quatro categorias principais:

1. **Controle através de um microprocessador e sensor ótico:** Este tipo de sistema utiliza microprocessadores e sensores óticos para determinar a posição do sol e controlar o movimento do rastreador solar. Ele é capaz de ajustar continuamente a posição do painel solar para maximizar a captação de energia solar ao longo do dia.
2. **Controle através de computador por data e hora:** Neste caso, um computador calcula a posição do sol com base na data e hora atuais. Usando algoritmos específicos, o computador gera sinais de controle que movem o rastreador solar para acompanhar o movimento do sol ao longo do dia.
3. **Controle por célula solar bifacial auxiliar:** Estes sistemas utilizam uma célula solar bifacial auxiliar para determinar a posição do sol. A célula solar é sensível à luz incidente de ambos os lados e pode calcular a posição do sol com base na intensidade da luz recebida. Isso permite um ajuste preciso da posição do rastreador solar.

A *Parker Solar Probe*, lançada em 12 de agosto de 2018 pela NASA, é uma espaçonave projetada para estudar o Sol e sua atmosfera, orbitando-o em uma trajetória altamente elíptica. Com o objetivo de investigar a coroa solar, o campo magnético do Sol e o vento solar, a missão utiliza o *Solar Limb Sensor System (SLS)*, que detecta a borda do disco solar para reposicionar a espaçonave, garantindo que ela esteja sempre apontada diretamente para o Sol e que o escudo térmico permaneça corretamente alinhado.

Para um ajuste preciso da posição do rastreador solar, a Parker Solar Probe emprega células solares bifaciais auxiliares, que detectam a luz incidente de ambos os lados e calculam a posição do Sol com base na intensidade da luz recebida. Isso permite que o rastreador solar mantenha a orientação ideal, maximizando a eficácia das observações

4. **Combinação dos três sistemas:** Alguns sistemas de rastreamento solar ativos combinam os métodos acima para aumentar a eficiência e a precisão do rastreamento solar.

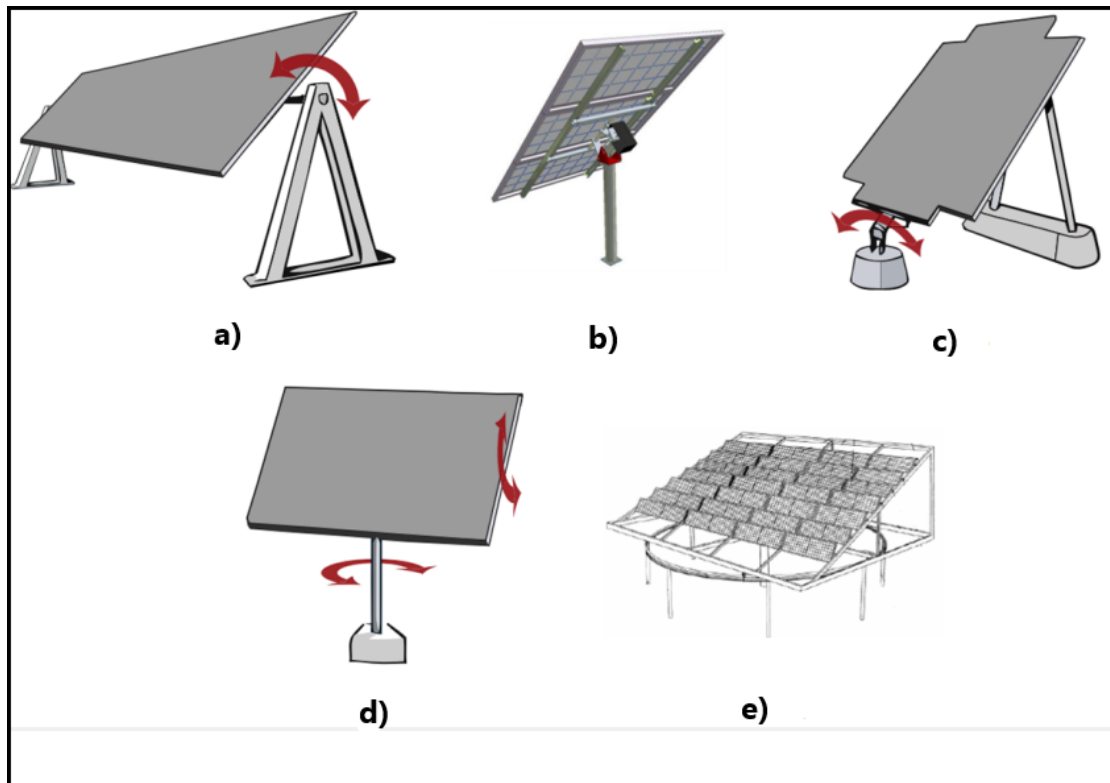
Esses métodos conferem aos rastreadores solares ativos uma versatilidade considerável, permitindo sua implementação em diversas configurações estruturais, como:

1. **Rastreador de Eixo Horizontal ou de Zênite:** Este dispositivo possui um eixo de rotação paralelo à superfície da Terra. O rastreamento do Sol é realizado de leste para oeste, assumindo que não há variação na posição latitudinal do Sol. É mais eficiente em regiões próximas ao equador, onde a variação latitudinal do Sol é mínima. Estes dispositivos também são conhecidos como rastreadores de zênite. O rastreador de eixo horizontal ou de zênite está representado na Figura 2.14 a).
2. **Rastreador de Eixo Vertical ou de Azimute:** Possui um eixo de rotação que se localiza no topo de uma base vertical fixa. Este tipo é conhecido como rastreador azimutal e sua inclinação é definida pela latitude do local onde está instalado. O desempenho é otimizado em latitudes elevadas devido ao ajuste da inclinação

do instrumento em relação à superfície terrestre. O rastreador de eixo vertical ou de azimute está representado na Figura 2.14 b).

3. **Rastreador Polar de Eixo Único:** Caracteriza-se por ter um eixo de rotação perpendicular ao movimento do Sol, orientado de norte a sul. Este design permite o rastreamento do Sol de leste a oeste, com ajuste no ângulo de rotação conforme a latitude. É especialmente eficaz em locais distantes do equador e em altas altitudes. O rastreador polar de eixo único está representado na Figura 2.14 c).
4. **Rastreador de Dois Eixos:** Este tipo de rastreador tem dois eixos de rotação, um norte-sul e outro leste-oeste, permitindo um rastreamento extremamente preciso e a captação máxima da radiação solar em qualquer ponto da trajetória do Sol. É ideal para grandes instalações solares, mas requer uma estrutura robusta e manutenção para lidar com condições de vento forte. O rastreador de dois eixos está representado na Figura 2.14 d).
5. **Rastreador de Plataforma Rotativa de Dois Eixos:** Equipado com uma plataforma que gira para rastrear o Sol no sentido leste-oeste, enquanto um eixo hidráulico ajusta a inclinação para o rastreamento norte-sul. Requer manutenção regular para cuidar das partes móveis e garantir a remoção de obstáculos que podem impactar a eficiência. O rastreador de plataforma rotativa de dois eixos está representado na Figura 2.14 e).

Figura 2.14: Seguidores solares ativos: a) de eixo horizontal, b) de eixo vertical, c) polar de eixo único, d) de dois eixos, e e) de plataforma rotativa de dois eixos.



Fonte: Adaptado de Narendrasinh, Parmar e Parmar (2015).

2.4.3 Ganho Fotovoltaico

A performance dos painéis é impactada tanto pela temperatura quanto pela irradiância que atinge as células fotovoltaicas, além desses fatores, sombreamentos em apenas uma célula podem resultar na inibição da produção de energia pelo módulo fotovoltaico, a temperatura tem efeito na tensão fornecida pelos terminais do módulo e, conseqüentemente, em sua potência de saída, a intensidade da corrente elétrica gerada por uma célula fotovoltaica é diretamente proporcional à quantidade de radiação incidente sobre ela.

Uma abordagem para otimizar a produção de energia solar é a utilização de um seguidor solar que desempenha a função de alinhar os painéis solares de forma contínua para captar a máxima incidência de radiação solar, essa otimização ocorre por meio do acompanhamento das variações na posição do Sol em relação à Terra ao longo do dia e ao longo das estações do ano, para viabilizar esse alinhamento dinâmico o sistema elétrico da base giratória assegura o reposicionamento dos módulos solares, esse reposicionamento é alcançado através da integração de mecanismos e estruturas de seguidores de um eixo com rotações na horizontal ou vertical ou de dois eixos.

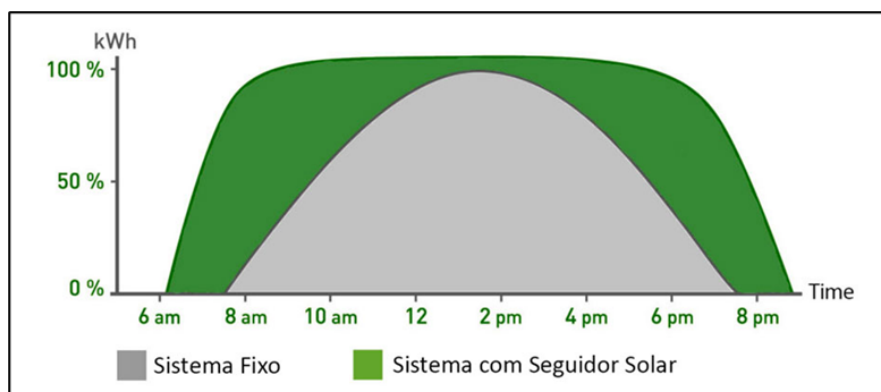
O uso cada vez mais frequente de rastreadores solares em usinas fotovoltaicas é uma prática respaldada pelos benefícios evidentes que esses dispositivos oferecem. Os rastreadores desempenham uma importante função ao possibilitar um aumento considerável na produção de energia, o que, por sua vez, aprimora a rentabilidade dos projetos de geração fotovoltaica.

Durante o inverno, a inclinação solar é máxima e a potência energética da luz solar é mínima; em contraste, o verão é marcado pelo percurso solar mais elevado no céu e por uma maior visibilidade ao longo do dia. Essa alteração na trajetória solar faz com que os raios solares incidam de forma mais perpendicular, resultando em uma eficiência energética substancialmente maior. A magnitude desse efeito é ainda mais pronunciada à medida que nos afastamos da linha do Equador. Regiões próximas aos círculos polares experimentam variações mais acentuadas entre as estações, enquanto áreas equatoriais apresentam diferenças menos notáveis entre duração diurna e

noturna.

Na figura representada na Figura 2.15, é possível visualizar a variação da energia produzida ao longo de um dia, tanto em uma instalação fotovoltaica fixa quanto em uma equipada com rastreadores fotovoltaicos de dois eixos. A curva cinza demonstra a energia gerada pela instalação estática, enquanto a curva verde ilustra o desempenho da instalação com rastreadores de dois eixos. Ambas as configurações utilizam os mesmos painéis.

Figura 2.15: Comparação do ganho fotovoltaico entre painéis fixos e com seguidor solar.



Fonte: VALLDORÉIX GREENPOWER (). .

O destaque está na observação de que os painéis equipados com rastreadores solares receberam uma quantidade substancialmente maior de radiação solar, resultando em uma produção energética ampliada ao longo do dia. Essa melhoria se traduz em um aumento aproximado de 40% na eficiência quando comparada à instalação estática, de acordo com a empresa catalã de energia renovável Valldoreix Greenpower.

A relação direta entre as coordenadas geográficas e a otimização

da geração de energia solar é inegável. A latitude de um local determina as trajetórias solares, o que impacta o ângulo de incidência da radiação solar sobre os painéis. Conseqüentemente, o conhecimento preciso da orientação e inclinação do local é vital para o adequado ajuste dos rastreadores solares.

2.4.4 Ganho Heliotérmico

A energia solar concentrada ou sistemas de energia heliotérmicos concentrados utilizam espelhos ou lentes para concentrar uma grande área de luz solar ou energia térmica solar em uma pequena área. A energia elétrica é produzida quando a luz concentrada é convertida em calor, o qual aciona um motor térmico (geralmente uma turbina a vapor) conectado a um gerador de energia elétrica ou alimenta uma reação termoquímica.

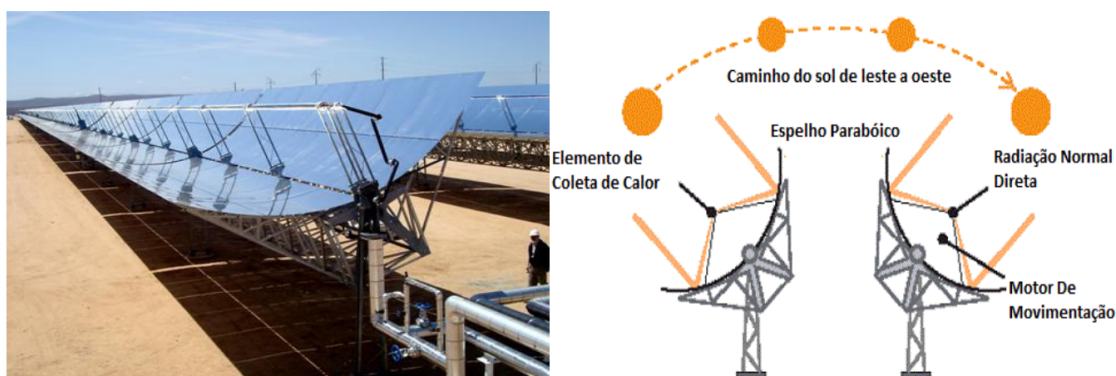
Os Seguidores Solares desempenham um papel interessante nos sistemas heliotérmicos, uma vez que garantem o alinhamento constante entre os coletores solares e a posição do Sol, maximizando a eficiência na captação de energia. Em sistemas de energia heliotérmica, a capacidade de rastrear com precisão o movimento solar é fundamental para concentrar a maior quantidade possível de radiação solar em uma área reduzida, aumentando a eficiência térmica e, por consequência, a produção de energia.

Uma das configurações que pode ser utilizada para captação da energia térmica do sol é a calha parabólica, que consiste em um refletor de forma parabólica que concentra a radiação solar em uma tubulação posicionada no foco da parábola. Frequentemente, essa tubulação

é encapsulada em um cilindro de vidro para minimizar as perdas térmicas. O fluido de trabalho utilizado é um óleo sintético, que opera em um intervalo de temperatura de 300°C a 400°C . A energia térmica acumulada neste fluido é empregada tanto na produção de eletricidade quanto em processos industriais que requerem calor (figura 2.16).

A utilização do concentrador parabólico acoplado a um seguidor solar aprimora a eficiência desses sistemas. Essa combinação de tecnologias permite uma captura otimizada de energia solar, aumentando significativamente a eficiência energética dos sistemas heliotérmicos e contribuindo para a viabilidade e expansão dessa forma de geração de energia.

Figura 2.16: Concentradores parabólicos acoplados a seguidores solares.



Fonte: RENEWABLE POWER NEWS. .

2.5 INSTRUMENTOS SOLARIMÉTRICOS

A radiação solar que chega à superfície terrestre é influenciada por diversos fatores, como o ciclo e atividade solar, o ciclo das estações do ano e o ciclo diário resultante dos movimentos da Terra em torno

do Sol, além disso, fatores climáticos e atmosféricos, como nuvens, aerossóis e emissões de gases de origem natural (como vulcões) e de atividades humanas, também impactam a variação da radiação solar, portanto, a escolha da instrumentação para coletar dados de campo precisa ser sensível o suficiente para detectar todas essas variações e possuir estabilidade temporal compatível com a menor variabilidade que se deseja medir (Martins; Pereira, 2020). Os sensores utilizados para adquirir dados de radiação solar utilizam sinais elétricos para avaliar os parâmetros físicos medidos, para isso, é possível converter os parâmetros associados à radiação solar por meio de diferentes processos físicos, conforme apresentado na Tabela 2.1.

Tabela 2.1: Principais Processos Físicos em que se Baseiam Sensores de Radiação Solar

Categoria	Processo de Medida	Sensores
Térmico	Termopar	Actinógrafo
Térmico	Termopilha	Piranômetro Pireliômetro Pirgeômetro
Elétrico	Efeito fotoelétrico	Luxímetro Fotodiodo Medidor Quantum Câmeras Fotográficas
Ótico	Conversão de radiação UV através de elementos fluorescentes	Radiômetro GUV Espectro Radiômetro
Molecular	Reação química em emulsões	Papel fotográfico

Fonte: Martins e Pereira (2020).

A inclusão de sensores assume um papel notável nesse cenário; dispositivos de medição solar, como piranômetros e aparelhos para avaliar a radiação global, coletam dados referentes à intensidade da radiação solar incidente; essas informações são então processadas para calibrar a orientação dos painéis e dos sensores; mediante o emprego do sistema de rastreamento. A automação e a aplicação de sensores garantem a capacidade do sistema de reagir de maneira dinâmica às modificações nas condições de iluminação; resultando em uma utilização mais eficaz da energia solar disponível, com essa abordagem, a combinação entre seguidores solares e sensores desempenha uma função fundamental na otimização do desempenho dos sistemas de captação de energia solar; contribuindo assim para a promoção de fontes de energia mais sustentáveis e ecologicamente corretas.

2.5.1 Heliógrafo e Actinógrafos

Os primeiros dispositivos para registrar radiação solar fundamentavam-se em abordagens mecânicas e óticas para capturar e documentar a incidência de radiação solar, sendo esses instrumentos ainda relevantes na contemporaneidade devido à sua disseminação generalizada, como os heliógrafos e actinógrafos, estes desempenharam um papel pioneiro nos modernos sistemas de aquisição de dados.

O heliógrafo, por exemplo, é utilizado para medir a duração da insolação. Ele registra a luminosidade solar por meio de marcas escuras em uma fita de papel graduada em intervalos de tempo. O dispositivo possui um sistema mecânico que desloca continuamente essa fita ao longo do dia sobre um ponto focal, determinado por

uma esfera de cristal que atua como uma lente convergente. Essa lente concentra a radiação solar em uma posição específica da fita. À medida que o Sol se desloca, a radiação é focada e intensificada, permitindo calcular a radiação solar com o uso de diversas correlações desenvolvidas. .

Conforme a pesquisa de Martins e Pereira (2020), o Heliógrafo de Campbell-Stokes, criado em 1853, detém a série histórica mais extensa de medição de insolação já documentada, estando apresentado na Figura 2.17, este dispositivo não oferece dados sobre irradiação ou irradiância solar, mas sim sobre as horas de insolação, ou seja, as horas de brilho solar direto.

Figura 2.17: Heliógrafo de Campbell-Stokes.



Fonte: Massen (2016). .

Outro dispositivo mecânico de destaque é o Actinógrafo, ilustrado na Figura 2.18, também conhecido como Piranôgrafo. Sua função principal é medir a radiação solar. O dispositivo consiste em um sensor dotado de pares bimetalícos, que incorpora uma pena com tinta na ponta, funcionando como elemento de registro. Sob a influên-

cia da radiação solar, o par bimetálico se movimenta, transmitindo esse movimento à pena, o que resulta na marcação de uma folha de papel graduada em intervalos de tempo. Essa folha é fixada ao redor de um cilindro, que executa uma rotação gradual ao longo do dia, de forma semelhante ao funcionamento do heliógrafo.

Com o surgimento dos microprocessadores integrados na década de 70, os sistemas eletrônicos começaram a substituir progressivamente a engenharia mecânica desses dispositivos, eliminando o uso de registradores de papel.

Figura 2.18: Actinógrafo.



Fonte: BMKG (2022). .

2.5.2 Piranômetros, Pireliômetros e Fotômetro Solar

Os Piranômetros Semicondutores possuem uma célula fotovoltaica como elemento sensor, geralmente feita de silício monocristalino, essas fotocélulas têm a capacidade de gerar corrente elétrica quando expostas à luz, sendo que essa corrente, na condição de curto-circuito, é proporcional à intensidade da radiação incidente, já os Piranômetros Termoelétricos, como mostrado na Figura 2.19, usam uma pilha termoelétrica como elemento sensível, essa pilha é composta por termopares em série, que geram uma tensão elétrica proporcional à diferença de temperatura entre suas junções, essas junções entram em contato térmico com placas metálicas que se aquecem de maneira diferente quando expostas à luz, portanto, a diferença de potencial medida na saída do instrumento pode ser correlacionada com o nível de radiação incidente (Martins *et al.*, 2017).

Figura 2.19: Piranômetro.



Fonte: RecursoSolar (2016).

O pireliômetro, ilustrado na Figura 2.20, é um radiômetro que mede a luz solar de ondas curtas, similar ao piranômetro. No entanto,

o pireliômetro possui um colimador que permite apenas a componente direta normal da radiação solar (G_{dni}) atingir o sensor de termopilha. Esse colimador segue um padrão internacional com um campo de visão de 5° de ângulo sólido.

O dispositivo apresenta uma curva de resposta espectral que cobre o intervalo de 0,2 a 4 μm , abrangendo, assim, ondas curtas. Sua estrutura inclui um sensor de termopilha, uma janela de quartzo plano que protege o detector e o interior do tubo, e uma mira para ajustar o alinhamento com o feixe de radiação solar direta. Além disso, o corpo do pireliômetro é revestido internamente com tinta preta fosca para minimizar reflexões indesejadas.

Figura 2.20: Pireliômetro.



Fonte: Kipp e Zonen (2017). .

O pireliômetro, quando utilizado em conjunto com um sistema seguidor solar, deve ser continuamente direcionado para o Sol. Esse

sistema robotizado, dotado de um firmware¹ interno, é capaz de seguir automaticamente a trajetória solar na abóbada celeste. Após ser posicionado corretamente em relação à direção Norte/Sul geográfica e configurado com as coordenadas geográficas e a data/horário locais, o seguidor solar assegura que o sensor esteja constantemente apontado para a fonte solar, garantindo medições precisas da radiação solar direta. A precisão do sistema robótico é notável e, em alguns modelos, há inclusão de um detector solar que possibilita o realinhamento automático do seguidor, embora tal funcionalidade opere apenas sob condições de céu limpo.

O pireliômetro é equipado com um pequeno orifício na sua borda frontal, denominado indicador de alinhamento, que projeta a luz solar sobre um ponto marcado na borda posterior do dispositivo, permitindo que o operador verifique se o equipamento está adequadamente alinhado com a direção do feixe de irradiação direta. Essa verificação visa minimizar incertezas, garantindo, por consequência, a qualidade das observações efetuadas. Assim, o operador pode certificar-se de que o equipamento está devidamente orientado para obter medidas precisas da radiação solar direta.

No tocante à obtenção de dados sobre a radiação solar difusa, é necessário suprimir o feixe de radiação solar direta. Duas técnicas comuns são empregadas para sombrear os sensores: o anel de sombreamento e o seguidor solar com esfera de sombreamento. O anel de sombreamento, ilustrado na Figura 2.21, possui uma cinta circular

¹Firmware é um tipo de software que é permanentemente embutido no hardware de um dispositivo. Ele atua como um conjunto de instruções que controlam o funcionamento básico do sistema.

ou semicircular e é posicionado no suporte do piranômetro para que a sombra do anel permaneça projetada de forma precisa sobre o elemento sensor durante a trajetória aparente do Sol na abóbada celeste. Contudo, é necessário ajustar periodicamente o anel para compensar a variação sazonal da declinação solar ao longo do ano. Embora uma abordagem relativamente simples e econômica, essa técnica apresenta a desvantagem de reduzir a incidência da radiação solar difusa no sensor.

Uma alternativa mais moderna, embora mais dispendiosa, é o uso da esfera de sombreamento com o seguidor solar, que tem menor impacto nas incertezas das medições realizadas. Nesse caso, a esfera, pintada de negro fumo, é acoplada ao seguidor solar e projetará a sombra exatamente sobre o elemento sensor, evitando o problema de encobrimento parcial do céu causado pelo anel de sombreamento. O seguidor solar possibilita o uso de múltiplas esferas para o sombreamento simultâneo de diversos radiômetros, incluindo o piranômetro utilizado para medir a radiação difusa e o pirgeômetro utilizado para medir a radiação de onda longa.

Figura 2.21: Sistemas para sombreamento do piranômetro utilizados na aquisição de dados de radiação difusa: anel de sombreamento (a) e esfera de sombreamento com rastreador solar (b).



Fonte: Martins *et al.* (2017).

O fotômetro solar, mostrado na Figura 2.22, é um dispositivo que fornece informações sobre a profundidade óptica e a distribuição de tamanho dos aerossóis atmosféricos (AOT), bem como sobre a quantidade de água precipitável na coluna atmosférica. Ele é uma adaptação do pireliômetro, com a diferença de que utiliza filtros para adquirir dados em várias faixas do espectro solar, onde ocorrem processos de interação da radiação solar com aerossóis e vapor d'água. Essa abordagem permite uma análise mais detalhada das características dos aerossóis e do vapor d'água presentes na atmosfera, tornando o fotômetro solar uma ferramenta valiosa para estudos climáticos e ambientais.

Figura 2.22: Fotômetro Solar.



Fonte: INPE (2007).

2.5.3 Espectrorradiômetros

A espectrorradiometria de reflectância desempenha um papel fundamental como técnica subjacente nos radiômetros e espectrorradiômetros. Essa abordagem viabiliza a captura do fluxo de radiação eletromagnética refletida pelos materiais, tudo isso sem a necessidade de contato físico entre o sensor e o objeto em análise. A quantidade de energia refletida está intrinsecamente vinculada a três fatores distintos: a energia eletromagnética incidente, proveniente tanto de fontes solares quanto de fontes artificiais; a quantidade de energia absorvida; e a quantidade de energia transmitida.

Espectrorradiômetros, como o ilustrado na Figura 2.23, representam sensores especializados na medição da radiação refletida, ou radiância, bem como da radiação incidente, ou irradiância, o que pro-

porciona a capacidade de determinar a reflectância de uma amostra específica. Esses dispositivos funcionam por meio da decomposição da radiação incidente em diferentes comprimentos de onda, resultando em uma avaliação contínua da intensidade relativa da energia refletida em todo o espectro eletromagnético, o que gera um conjunto de dados conhecido como assinaturas espectrais.

Figura 2.23: Espectrorradiômetro.



Fonte: ASTRO34 (2020). .

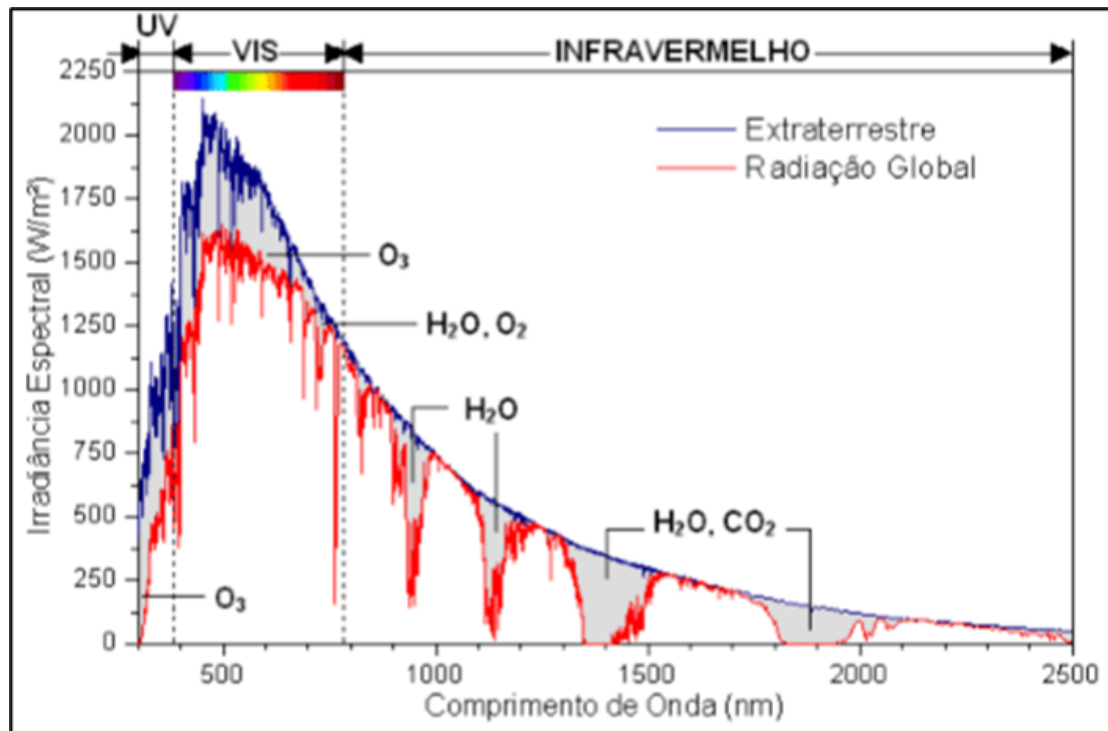
A energia eletromagnética, ao atravessar a atmosfera terrestre, passa por processos de absorção, reflexão e dispersão. Os gases da atmosfera absorvem diferentes comprimentos de onda da radiação solar que chega à Terra, assim como a energia emitida pela superfície terrestre. Diferentes regiões do espectro eletromagnético experimentam níveis diversos de absorção atmosférica no topo da atmosfera, às vezes resultando em pouca penetração de energia na

superfície terrestre. Essa interação entre a energia e a atmosfera pode ser analogamente comparada a uma cortina que age como um filtro, cujo efeito de atenuação ou bloqueio varia de acordo com o tecido utilizado. Analogamente, os diversos tipos de gases presentes na atmosfera terrestre podem ser equiparados a diferentes tecidos da cortina, cada qual atenuando a energia eletromagnética de forma distinta.

Na Figura 2.24, é ilustrada a distribuição do espectro de energia eletromagnética proveniente do Sol no topo da atmosfera (extraterrestre) e na superfície terrestre (radiação global), considerada ao nível do mar. As áreas sombreadas correspondem às absorções causadas pelos vários gases presentes em uma atmosfera livre de poluentes.

Os principais gases responsáveis pela absorção de radiação eletromagnética são vapor d'água (H_2O), oxigênio (O_2), ozônio (O_3) e dióxido de carbono (CO_2). Gases como CO , CH_4 , NO e N_2O ocorrem em quantidades reduzidas, mas também apresentam espectros de absorção. Cerca de 70% da energia solar está concentrada na faixa espectral entre 0,3 e 0,7 μm , uma região em que a atmosfera absorve relativamente pouco, permitindo que a maior parte da energia solar alcance a superfície terrestre.

Figura 2.24: Distribuição espectral da energia solar ao nível do mar (radiação global) e acima da atmosfera terrestre (extraterrestre), e principais gases absorvedores da radiação solar.



Fonte: Dornelles (2008). .

Por outro lado, existem regiões no espectro eletromagnético em que a atmosfera é opaca, absorvendo integralmente a energia eletromagnética. Na faixa ultravioleta e visível, o ozônio (O_3) é o principal absorvedor da energia solar, desempenhando um papel vital ao proteger a Terra dos raios ultravioletas, que são prejudiciais para a vida vegetal e animal. Na região do infravermelho, os principais gases absorvedores são o vapor d'água (H_2O) e o dióxido de carbono (CO_2).

2.5.4 Imageador do Céu

Existem dois métodos básicos para obter dados sobre a nebulosidade (ou cobertura de nuvens) da superfície terrestre. O primeiro envolve a avaliação visual feita por observadores, enquanto o segundo faz uso de dispositivos de imagem do céu. Geralmente, especialistas treinados em estações meteorológicas seguem os padrões estabelecidos pela Organização Meteorológica Mundial (WMO). Durante o processo de observação, é cuidadosamente selecionado um local que ofereça uma visão desobstruída do céu em todas as direções possíveis. A estimativa da cobertura de nuvens considera que elas estão distribuídas em uma camada contínua. Essa cobertura é expressa como uma fração da área total, frequentemente aproximada em oitavos (octas) ou décimos. Em situações de nevoeiros densos, o céu é considerado como completamente nublado, ocupando os 8 octas. Se o Sol ou as estrelas forem visíveis através do nevoeiro e não houver nuvens acima deles, a fração de cobertura é registrada como zero.

É importante notar que a observação visual realizada por técnicos na superfície, apesar de ser amplamente aceita, é altamente subjetiva. Para reduzir essa subjetividade e permitir o estudo da variação temporal das nuvens em intervalos de minutos, têm sido empregadas câmeras all sky. Esses dispositivos identificam a presença e a fração de cobertura de nuvens, mesmo em áreas de difícil quantificação.

Recentes estudos têm explorado padrões para distinguir nuvens em imagens do céu. Imageadores têm a capacidade de minimizar a subjetividade, possibilitando análises em curtos intervalos de tempo

(Urquhart *et al.*, 2015). Modelos, exemplificados na Figura 2.25, são frequentemente utilizados para corrigir a saturação de imagens. Isso é alcançado por meio da combinação de várias exposições, superando a limitação técnica das câmeras comuns.

Apesar das imagens precisas fornecidas pelos satélites geoestacionários, sua baixa frequência de coleta (geralmente entre 15 a 60 minutos) não captura adequadamente a variação temporal de curto prazo das nuvens, especialmente sobre sistemas de geração solar, como a geração heliotérmica. Como resultado, é necessária uma complementação desses dados com informações de outras fontes para uma compreensão completa da dinâmica das nuvens.

Figura 2.25: Imageador All Sky.

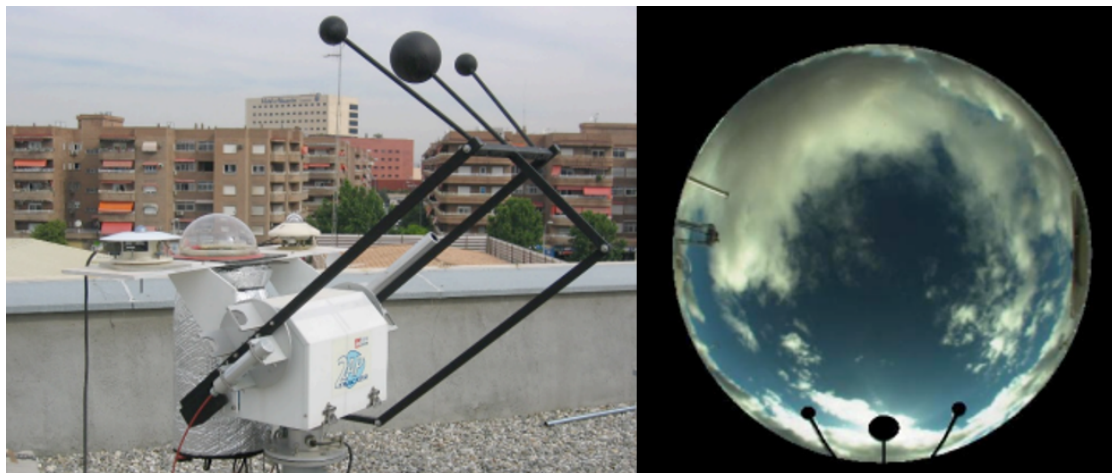


Fonte: EKO Instruments (2023). .

O Imageador All Sky, um dispositivo de relevância na avaliação da cobertura de nuvens, pode ser eficientemente integrado a um seguidor solar. Nesse arranjo, a imagem solar é propositadamente ocultada por uma das esferas de sombreamento do rastreador, gerando uma

sombra sobre a lente da câmera. Esse engenhoso processo possibilita a captura de imagens coloridas do firmamento, com especial ênfase na cobertura de nuvens, sem comprometer a integridade da câmera. Na Figura 2.26, visualizamos a integração do Imageador ao seguidor solar desenvolvido pela empresa Kipp e Zonen. Conforme a Terra segue sua rotação, a esfera de sombreamento do rastreador solar atua como um guardião, preservando a câmera dos raios solares. Esse sistema meticuloso permite a aquisição contínua de imagens da cobertura de nuvens desde o alvorecer até o crepúsculo. Ademais, essa plataforma engloba também a implementação de uma câmera infravermelha, um acréscimo que habilita a captura de imagens noturnas das formações nubladas.

Figura 2.26: Imageador All Sky Operando em um Seguidor Solar com Esferas Sombreadoras.



Fonte: Cazorla Cabrera et.al. (2010). .

2.6 ALGORITMOS PARA CÁLCULO DA POSIÇÃO DO SOL

Dentro da literatura, uma série de algoritmos é empregada para determinar a posição solar. Tais algoritmos diferem principalmente em termos de precisão, complexidade e extensão de validade temporal da aplicabilidade, derivados de observações históricas da posição solar, alguns destes algoritmos (NOAA, 2023; Reda; Andreas, 2004; Blanco-Muriel *et al.*, 2001; Michalsky, 1988; Walraven, 1978) baseiam-se em simplificações do *The Astronomical Algorithms* (Meeus, 1998). A simplificação das equações pode ser realizada mediante a adoção de duas estratégias: diminuição da vigência temporal em favor da precisão (Blanco-Muriel *et al.*, 2001) ou manutenção de um amplo período de validade em detrimento da precisão (Michalsky, 1988).

Cooper (Cooper, 1969) introduziu o cálculo da posição solar como parte da avaliação da irradiância solar incidente em sistemas concentrados. Swift (Jr, 1976) incorporou a posição solar na análise da irradiância potencial em declives, considerando medições em superfícies horizontais próximas. Pitman e Vant-Hull (Pitman; Vant-Hull, 1978) formularam equações para calcular as coordenadas eclípticas do Sol, desenvolvendo o programa SUNLOC para coordenadas horizontais. Walraven (Walraven, 1978) propôs um algoritmo simplificado com base no *The Astronomical Ephemeris*, calculando declinação, ascensão direta, azimute e elevação. Lamm (Lamm, 1981) apresentou uma expressão analítica para a equação do tempo através de séries de Fourier. Michalsky (Michalsky, 1988) implementou um algoritmo adaptado do *The Astronomical Almanac*, abordando várias coordenadas solares e a influência da refração atmosférica.

Blanco-Muriel *et al.* (2001) desenvolveram um algoritmo para sistemas de alta concentração térmica e permite o uso de sistemas microprocessados de menor capacidade de processamento para o cálculo do azimute e zênite solar, este algoritmo foi desenvolvido pelos pesquisadores da Plataforma Solar de Almería e foi nomeado como PSA.

Reda e Andreas (2004) criaram o algoritmo SPA, com um amplo intervalo de tempo, devido à larga faixa de validade, o algoritmo, desenvolvido pelo National Renewable Energy Laboratory (NREL) nomeado *Solar Position Algorithm* (SPA) requer uma grande quantidade de cálculos.

Grena (2008) elaborou um algoritmo com precisão intermediária, onde a complexidade computacional foi um pouco aumentada em relação aos algoritmos menos precisos e em 2012 propôs cinco algoritmos válidos para usinas fotovoltaicas planejadas. O NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) desenvolveu os Cálculos Gerais de Posição Solar, simplificando as etapas algorítmicas com base nas equações do *Astronomical Algorithms* (Meeus, 1998).

Para o rastreamento da posição do Sol utilizado no desenvolvimento do protótipo inicial, foram utilizadas as equações das planilhas que se encontram no site do NOAA, essas equações são uma representação matemática dos movimentos orbitais e rotacionais do Sol e da Terra, levando em consideração fatores como a excentricidade da órbita da Terra, a obliquidade da eclíptica e a refração atmosférica.

Tabela 2.2: Algoritmos para o Cálculo da Posição do Sol

Algoritmo	Período de Validação	Precisão
Cooper (1969)	-	-
Swift (1976)	-	-
Pitman e Vant-Hull (1978)	-	~41 segundos
Walraven (1978)	-	0.01°
Lamm (1981)	-	~0.65 segundos
Michalsky (1988)	1950 - 2050	0.01°
Blanco-Muriel et al. (2001)	1999 - 2015	0.5 minutos
Blanc e Wald (2012)	1980 - 2030	~10 segundos
SPA (Reda; Andreas, 2004)	2000 - 6000	±0.0003°
Grena 1-5 (2012)	2010 - 2110	0.2° - 0.0027°
NOAA	1901 - 2099	~0.01°

Fonte: Elaborada pelo Autor.

Para o rastreamento da posição do Sol utilizado no desenvolvimento do protótipo inicial, foram utilizadas as equações das planilhas que se encontram no site do NOAA, essas equações são uma representação matemática dos movimentos orbitais e rotacionais do Sol e da Terra, levando em consideração fatores como a excentricidade da órbita da Terra, a obliquidade da eclíptica e a refração atmosférica.

O código a seguir implementa as equações para calcular a posição solar em um determinado local e momento. Ao fornecer as coordenadas geográficas (latitude e longitude), a data e o horário, o código utiliza essas equações para determinar com precisão a posição do Sol no céu em relação ao observador. Os resultados incluem a elevação solar, que é o ângulo do Sol acima do horizonte, e o azimute solar, que é o ângulo horizontal medido a partir do Norte no sentido horário até a direção do Sol. O cálculo da posição solar em linguagem

C++, utilizando as equações fornecidas pelo NOAA, está apresentado abaixo:

```

1 // Calculo do Dia Juliano (DJ) para a data fornecida
2 DJ = CalcularDiaJuliano(ano, mes, dia);
3
4 // Calculo da fracao do dia correspondente a hora, minuto e
   segundo fornecidos
5 DJ_frac = (hora + minuto / 60.0 + segundo / 3600.0) / 24.0 - 0.5;
6
7 // Calculo do valor T (intervalo em seculos desde a data de
   referencia)
8 T = DJ - 2451545;
9 T = (T + DJ_frac) / 36525.0;
10
11 // Calculo de L0, a longitude media do Sol em radianos
12 L0 = GRAU_PARA_RAD * fmod(280.46645 + 36000.76983 * T, 360);
13
14 // Calculo de M, a anomalia media do Sol em radianos
15 M = GRAU_PARA_RAD * fmod(357.5291 + 35999.0503 * T, 360);
16
17 // Calculo da excentricidade da orbita da Terra
18 excentricidade = 0.016708617 - 0.000042037 * T;
19
20 // Calculo de C, a equacao de centro, que ajusta a anomalia media
   para obter a verdadeira
21 C = GRAU_PARA_RAD * ((1.9146 - 0.004847 * T) * sin(M) + (0.019993
   - 0.000101 * T) * sin(2 * M) + 0.00029 * sin(3 * M));
22
23 // Calculo da anomalia verdadeira f
24 f = M + C;
25
26 // Calculo da obliquidade da ecliptica em radianos
27 obliquidade = GRAU_PARA_RAD * (23 + 26 / 60.0 + 21.448 / 3600.0 -
   46.815 / 3600.0 * T);
28
29 // Calculo de DJx, a diferenca entre o Dia Juliano calculado (DJ)
   e o Dia Juliano de referencia (2451545)
30 DJx = DJ - 2451545;

```

```
31
32 // Calculo do angulo horario do meridiano de Greenwich
33 AngHorario = 280.46061837 + fmod(360 * DJx, 360) + 0.98564736629 *
    DJx + 360.98564736629 * DJ_frac;
34
35 // Normalizacao para o intervalo [0, 360] graus
36 AngHorario = fmod(AngHorario, 360.0);
37
38 // Calculo da longitude verdadeira do Sol
39 L_VERD = fmod(C + L0, 2 * PI);
40
41 // Calculo da distancia entre a Terra e o Sol
42 distancia = 1.000001018 * (1 - excentricidade * excentricidade) /
    (1 + excentricidade * cos(f));
43
44 // Calculo da ascensao reta do Sol (AR)
45 AR = atan2(sin(L_VERD) * cos(obliquidade), cos(L_VERD));
46
47 // Calculo da declinacao do Sol
48 declinacao = asin(sin(obliquidade) * sin(L_VERD));
49
50 // Calculo do angulo horario (AngHorario)
51 AngHorario = GRAU_PARA_RAD * AngHorario + Long - AR;
52
53 // Calculo da elevacao solar corrigida para refracao atmosferica
54 elevacao = asin(sin(Lat) * sin(declinacao) + cos(Lat) * (cos(
    declinacao) * cos(AngHorario)));
55
56 // Calculo do azimute solar (0 graus e o Norte)
57 azimute = PI + atan2(sin(AngHorario), cos(AngHorario) * sin(Lat) -
    tan(declinacao) * cos(Lat));
58 azimute_solar = azimute / GRAU_PARA_RAD;
59 elevacao_solar = elevacao / GRAU_PARA_RAD;
```

3. METODOLOGIA

Este capítulo aborda os caminhos metodológicos adotados para o desenvolvimento da pesquisa, destacando tanto sua abordagem quanto sua tipologia. Além disso, oferece ao leitor uma visão aprofundada do contexto investigado, dos sujeitos envolvidos e dos instrumentos de pesquisa utilizados para coletar as informações necessárias. No âmbito da intervenção didática, serão discutidos os métodos específicos empregados para aprimorar o processo de aprendizagem, proporcionando uma melhor compreensão das práticas e estratégias educacionais utilizadas.

3.1 TIPO DE PESQUISA

Diversas abordagens de pesquisa podem ser aplicadas para investigar diferentes aspectos de um problema. Dentre elas, destacam-se a pesquisa qualitativa e a quantitativa. Cada abordagem possui métodos e características específicas, sendo sua escolha orientada pelos objetivos da pesquisa e pela natureza dos dados que se deseja analisar.

A opção pela abordagem quantitativa nesta pesquisa é motivada

pela necessidade de mensurar e analisar de forma objetiva os fenômenos em estudo, utilizando-se de técnicas estatísticas que garantem precisão e confiabilidade nos resultados. Segundo (Gatti, 2004) o método quantitativo se caracteriza pelo uso de dados numéricos e por técnicas de quantificação aplicadas tanto na coleta quanto no tratamento das informações. Isso inclui o emprego de ferramentas estatísticas, que permitem estabelecer relações e tendências de forma sistemática. Essa abordagem é especialmente adequada quando se busca testar hipóteses, identificar padrões ou generalizar os resultados obtidos para populações mais amplas.

A opção pela abordagem qualitativa nesta pesquisa é motivada pelo seu propósito central de proporcionar uma compreensão aprofundada dos fenômenos, explorando perspectivas humanas e experiências vividas. Ao integrar essa abordagem com tecnologias modernas, como o seguidor solar, abre-se um amplo horizonte de possibilidades para investigação educacional e científica. Conforme destacado por Ludke e André (1986), o pesquisador qualitativo concentra-se na análise de como um determinado problema se manifesta no contexto investigado, priorizando a compreensão das perspectivas dos participantes. Essa abordagem permite uma análise mais profunda e contextualizada dos fenômenos em questão.

No âmbito da pesquisa sobre seguidores solares, destaca-se a importância de explorar a experiência do usuário. Isso implica compreender como os indivíduos interagem com essa tecnologia, suas percepções sobre o funcionamento do seguidor e como essa experiência influencia seu conhecimento e interesse em energia solar e Astronomia.

Na abordagem qualitativa, empregamos uma diversidade de métodos de análise, realizando uma triangulação das informações coletadas para assegurar a robustez da pesquisa. No contexto específico deste estudo, adotamos instrumentos como questionários, relatórios e observação.

Como parte das atividades preparatórias, o professor pesquisador conduziu uma extensa pesquisa bibliográfica para fundamentar o estudo. Além disso, ele utilizou softwares de simulação para modelar o comportamento do seguidor solar em diferentes condições atmosféricas.

Como parte da pesquisa experimental, o professor montou protótipos do seguidor solar. Esses protótipos foram utilizados para testar e validar as previsões feitas pelos softwares de simulação, proporcionando uma análise prática do comportamento do seguidor.

Além disso, durante todo o processo de pesquisa, o professor realizou testes de funcionamento dos protótipos, registrando os resultados obtidos para análise posterior.

Essas atividades do professor pesquisador foram fundamentais para o desenvolvimento e a validação do estudo sobre seguidores solares, contribuindo para a compreensão dos fenômenos estudados.

3.2 LOCAL DE EXECUÇÃO DA PESQUISA

O local escolhido para a pesquisa foi o Centro Estadual De Educação Profissional Aureo De Oliveira Filho (CEEP), situado no bairro Santa Mônica, na cidade de Feira de Santana – BA. Oferece modalidades de ensino que abrangem o Ensino Médio Integrado (EPI)

e Profissional Subsequente (PROSUB). O CEEP, é a escola de lotação do pesquisador, proporcionando maior liberdade no planejamento e realização da pesquisa. Ver Figura 3.1.

Figura 3.1: Centro Estadual de Educação Profissional Áureo de Oliveira Filho.



Fonte: CEEP ÁUREO FILHO, Centro Estadual de Educação Profissional Áureo de Oliveira Filho (2013).

Explorar a convergência entre a Eletromecânica e a Astronomia é um desdobramento natural para o pesquisador, que atua como professor nos cursos de Eletromecânica e Eletrotécnica na instituição de ensino. A interseção dessas disciplinas torna-se ainda mais significativa quando incorporamos o seguidor solar, um dispositivo que sintetiza os princípios da eletromecânica com fenômenos celestes.

A integração da eletromecânica neste contexto revela uma aplicação prática dos conhecimentos teóricos ministrados nos cursos. Com motores elétricos, sensores e elementos mecânicos estruturais, o seguidor solar exemplifica a relação entre essas disciplinas. O pesquisador,

por sua vez, busca não apenas aprofundar a compreensão técnica desse dispositivo, mas também explorar como sua implementação pode enriquecer o processo educacional.

Outro local da pesquisa foi a Universidade Salvador (UNIFACS), situado no bairro Santa Mônica, na cidade de Feira de Santana-BA, ver Figura 3.2. A UNIFACS destaca-se como uma das principais instituições de Ensino Superior na Bahia e é reconhecida pela formação com ênfase nas áreas tecnológicas e promoção do empreendedorismo. A inserção da pesquisa na área de Astronomia no contexto do Ensino Superior, especialmente em cursos de Engenharia, desempenha um papel fundamental no enriquecimento da formação acadêmica dos estudantes. Essa abordagem proporciona uma compreensão mais ampla e interdisciplinar, conectando conceitos relacionados a Astronomia com as aplicações práticas e inovações tecnológicas demandadas pela engenharia contemporânea.

Figura 3.2: Universidade Salvador-UNIFACS.



Fonte: UNIFACS.

A pesquisa em Astronomia pode ser explorada em várias vertentes que se alinham com os objetivos e interesses dos cursos de Engenharia. O estudo sobre seguidores solares exemplifica uma área rica e relevante que engloba conhecimentos de Engenharia Elétrica, Mecânica e da Computação, e aborda desafios tecnológicos específicos, mas também está alinhado com as crescentes demandas por soluções sustentáveis no campo da energia.

Além do seguidor solar, pesquisas podem explorar temas como instrumentação em Astronomia, sistemas de controle de satélites, análise de dados espaciais com o uso de inteligência artificial, telescópios automatizados, entre outros. A interseção entre Astronomia e Engenharia não apenas oferece oportunidades para avanços tecnológicos, mas também enriquece o ambiente acadêmico ao incentivar uma abordagem inovadora.

3.3 DEFINIÇÃO DO PÚBLICO-ALVO

A presente pesquisa envolve a participação de dois grupos distintos de estudantes, cada um com características e necessidades educacionais específicas, com o intuito de explorar a implementação do Seguidor Solar em diferentes contextos educacionais. A composição dos grupos de participantes é a seguinte:

1. Grupo 1: Alunos de Engenharia da Computação da UNIFACS (Universidade Salvador) - Este grupo é constituído por 30 alunos matriculados no curso de Engenharia da Computação. Os estudantes deste grupo estão distribuídos entre o 4^o e o 8^o semestre de sua formação acadêmica. São caracterizados por serem alunos

de nível superior com formação em disciplinas relacionadas à matemática, física e ciências da computação. Tais estudantes buscam uma formação técnica avançada e, portanto, têm um profundo interesse em aplicar conceitos teóricos em situações práticas. A escolha deste grupo se justifica pela sua capacidade de compreender e aplicar princípios científicos complexos.

2. Grupo 2: Alunos do 3^o ano do Ensino Profissional Integrado em Eletromecânica do Centro Estadual de Educação Profissional Aureo De Oliveira Filho (CEEP) - Estes estudantes estão em um nível de Ensino Médio Técnico e são caracterizados por sua busca por habilidades práticas e conhecimento em áreas relacionadas à eletromecânica, o ensino profissionalizante representa uma parte significativa de sua formação educacional.
3. Grupo 3: Alunos do 3^o módulo do Ensino Profissional Subsequente em Eletrotécnica do Centro Estadual de Educação Profissional Áureo De Oliveira Filho (CEEP) - Estes estudantes estão em um nível de Ensino Técnico Subsequente e são caracterizados por já terem finalizado o ensino médio e buscam por qualificação profissional.

A distinção entre os três grupos de participantes é fundamental para avaliar como os conhecimentos associados à Astronomia e ao seguidor solar podem ser adaptados e aplicados de maneira eficaz em diferentes contextos educacionais, considerando as diferentes experiências e níveis de conhecimento prévio dos estudantes.

3.4 METODOLOGIA DE INTERVENÇÃO DIDÁTICA

Nos últimos anos, a atuação no Ensino Superior e na Educação Profissional e Tecnológica pelo pesquisador proporcionou a exploração da Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP) como estratégia pedagógica, aplicando-a no desenvolvimento de projetos envolvendo seguidores solares nos cursos técnico integrado de eletromecânica e nos cursos superiores de Engenharia como parte da pesquisa.

Ao abordar o impacto da engenharia e da tecnologia na vida dos alunos, percebe-se que, embora esses conceitos estejam presentes no cotidiano, muitos estudantes não visualizam a aplicação prática dessas disciplinas devido à abordagem tradicional, que frequentemente enfatiza teorias desconectadas da realidade.

No contexto do ensino superior e técnico, os docentes enfrentam desafios comuns, como o número limitado de aulas e a necessidade de atender a turmas numerosas, o que dificulta a interação individualizada. Além disso, a carga de trabalho burocrática, a correção de avaliações e a falta de recursos tecnológicos são obstáculos que precisam ser superados para criar um ambiente de aprendizado mais dinâmico. Diante dessas dificuldades, buscou-se na ABP uma abordagem que visa aprimorar a experiência de aprendizagem dos alunos. Ao adotar essa abordagem, o pesquisador busca não apenas superar as barreiras tradicionais do ensino, mas também instigar a curiosidade e o interesse dos alunos, incentivando uma aprendizagem duradoura em ambas as esferas educacionais em que atua.

A Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP) não é uma abordagem recente. Suas correntes filosóficas surgiram nas primeiras

décadas do século passado, sendo criada por John Dewey em 1916, um professor norte-americano, e contando com a contribuição de seu aluno William Heard Kilpatrick em 1918. Ambos eram críticos da pedagogia tradicional e propunham, em contraposição, a pedagogia de projetos, na qual o aluno se torna o protagonista de sua própria aprendizagem de maneira concreta e significativa.

A introdução e aplicação da Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP) em um ambiente escolar convencional podem apresentar desafios complexos, exigindo uma alteração significativa na abordagem dos professores em suas metodologias para promover o ensino e a aprendizagem.

O trabalho por projetos é defendido por Hernández e Ventura (2017), que propõem a organização da escola por meio de projetos, enfatizando que o este ensino assegura a aprendizagem ao aproximar teoria e prática em uma abordagem emancipatória, favorecendo a contextualização e a flexibilidade dos conteúdos curriculares. A escola pode escolher estruturar o currículo em torno da ABP, ou o professor pode incorporá-la em sua prática, servindo como um complemento para o ensino baseado em unidades (Bender, 2015).

Ao considerar os termos empregados na organização da Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP), é possível identificar elementos que definem a natureza da atividade realizada. Embora esses atributos possam apresentar variações entre diferentes autores, a análise dos aspectos compartilhados orienta a elaboração essencial para a implementação da ABP. A tabela 4.4 é possível visualizar os termos e suas definições delineadas por (Bender, 2015).

Tabela 3.1: Termos e definições da Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP)

TERMO	DEFINIÇÃO
Âncora	É essencial para questionar, fundamentar e motivar a aprendizagem. Deve despertar a curiosidade dos alunos, proporcionando a base para desenvolver e resolver o problema proposto. Além disso, a âncora deve apresentar informações específicas sobre o produto final, destacando sua aplicação prática e valor no mundo real. Recursos como vídeos, reportagens, artigos e apresentações em multimídia podem ser utilizados como âncoras. Essa abordagem contribui para uma introdução informativa, visando cativar o interesse dos alunos desde o início do processo educacional.
Questão Motriz	É a contextualização da âncora, sendo a questão central que estabelece a meta a ser alcançada. Deve ser motivadora e despertar o interesse dos alunos.
Artefatos	São elementos que representam soluções potenciais ao longo do processo, abarcando formas como relato escrito, apresentação, produção de vídeos, portfólios, websites, poema, música, teatro, artigo para jornal, relatório, apresentação oral, protótipos, entre outros. O processo de desenvolvimento desses produtos pode se estender por vários dias.
Desempenho Autêntico	Representa o aprendizado obtido e as atitudes esperadas que os adultos devem adotar no contexto do mundo real.
Brainstorming	É a coleta de ideias dos alunos, sem descartar nenhuma delas. Os alunos precisam desenvolver um plano de tarefas para a resolução do problema.
Aprendizagem Expedicionária	Exige a saída do ambiente escolar, incluindo viagens ou expedições a locais relacionados ao projeto; boas práticas incluem visitas técnicas. Muitas vezes não é necessário.
Voz e Escolha do Aluno	Essa expressão é empregada para indicar que os alunos devem ter algum nível de autonomia na tomada de decisões (alguns defensores da ABP afirmariam que deveriam ter exclusividade no poder de decisão) em relação à escolha do projeto e à definição da questão central.
Web 2.0	São as ferramentas e tecnologias contemporâneas que contribuem para a resolução do problema no projeto.

Fonte: Adaptada, Bender (2014)

3.4.1 Planejamento da Aprendizagem Baseada em Projetos

Antes de implementar a ABP, é imprescindível um planejamento das etapas. Isso inclui a definição clara dos objetivos de aprendizagem, a identificação dos recursos necessários, a alocação adequada de tempo para cada etapa do projeto com os alunos e a preparação dos materiais de pesquisa e roteiros de aprendizagem. Baseado nas etapas descritas por Bender (2014), a seguir, serão apresentadas as etapas essenciais desse processo .

1) Introdução e Planejamento em Equipe

Nesta etapa, é fundamental introduzir os alunos à ABP e realizar o planejamento em equipe. Algumas atividades iniciais sugeridas são:

- Análise da âncora do projeto;
- Discussão sobre a questão motriz que norteará o projeto;
- Entrega de um roteiro inicial de estudo;
- Estabelecimento de um cronograma para guiar as atividades.

O primeiro encontro é essencial para estabelecer os objetivos do projeto e as tarefas a serem realizadas. Além de fornecer aos alunos o material inicial, que servirá como base para o projeto, é fundamental lançar a questão motriz e discutir suas implicações. Em seguida, é distribuído um roteiro de pesquisa para que os alunos comecem a explorar o tema. O tempo necessário para esta etapa pode variar, sendo importante planejá-lo adequadamente.

2) Fase de Pesquisa Inicial: Coleta de Informações

Após a etapa introdutória do projeto, os alunos são convidados a participar de uma dinâmica de grupo conhecida como brainstorming. Essa atividade visa estimular o pensamento criativo, permitindo que os estudantes discutam entre si o tema que já começaram a explorar e proponham possíveis soluções para a questão motriz. Os alunos são divididos em equipes, onde desenvolvem suas ideias sobre o assunto a ser trabalhado, e apresentam suas ideias iniciais ao final da dinâmica.

Após a apresentação, são estabelecidas metas a serem alcançadas e definido o prazo para a realização das atividades. As tarefas são distribuídas entre os membros das equipes, e é discutido o tipo de artefato que cada equipe deve desenvolver até o final do projeto. Essa fase, embora inicie as pesquisas, faz parte do planejamento da equipe, iniciado na etapa anterior, como, por exemplo, o cronograma.

Além disso, os alunos recebem outros roteiros de aprendizagem, nos quais são orientados a coletar informações de diversas fontes, como revistas, jornais, livros, sites, entrevistas com profissionais da área e população local relacionada ao tema. As pesquisas podem ser conduzidas por meio de webquests presentes nos roteiros. Também são realizadas mini lições específicas sobre o tema, oficinas práticas e palestras com especialistas da área, para auxiliar na compreensão do assunto e na construção do artefato.

3) Desenvolvimento e Avaliação Inicial de Protótipos:

Nesta etapa, os encontros são agendados para iniciar o desenvolvimento e a produção do artefato que será apresentado ao final do projeto, em uma exposição pública do trabalho realizado. Essa etapa

geralmente compreende as seguintes etapas:

- **Delineamento:** Nesta etapa, é feito o planejamento detalhado da solução, identificando os recursos necessários para a construção do artefato e distribuindo as tarefas entre os membros do grupo.
- **Construção e Montagem:** Aqui, os alunos colocam em prática as ideias concebidas na fase de delineamento, construindo o artefato propriamente dito.
- **Testes e Calibração:** As equipes testam os produtos desenvolvidos para avaliar sua eficácia e funcionamento.

Durante a fase de testes e calibração, é realizada uma avaliação inicial do trabalho desenvolvido, conhecida como avaliação formativa dos protótipos até o momento produzidos. É importante destacar que a avaliação formativa tem como objetivo principal incentivar os alunos, fornecendo feedbacks positivos que estimulem seu processo de aprendizagem.

4) Segunda Fase da Pesquisa

Após as considerações feitas pela avaliação formativa da etapa anterior, é iniciada a segunda fase da pesquisa, na qual são conduzidas investigações adicionais para a conclusão dos artefatos. Os artefatos devem ser revisados para a apresentação final.

Nesta etapa, as novas pesquisas têm como objetivo preencher as lacunas restantes no projeto, evitando alterações substanciais que possam comprometer o trabalho já iniciado.

A profundidade da pesquisa nesta fase varia de acordo com a equipe, considerando o que já foi pesquisado e desenvolvido anteriormente. Em alguns casos, podem ser necessárias alterações nas soluções propostas, buscando alternativas caso a avaliação formativa não tenha sido satisfatória. No entanto, é importante ressaltar que o objetivo da avaliação formativa não é atribuir notas, mas auxiliar no desenvolvimento do projeto.

5) Desenvolvimento da apresentação final

Esta etapa representa uma das últimas fases do trabalho, na qual as equipes devem finalizar os preparativos antes da apresentação final. São realizados os últimos ajustes no projeto em relação aos detalhes do artefato, que pode ser um protótipo, uma maquete, um site, um vídeo, entre outros. Também é feito ensaios da apresentação oral e a aquisição de recursos adicionais, como banners, slides ou aplicativos, caso necessário.

Em seguida, ocorre a apresentação final das equipes. Essa apresentação é uma das características da ABP, envolvendo a exposição pública dos trabalhos. O evento pode ocorrer para toda a escola, para uma parte específica dela ou mesmo na sala de aula, com a participação de convidados, como especialistas da área relacionada ao tema trabalhado. Esses detalhes podem ser discutidos com o professor responsável para garantir que a apresentação das equipes seja realizada de forma adequada.

6) Divulgação do Produto ou Artefato

Uma das peculiaridades da ABP é a divulgação do trabalho

realizado pelos estudantes. Essa divulgação pode ocorrer por meio de artigos em periódicos, revistas e outros canais de comunicação, como websites ou até mesmo em formato de vídeo, narrando o desenvolvimento do projeto, o qual também pode ser compartilhado no YouTube.

Para facilitar esta etapa, pode-se incentivar os alunos a criarem um blog onde possam documentar todo o trabalho realizado, servindo como um diário digital para manter as informações atualizadas e acessíveis. Isso não apenas preserva as informações, mas também aproveita os recursos tecnológicos, uma característica essencial da ABP.

A divulgação marca essencialmente a conclusão do projeto na ABP. No entanto, antes de finalizar o projeto, é fundamental reconhecer a importância da avaliação no meio de todas essas atividades, para colher os resultados obtidos durante a aplicação do método.

4. ATIVIDADES REALIZADAS

Neste capítulo, serão descritas as atividades realizadas ao longo do desenvolvimento deste trabalho, desde a preparação inicial até a implementação prática de um seguidor solar, abrangendo a pesquisa teórica, simulações computacionais, montagem de protótipos, coleta de dados experimentais e sua aplicação em sala de aula.

4.1 PREPARAÇÃO E PESQUISA PARA ATIVIDADES EM SALA DE AULA

No decorrer deste trabalho, foram executadas uma série de atividades que abrangeram desde o estudo inicial até a implementação prática de um seguidor solar, enfocando a análise e aplicação de algoritmos de rastreamento da posição do Sol, o desenvolvimento deste projeto cumpriu algumas etapas, a fim de garantir uma compreensão aprofundada dos conceitos envolvidos e a realização efetiva de um protótipo funcional para aplicação educacional.

4.1.1 Simulação Computacional dos Algoritmos de Rastreamento da Posição Solar

A primeira etapa consistiu em uma imersão teórica no campo de seguidores solares e algoritmos de rastreamento solar pelo pesquisador, nesse sentido, foram explorados os fundamentos das técnicas de rastreamento solar, bem como os algoritmos utilizados para otimizar a orientação de painéis solares em direção ao sol ao longo do dia, essa fase proporcionou uma base sólida para o prosseguimento do projeto.

Em seguida, a avaliação de algoritmos de rastreamento solar foi necessária para seleção e comparação das estratégias mais adequadas, diversos algoritmos foram testados, incluindo os modelos de Blanco-Muriel, Reda-Andras e NOAA, o que permitiu a interpretação do comportamento dos algoritmos, dessa forma, gráficos de azimute e altura solar foram gerados, oferecendo uma representação visual das variações da posição solar ao longo do dia, essa análise gráfica facilitou a compreensão das respostas dos algoritmos em diferentes posições de latitude.

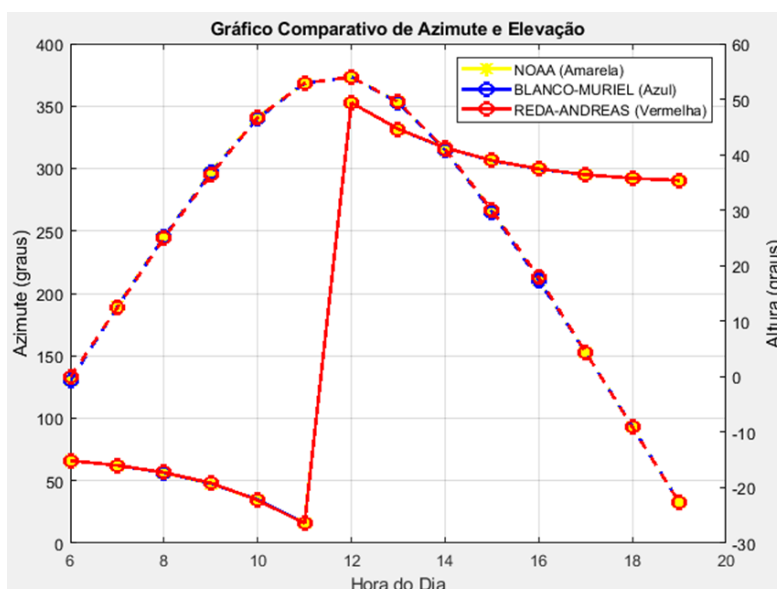
Foram coletados dados de azimute e altura solar para três fontes diferentes: NOAA, BLANCO-MURIEL e REDA-ANDREAS. Cada fonte forneceu informações sobre a posição aparente do Sol em relação a um observador em intervalos horários ao longo do dia em diversas datas do ano. Os dados foram então plotados em gráficos que estão no Apêndice A.

Na Figura 5.1, pode-se visualizar os gráficos sobrepostos dos três algoritmos citados para a latitude de $12,27^\circ$ S e longitude de $39,9^\circ$ W na data de 21 de junho de 2023, que corresponde ao solstício

de inverno para o hemisfério sul.

Os gráficos gerados a partir dos dados das três fontes mostram padrões semelhantes ao longo do dia. O azimute solar diminui gradualmente após o nascer do sol, atingindo seu ponto mais baixo ao meio-dia solar. Esse ponto é marcado por um salto notável no azimute, que é uma característica importante do movimento aparente do Sol. Após o meio-dia solar, o azimute solar continua a diminuir até o pôr do sol. A altura solar, por sua vez, atinge seu valor máximo ao meio-dia solar, quando o Sol está mais alto no céu.

Figura 4.1: Gráficos de Azimute e Elevação (NOAA, Blanco-muriel e Reda- Andreas.



Fonte: Autoria Própria.

O salto do azimute ao meio-dia solar é uma característica interessante do movimento aparente do Sol e é observado nos gráficos das três fontes de dados. Esse salto é causado pelo fato de que o Sol muda sua direção no céu, passando de leste para oeste quando o sol está ao norte da latitude do local. Esse comportamento é fundamental

para o rastreamento solar, pois os sistemas de rastreamento precisam ajustar suas posições para acompanhar esse movimento e manter os painéis solares direcionados para o Sol.

4.1.2 Montagem do Protótipo Inicial

Com base nas conclusões obtidas, foi dado o próximo passo na concretização do projeto: a montagem de um protótipo funcional. O protótipo inicial foi construído utilizando servo motores e uma estrutura de base, representando uma aplicação prática dos conceitos estudados. A base giratória Pan/Tilt, representada na Figura 4.2, apresenta dois servos motores que possuem alimentação de 3 a 7V e rotação de até 180° na horizontal e na vertical, de forma que os ângulos fornecidos pelo algoritmo para as coordenadas do Sol possam ser reproduzidos pelo sistema e movimentar a plataforma nos dois eixos.

Figura 4.2: Adaptador Pan/Tilt para Micro Servos.



Fonte: Fonte: Probots (2022)

No desenvolvimento do protótipo inicial, foi selecionado o Micro Servo Motor Tower Pro 9g Sg90. Este componente é equipado com engrenagens de náilon e oferece uma amplitude de rotação de 180 graus, além disso, dispõe de cabos de três pinos, empregados para alimentação elétrica e sinal de controle. A Tabela 4.1 apresenta as especificações detalhadas deste servo motor.

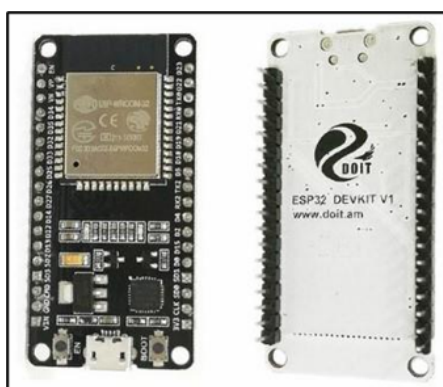
Tabela 4.1: Especificações Técnicas do Micro Servo Motor Tower Pro 9g Sg90.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	DETALHES
Tensão de Operação	3,0 – 7,2V
Ângulo de Rotação	180º
Velocidade	0,12 seg/60 Graus (4,8V) sem carga
Torque	1,2 kg.cm (4,8V) e 1,6 kg.cm (6,0V)
Temperatura de Operação	-30ºC – 60ºC
Dimensões	32 x 30 x 12mm

Fonte: Markehero

O microcontrolador ESP32, mostrado na Figura 4.3, foi escolhido para controlar os servos, transformando os cálculos algorítmicos em movimentos físicos reais.

Figura 4.3: ESP-32 DOIT DevKit V1.



Fonte: Zerynth

A aplicação das equações do NOAA para determinar a posição solar em tempo real representou uma fase crítica do projeto. A programação do ESP32 permitiu que as equações fossem traduzidas em comandos para os servos, resultando no correto rastreamento da posição solar ao longo do dia.

O ESP-32, desenvolvido pela empresa chinesa Espressif Systems, foi lançado no ano de 2016 e é reconhecido como um dos mais avançados e resilientes controladores disponíveis no mercado. Este dispositivo se destaca por sua velocidade de processamento, acessibilidade e conectividade, notadamente sua habilidade para operar em redes Wi-Fi. O cerne do microcontrolador abarca um processador de 32 bits, dotado de um ou dois núcleos, permitindo a execução simultânea de múltiplas tarefas. A Tabela 4.2 elenca suas especificações.

Tabela 4.2: Especificações do Modelo ESP-32 DOIT DevKit V1.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	DETALHES
Tensão Operacional	3,3V
Tensão de Entrada	7-12V
Pinos de E/S digitais (DIO)	25 pinos
Pinos de Entrada Analógica (ADC)	6 pinos
Pinos de Saída Analógica	2 UARTs:3
Memória RAM	520Kb
Memória Flash	4 MB
Velocidade do Clock	240MHz
Processador	Dual Core 32 bits

Fonte: Zerynth

4.1.3 Montagem do 2^o Protótipo

O desenvolvimento do primeiro protótipo revelou-se uma etapa essencial na exploração e validação dos algoritmos em questão, no entanto, à medida que avançamos na execução dos testes, surgiram desafios relacionados à estabilidade de movimento, particularmente ao lidar com objetos de maior peso, a instabilidade manifestada tornou-se notória ao sustentar cargas mais substanciais, prejudicando a consistência dos resultados.

Essa limitação do primeiro protótipo evidenciou a necessidade premente de adotar uma abordagem mais robusta e dimensionada para as próximas fases do estudo, a aquisição de uma base mais ampla e estável emergiu como uma medida interessante para permitir a avaliação de equipamentos e sensores mais pesados, garantindo a precisão dos movimentos realizados sem que ocorram variações indesejadas em sua posição, isso não apenas promoverá a eficácia dos testes futuros, mas também consolidará a confiabilidade dos resultados alcançados, contribuindo para o alcance dos objetivos traçados neste projeto.

A seleção da base para o desenvolvimento do protótipo desempenha um papel fundamental na estabilidade e eficácia do sistema como um todo, nesse contexto, optou-se pelo uso da Plataforma Digital Servo FPV Drone Track para braço de robô rotativo, mostrada na Figura 4.4, esta base é caracterizada por sua versatilidade e robustez, assim, revelou-se uma escolha para suportar os requisitos exigentes do projeto, com uma configuração de 2 graus de liberdade e uma capacidade de carga de até 20kg, a plataforma demonstra a capacidade de

acomodar equipamentos e sensores mais pesados, permitindo testes mais precisos.

Figura 4.4: Plataforma Digital Servo FPV Drone Track.



Fonte: Aliexpress

4.1.4 Coleta de Dados com o Relógio Solar

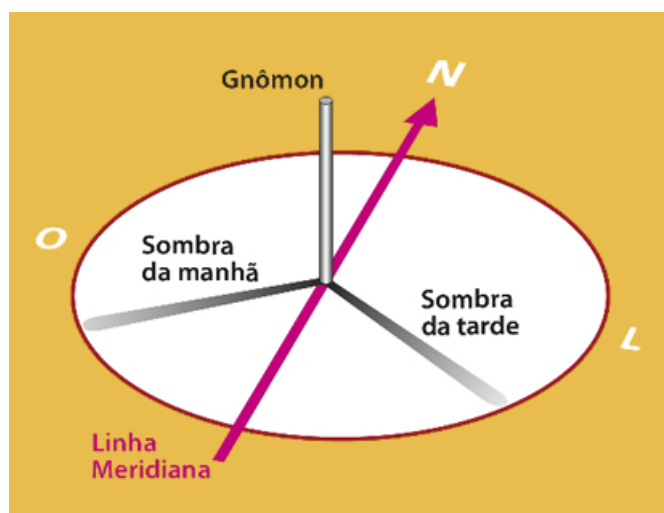
Através da projeção da sombra de uma haste, é possível simular o movimento solar ao longo do dia. No processo de montagem do protótipo, o primeiro passo é determinar as coordenadas locais. O cálculo da altura do Sol (h) com o protótipo envolve conceitos geométricos, conforme mostrado na Figura 4.5. Observando geometricamente a Figura 4.5, deduzimos a seguinte relação para a altura:

$$h = 2L \cdot \tan(\theta) \quad (4.1)$$

Para determinar o ângulo azimutal, utilizamos um transferidor para medir o deslocamento da sombra ao longo do dia. No protó-

tipo, podemos posicionar 0° tanto para o Sul quanto para o Norte verdadeiro. Durante a manhã, quando a sombra está direcionada para o oeste, registramos o ângulo oposto no lado leste e corrigimos conforme necessário.

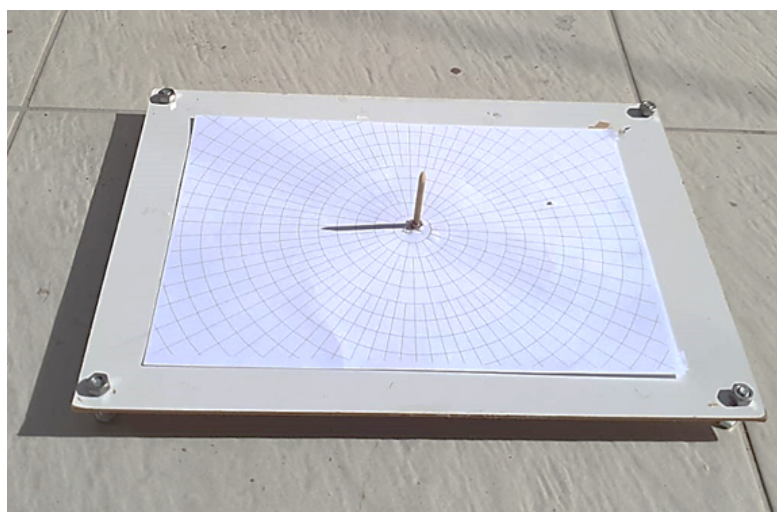
Figura 4.5: Deslocamento da Sombra.



Fonte: Brandão (2011).

Com base nessas análises, foi construído um relógio solar, conforme representado na Figura 4.6, e o comprimento da sombra foi medido a partir de 10 de dezembro de 2023. As medições ocorreram em área externa, distantes de obstáculos que pudessem interferir na sombra. Antes das medições, foi realizada a orientação do local onde o protótipo seria montado, identificando previamente o ponto cardinal norte por meio do aplicativo para celular Google Maps. Foi fixada uma haste de 5 cm no centro de uma base de madeira conforme Figura 4.6 e ao longo do dia, o comprimento da sombra da haste foi medido com uma régua, marcando o ângulo correspondente no transferidor.

Figura 4.6: Relógio Solar Confeccionado.

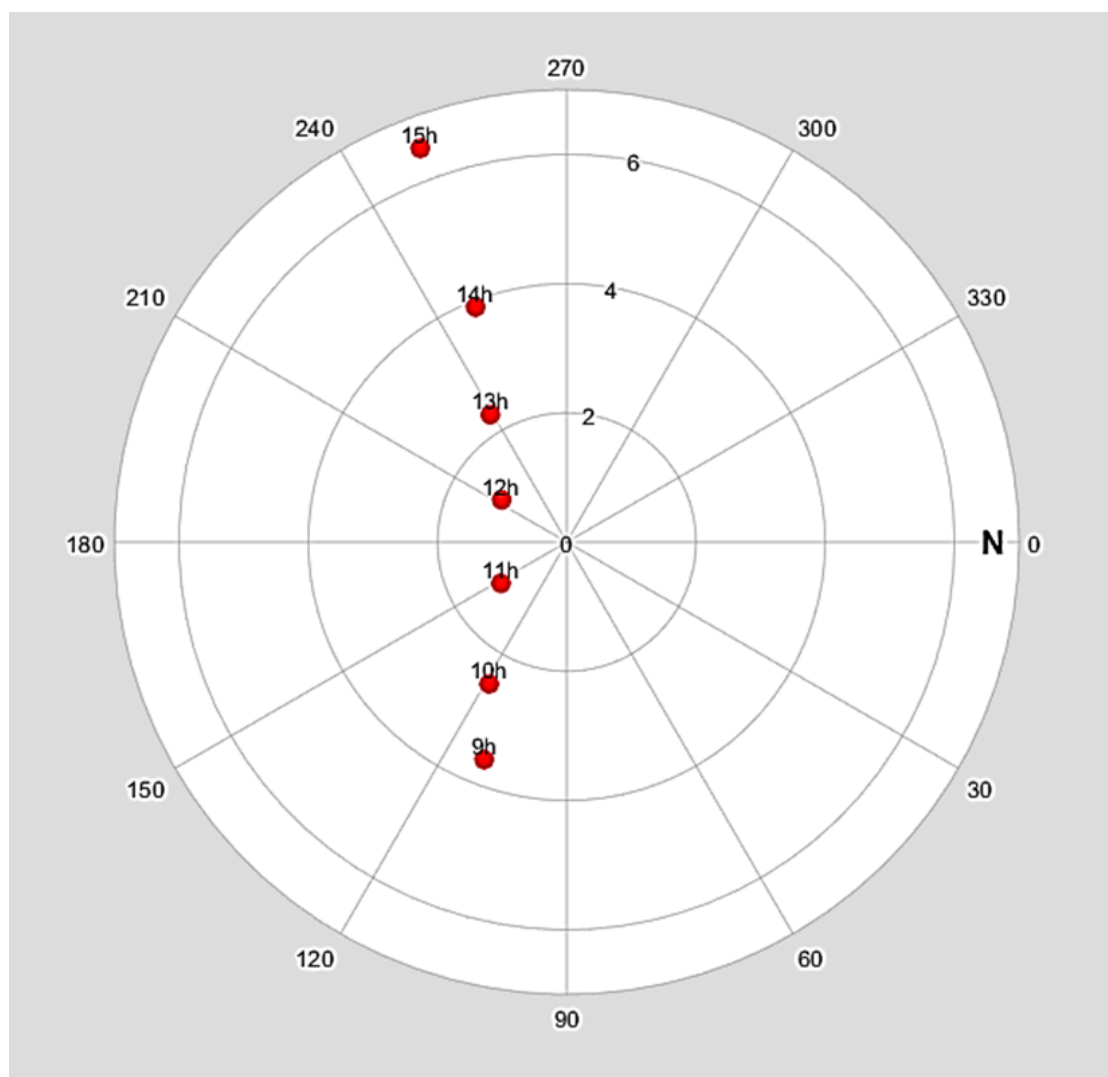


Fonte: Autor

Ao longo do dia, realizou-se a medição do comprimento da sombra da haste usando uma régua, marcando o ponto correspondente no transferidor. Após as medições, as correções foram feitas para o ângulo azimutal, e aplicou-se a equação que relaciona o comprimento da haste com o comprimento da sombra para calcular a altura do Sol. Os dados foram então inseridos em um programa computacional MATLAB.

Para analisar as variações no comprimento dessa sombra em Feira de Santana em diferentes períodos do ano, foram empregados os dados das coordenadas horizontais do Sol obtidos pelos algoritmos do NOAA e SPA de Reda e Andreas e comparados com os dados obtidos pelo gnômon, na Figura 4.7 é possível visualizar a comparação para data de 10 de dezembro de 2023.

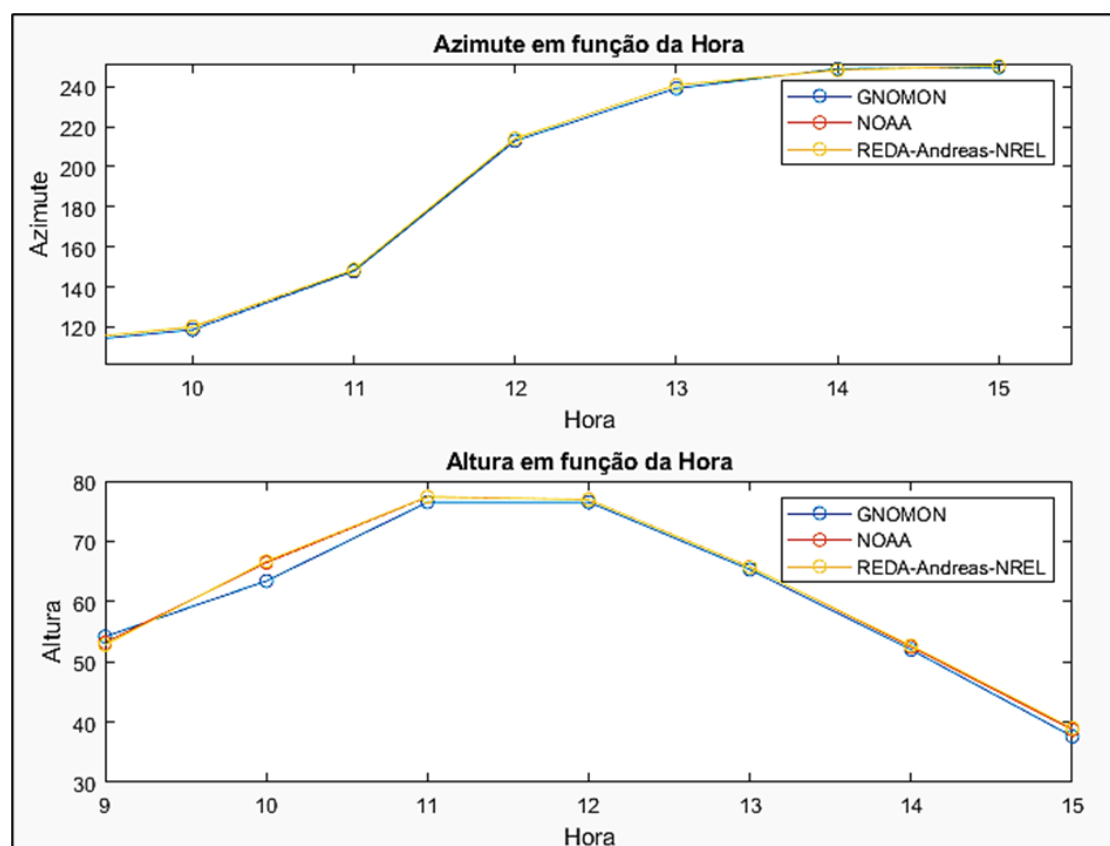
Figura 4.7: Dados coletados do Relógio do Sol para a data 10/12/2023.



Fonte: Autor

Para comparar as medições das sombras do gnômon, também foi utilizado o software MATLAB. As medições realizadas ao longo do dia foram plotadas em gráficos, utilizando os dados obtidos durante o processo experimental. Esses gráficos forneceram uma representação visual das variações no comprimento da sombra da haste ao longo do tempo.

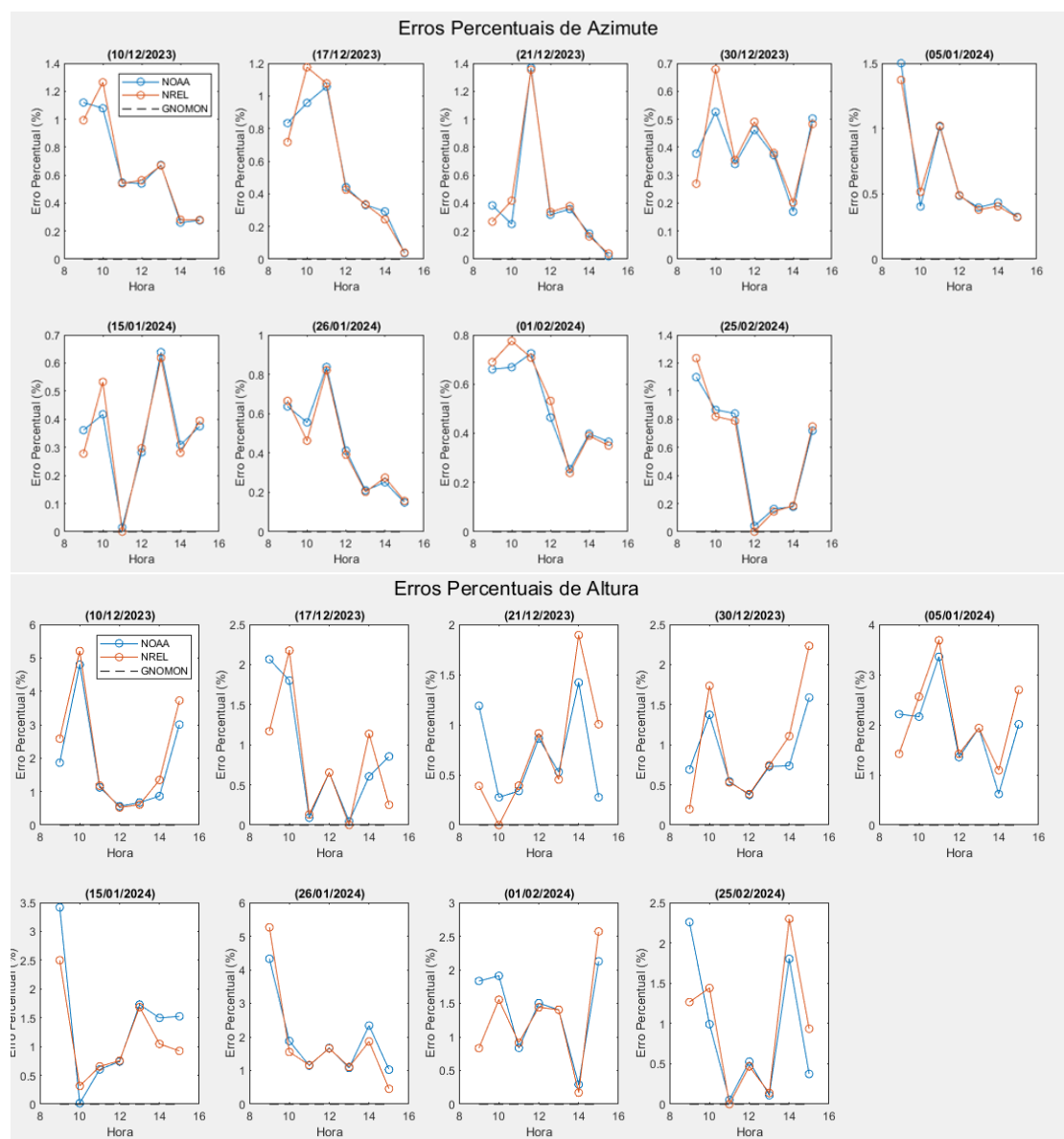
Figura 4.8: Comparação dos dados de azimute e altura do Gnômon com os Algoritmos .



Fonte: Autor

Além disso, foi realizado um estudo comparativo entre os dados obtidos experimentalmente e os resultados gerados pelos algoritmos. Para isso, foram gerados gráficos de erro percentual, os quais mostram a diferença entre os valores calculados pelos algoritmos e os valores reais medidos durante o experimento.

Figura 4.9: Erros de Azimute e Altura do Gnômon em Relação aos Algoritmos.

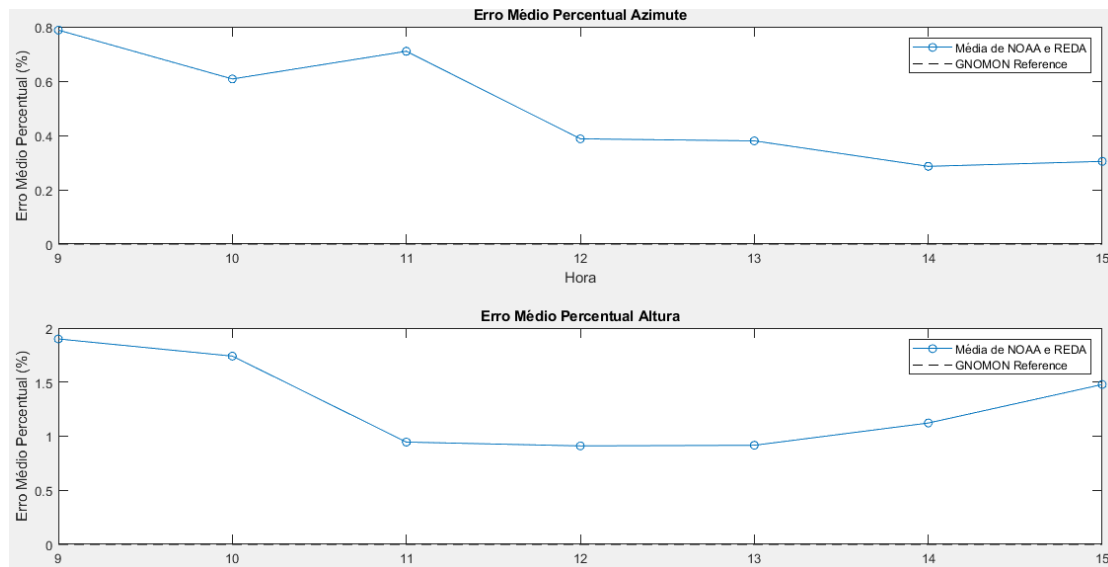


Fonte: Autor

Para uma análise mais detalhada, também foi calculado o erro médio em todas as datas de medição. Esse erro médio representa a média das discrepâncias entre os valores medidos experimentalmente e os valores previstos pelos algoritmos ao longo de todo o período

de observação. A representação desse erro médio em um gráfico proporciona uma visão geral da acurácia dos algoritmos em diferentes condições ao longo do tempo.

Figura 4.10: Comparação dos dados do Gnômon com os Algoritmos .



Fonte: Autor

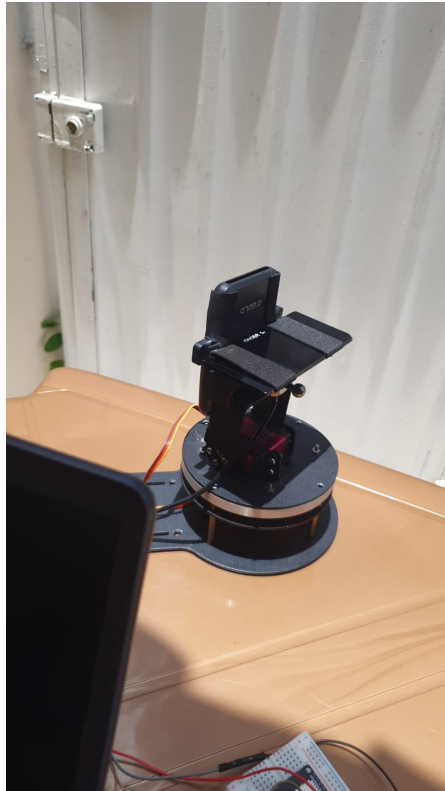
Essa análise dos dados permite uma compreensão da relação entre as medições experimentais e as previsões teóricas, contribuindo para a validação dos algoritmos e para o aprimoramento da compreensão do comportamento das sombras do gnômon em diferentes dias do ano.

4.1.5 Filmagem do Sol utilizando o protótipo do seguidor solar

Para avaliar o desempenho do protótipo do seguidor solar, foram realizadas filmagens do Sol com uma minicâmera acoplada ao sistema. A minicâmera foi equipada com uma lente de soldador de número 14,

que é projetada para reduzir o brilho intenso e proteger o equipamento da luz solar direta.

Figura 4.11: Minicâmera acoplada ao seguidor solar.



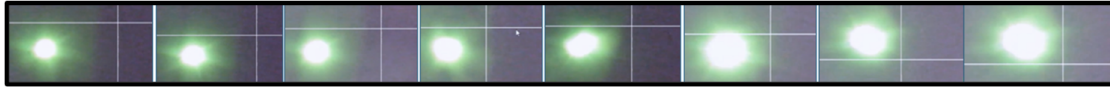
Fonte: Autor

Durante os testes, o protótipo foi colocado em operação com o algoritmo implementado, que utiliza as equações fornecidas pelo NOAA (Administração Nacional Oceânica e Atmosférica) para o rastreamento do Sol. As filmagens permitiram observar se o protótipo seguia o movimento solar de acordo com o algoritmo.

As imagens capturadas foram analisadas para verificar a precisão do acompanhamento do Sol pelo protótipo. Este processo de avaliação foi importante para assegurar que o sistema de rastreamento estava

funcionando conforme o esperado e ajustando-se corretamente às variações na posição solar ao longo do tempo.

Figura 4.12: Filmagem realizada das 9 às 16h na data de 28/02/2024.



Fonte: Autor

A utilização da lente de soldador ajudou a proteger a minicâmera e possibilitou a obtenção de dados visuais mais claros, garantindo que os testes fossem realizados em condições adequadas e que as observações fossem precisas.

4.2 ATIVIDADES REALIZADAS NO ENSINO SUPERIOR

Para o Ensino Superior o título do projeto escolhido foi "Explorando Astronomia e Tecnologia com Seguidor Solar", vinculado ao curso de Engenharia da Computação, abrangendo áreas como Astronomia, Tecnologia e Programação. O plano do projeto poder ser visualizado no apêndice C.

A justificativa do projeto residia em proporcionar aos estudantes uma experiência prática e interdisciplinar, combinando os campos da Astronomia e Engenharia. Destinado aos alunos do curso de Engenharia da Computação, buscava-se despertar o interesse pela Astronomia aplicada e desenvolver habilidades práticas em programação de microcontroladores e sensoriamento. O público-alvo era composto por estudantes do 4^o ao 8^o semestre da disciplina Microprocessadores e Microcontroladores.

Os objetivos do projeto eram definidos em três dimensões. No aspecto conceitual, visava-se compreender os princípios que influenciam o movimento solar e suas aplicações práticas na engenharia. Em termos procedimentais, buscava-se desenvolver habilidades na programação de microcontroladores para instrumentação em Astronomia. Já no âmbito atitudinal, que se refere ao desenvolvimento de comportamentos e atitudes dos alunos em relação ao processo de aprendizagem, o objetivo era estimular a curiosidade, o trabalho colaborativo e a autonomia dos alunos, além de fomentar o interesse e pesquisa em Astronomia.

O lançamento do projeto, também conhecido como Detonação, consistiu em uma apresentação interativa que contextualizou os alunos sobre a importância da Engenharia da Computação na Astronomia. Durante essa etapa, foram explorados desafios práticos e oportunidades de aprendizado, com o intuito de despertar o entusiasmo dos participantes e estabelecer o propósito do projeto. A tabela X descreve os termos da ABP aplicado ao Ensino Superior.

O projeto do Seguidor Solar no Ensino Superior foi uma empreitada acadêmica realizada para fornecer aos estudantes uma compreensão dos princípios por trás dos seguidores solares, bem como uma imersão nas tecnologias associadas. Este programa, desenvolvido ao longo de um semestre na disciplina de Microprocessadores e Microcontroladores, compreende uma série de atividades planejadas. Em cada dia de encontro com a turma são realizadas 3 aulas, cada aula possui 50 minutos de duração. Abaixo segue a descrição das atividades realizadas em cada encontro ao longo do semestre:

Tabela 4.3: Termos e definições da Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP)

TERMO	DEFINIÇÃO
Âncora	Introdução inicial utilizando vídeos e apresentações para cativar o interesse dos alunos. Leitura dos artigos de Blanco-Muriel et al., intitulada "Computing the solar vector," publicada na revista Solar Energy em 2001. Esse trabalho oferece contribuições importantes para o cálculo do vetor solar. Além disso, foram consultados outros artigos essenciais, como "Solar Position Algorithm for Solar Radiation Applications" de Ibrahim Reda e Afshin Andreas, e o livro "Astronomical Algorithms" de Jean Meeus, publicado pela Willmann-Bell, Inc., em 1998.
Questão Motriz	De que forma podemos aplicar o conhecimento adquirido sobre o cálculo do vetor solar e algoritmos para rastreamento do posicionamento do Sol para otimizar o desempenho de um seguidor solar?
Artefatos	Englobam o trabalho de pesquisa, apresentação parciais em laboratórios, programação e construção de protótipos de seguidores solares para aplicações diversas, relatório, além de participação na Semana de Tecnologia da Universidade.
Desempenho Autêntico	Posicionamento solar, o movimento aparente do sol em diferentes latitudes e longitudes, o uso de algoritmos de rastreamento da posição solar, além do emprego de instrumentação específica em Astronomia. Adicionalmente, o desempenho autêntico pode ser evidenciado na habilidade dos alunos em integrar esses conhecimentos para otimizar a captação de energia solar.
Brainstorming	É Materiais para os protótipos, pesquisa sobre aplicação de seguidores solares na literatura acadêmica, utilização de ferramentas como Arduino, ESP32 e sensores LDR, RTC e GPS para construção dos protótipos, utilizar o laboratório para experimentação e validação dos algoritmos de rastreamento solar elaboração de relatórios detalhados sobre o funcionamento dos seguidores solares, planejamento e execução de apresentações na Semana de Tecnologia da Universidade..
Voz e Escolha do Aluno	Os alunos tiveram autonomia na tomada de decisões em relação à escolha da aplicação do projeto e materiais que iriam utilizar.
Web 2.0	Ferramentas digitais como <i>Tinkercad</i> , Interface de Desenvolvimento (IDE) do Arduino e MATLAB, processadores de texto como o Word, aplicativos específicos como <i>3Dsunpath</i> e <i>Stellarium</i> foram empregados para facilitar a resolução do problema no projeto do seguidor solar. Essas tecnologias modernas proporcionaram suporte essencial na modelagem, programação, documentação e simulação.

Fonte: Autor

1) Aulas 1 e 2: Apresentação Inicial

Nas duas primeiras aulas, os alunos são introduzidos ao projeto do Seguidor Solar. O foco está na apresentação detalhada do projeto, suas aplicações práticas em diferentes contextos e a explicação dos algoritmos e softwares essenciais para o seu funcionamento. Os estudantes mergulham na compreensão do papel dos seguidores solares em diversas áreas, desde a geração de energia fotovoltaica e heliotérmica até aplicações com instrumentos solarimétricos.

Figura 4.13: Aula de Introdução.



Fonte: Autor

2) Aula 3: Divisão dos Grupos do Projeto

Na terceira aula, os estudantes são organizados em 5 grupos, marcando o início da aplicação prática do conhecimento adquirido. Cada grupo é designado para explorar uma aplicação específica dos seguidores solares. O professor desempenha um papel ativo na orienta-

ção da formação dos grupos, assegurando uma distribuição equitativa e incentivando uma escolha participativa dos temas, criando um ambiente colaborativo desde o início do projeto.

A divisão em grupos não apenas proporciona uma experiência de aprendizado mais personalizada, mas também prepara os alunos para os desafios do trabalho em equipe, uma habilidade fundamental no ambiente profissional. A escolha de aplicações específicas, como painéis fotovoltaicos, imageadores, radiotelescópios ou concentradores solares.

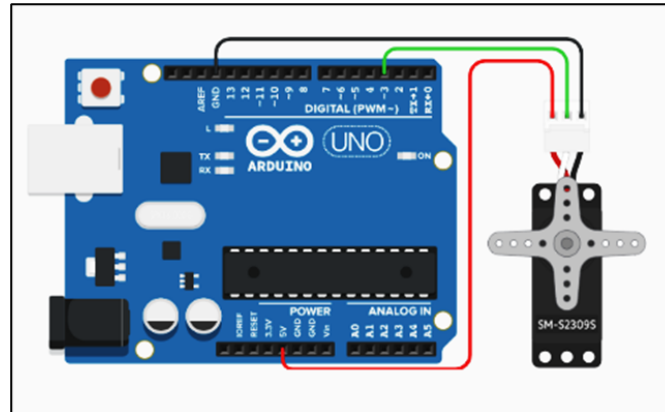
3) Aula 4 a 12: Atividades em Aplicativos Computacionais

Do quarto ao décimo segundo encontro, os alunos iniciam as atividades práticas em aplicativos computacionais, consolidando e expandindo os conceitos abordados nas aulas teóricas.

As plataformas *Tinkercad* e *Wokwik* tornam-se aliadas fundamentais, oferecendo ambientes virtuais para a simulação de circuitos associados aos seguidores solares controlados por microcontroladores embarcados em Arduino e ESP32. Cada aula é dedicada à exploração de aspectos específicos relacionados aos circuitos, desde os princípios básicos do Arduino até a integração de componentes como Leds, motores servos e de passo, LDRs e placas fotovoltaicas. Os alunos tiveram a oportunidade de experimentar diferentes configurações de circuitos, ganhando confiança na manipulação prática desses elementos. Essa abordagem progressiva visa construir uma base sólida, preparando os estudantes para os desafios mais avançados nas etapas seguintes do projeto. Nas figuras abaixo pode-se visualizar algumas das atividades

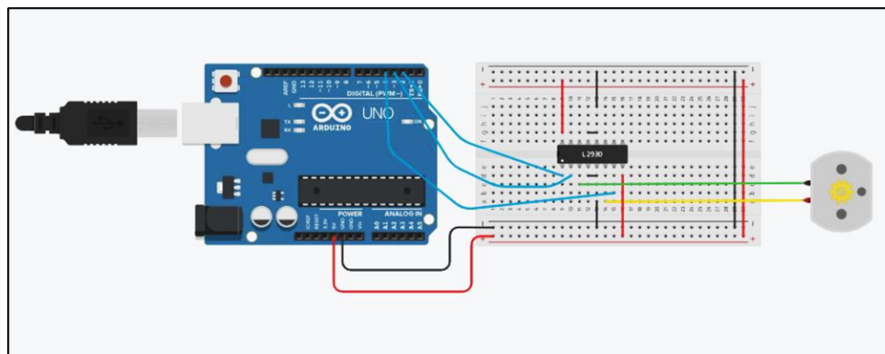
que foram desenvolvidas no laboratório de informática.

Figura 4.14: Controle de posição angular de um motor servo



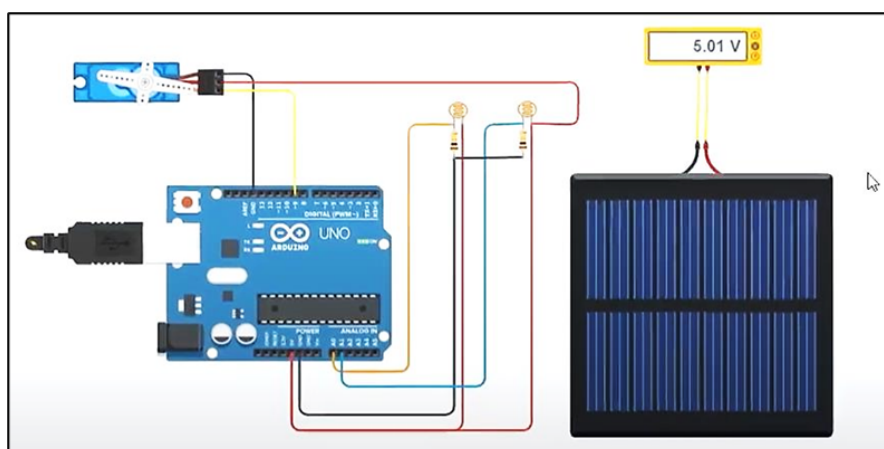
Fonte: Autor

Figura 4.15: Controle de rotação de um motor de passo.



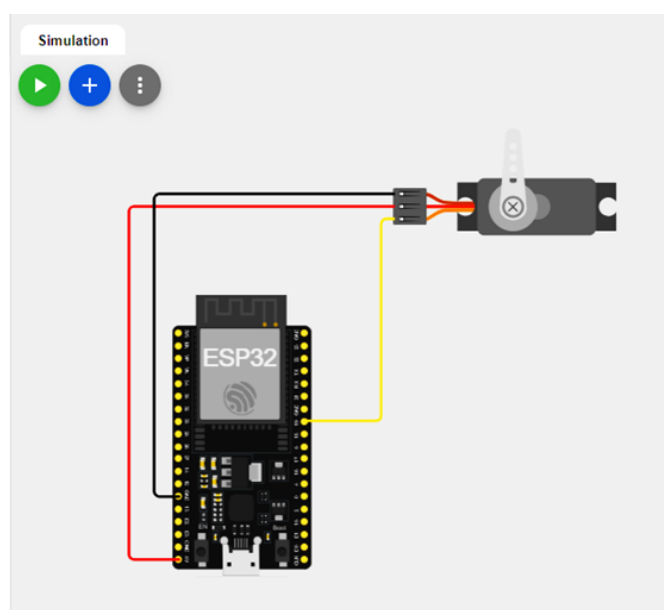
Fonte: Autor

Figura 4.16: Controle de rotação de um motor de passo.



Fonte: Autor

Figura 4.17: Controle de rotação de um motor de passo.



Fonte: Autor

4) Aula 13 a 18: Aulas Práticas em Laboratório

Nessa etapa, a prática toma a guia os alunos para o ambiente do laboratório. Com o conhecimento adquirido nas aulas anteriores,

os estudantes podem realizar os experimentos que foram simulados em computador com os microcontroladores e dispositivos de entrada e saída. Os alunos têm a oportunidade de manusear ativamente os componentes, desenvolvendo habilidades práticas essenciais para o sucesso nas próximas fases do projeto. O laboratório se torna um campo, onde os estudantes podem testar teorias, superar desafios práticos e ganhar confiança na manipulação de tecnologias específicas.

Figura 4.18: Aulas Práticas em Laboratório.



Fonte: Autor

5) Aulas 19 a 30: Construção dos Projetos em Laboratório

Neste estágio, as aulas 19 a 30 são dedicadas à construção dos projetos pelos grupos. Cada equipe assume a responsabilidade da execução prática, sendo supervisionada e orientada pelo professor ao longo do processo de desenvolvimento. Durante esse período, os estudantes aplicam seus conhecimentos na construção dos Seguidores Solares.

Figura 4.19: Construção de Seguidores Solares em Laboratório.



Fonte: Autor

6) Aulas 31 a 33: Apresentação Parcial e Questionários

Neste momento do projeto, os alunos apresentaram ao professor os artefatos ou produtos que desenvolveram, uma etapa que não só evidencia o progresso prático de cada equipe mas também marca a transição para a fase de documentação e avaliação dos projetos. Através dessa apresentação, foi possível ter uma visão clara do estado

atual dos trabalhos, identificando tanto os avanços quanto os desafios ainda a serem superados.

Nem todas as equipes haviam conseguido avançar para a etapa de experimentação com seus artefatos, enfrentando desde dúvidas conceituais até dificuldades na obtenção de materiais necessários. Esse momento, portanto, foi importante para realizar um diagnóstico preciso das necessidades de cada grupo. Na figura 4.20 podemos ver o artefato produzidos por um dos grupos que tinha o projeto quase finalizado.

Figura 4.20: Projeto do Seguidor Solar para Painéis Fotovoltaicos e Cuba Heliotérmica.



Fonte: Autor

Após essa etapa de apresentação e diagnóstico, os alunos foram orientados na elaboração de relatórios, que não só documentassem suas atividades mas também refletissem sobre os resultados alcançados até então, inclusive os obstáculos enfrentados e como foram ou serão superados.

Para complementar a avaliação do entendimento e engajamento dos alunos com os conceitos fundamentais e com as complexidades práticas do projeto, um questionário foi aplicado. Esse instrumento de avaliação buscou captar não apenas o nível de compreensão dos alunos sobre os temas trabalhados mas também suas percepções e aprendizados derivados da experiência prática, promovendo uma avaliação qualitativa que abrange tanto aspectos cognitivos quanto emocionais e sociais da aprendizagem. O questionário aplicado se encontra no apêndice F.

7) Apresentação Final na Semana de Inovação e Entrega de Relatórios

Após a realização de várias etapas da ABP, desde a introdução, fase de pesquisa inicial, resolução de roteiros, e desenvolvimento dos artefatos, por fim chegou o dia da apresentação dos trabalhos desenvolvidos pelas equipes. Essas apresentações foram reunidas em uma Semana de Inovação Tecnológica. A apresentação foi realizada no pátio da UNIFACS-Campus Feira de Santana. Cada equipe se posicionou em uma mesa e preparou seu artefato para explicar a ideia desenvolvida por eles.

A turma teve como público os alunos e funcionários da própria instituição e membros externos convidados, que compareceram na mostra para prestigiar o trabalho das equipes e entender um pouco mais a respeito dos temas abordados. Os alunos além de apresentar, deveriam responder as perguntas que eram dirigidas a eles. Nas figuras a seguir pode-se visualizar o trabalho de cada equipe e a

apresentação pública.

A Equipe 1, como era o mês de dezembro, criou uma árvore de natal alimentada por um seguidor solar. Eles desenvolveram uma maquete demonstrando detalhes do sistema como, por exemplo, as placas, os sensores LDR, além de iluminar a maquete com leds. Na Figura 4.21 é possível visualizar o trabalho desta equipe.

Figura 4.21: Árvore de Natal com iluminação LED, alimentada por bateria conectada a um sistema de rastreamento da posição solar.



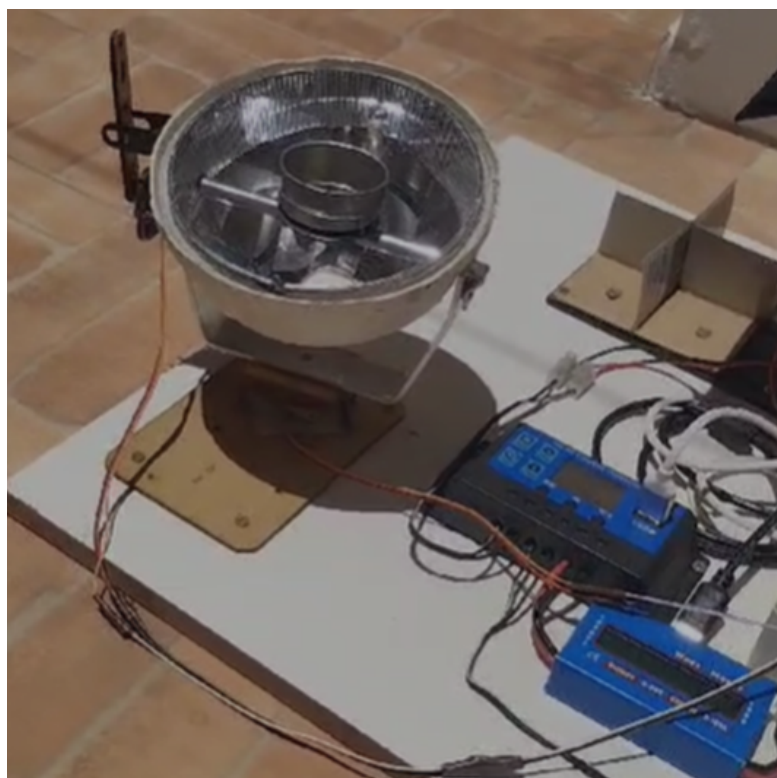
Fonte: Autor

A Equipe 2 teve como proposta construir uma maquete com o sistema heliotérmico acoplado ao seguidor solar. Um mini forno solar foi criado com materiais reciclados e reutilizados, incorporando um braço robótico, um farol de Fusca, suporte de alumínio e um recipiente de alumínio para o alimento.

A integração com o ESP32 permitiu um rastreamento automatizado da posição do sol, garantindo que o fogão esteja sempre direcionado à fonte de calor. A Figura 4.22 apresenta o trabalho

desenvolvido por eles.

Figura 4.22: Forno Solar desenvolvido pela equipe 1.



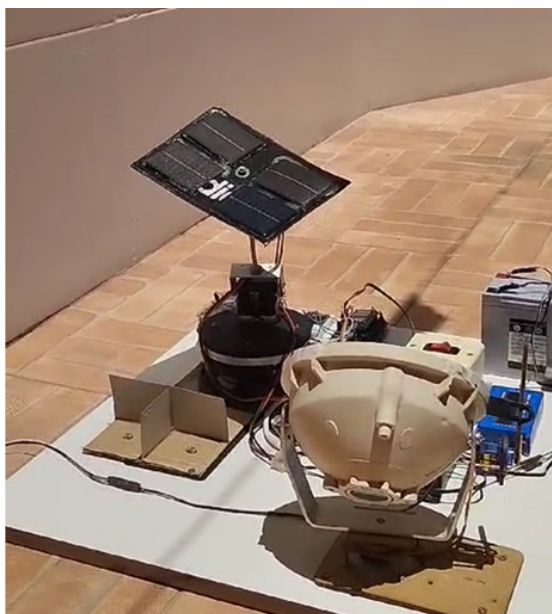
Fonte: Autor

A Equipe 3 desenvolveu seu projeto baseados em painéis solar fotovoltaica utilizando o Arduino Uno como o controlador central, sendo responsável pela coordenação e controle dos componentes eletrônicos conectados. Os principais elementos incluem fotoresistores, controlador de carga e wattímetro.

O Arduino Uno lê continuamente os dados provenientes dos fotoresistores. O código incorporado ao Arduino interpreta esses dados, calcula a direção ótima para a placa solar e emite comandos para o servo motor. O servo motor, conectado ao Arduino Uno, responde

aos comandos do código para ajustar a posição da placa solar. Esse componente mecânico realiza movimentos, orientando a placa para acompanhar o movimento aparente do sol durante o dia. A integração entre os fotoresistores, Arduino Uno e servo motor permite que a placa solar seja alinhada com a fonte de energia solar, maximizando a captação de energia. Na Figura 4.23, pode-se visualizar o protótipo desenvolvido pela equipe.

Figura 4.23: Sistema de geração fotovoltaico desenvolvido pela equipe 3.



Fonte: Autor

A equipe 4, desenvolveu um sistema radiotelescópio amador acoplado a um seguidor solar. O radiotelescópio amador foi montado a partir de uma antena de televisão para captação de sinal de rádio, um detector de sinal (LNB), um localizador de satélite, uma fonte de alimentação para o localizador, um conversor analógico-digital, um computador pessoal, além de cabos e conectores específicos para as

devidas conexões do hardware. O sinal captado pela antena é refletido para o LNB, que o detecta e transmite a informação para o conversor analógico-digital, exibindo o sinal em um gráfico. O localizador de satélite auxilia no apontamento da antena e na filtragem de ruídos indesejados do ambiente.

O diferencial dessa equipe foi uso de materiais de baixo custo e fácil aquisição, sem requerer alta complexidade técnica para a montagem. Para atingir os objetivos propostos, foram realizadas etapas como pesquisa de artigos científicos sobre a montagem e utilização de um radiotelescópio, montagem do radiotelescópio com um sistema de obtenção de dados, calibração do equipamento e utilização do mesmo para detectar o sinal de rádio emitido pelo Sol.

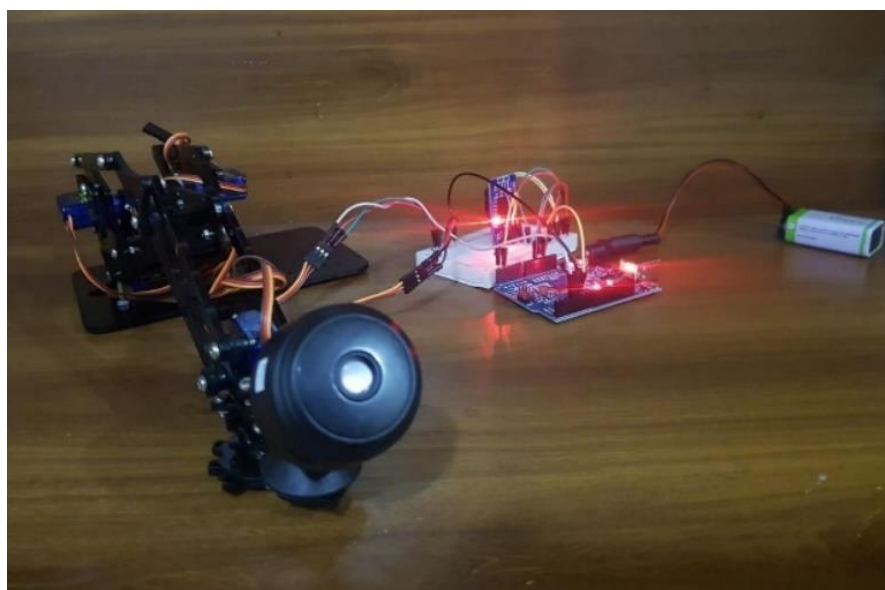
Figura 4.24: Radiotelescópio amador desenvolvido pela equipe 4.



Fonte: Autor

A equipe 5 desenvolveu uma imageador solar utilizando uma câmera e um protótipo de seguidor solar com microservos e RTC para obter a data-hora, controlados por um arduino UNO. O Projeto funcional se destacou pela bela estética.

Figura 4.25: Imageador solar desenvolvido pela equipe 5.



Fonte: Autor

As 5 equipes tiveram que apresentar várias vezes para os visitantes que foram prestigiar os trabalhos e foi feito um rodízio para poder realizar a apresentação a todos. Na Figura 4.26, podemos ter uma visão geral da apresentação das equipes.

A avaliação do projeto foi realizada por meio de observações e análises durante todas as etapas, incluindo o desenvolvimento e a apresentação final. Utilizamos um relatório como instrumento de avaliação da aprendizagem, permitindo acompanhar o progresso dos alunos desde a fase inicial de pesquisa até a conclusão do projeto.

Esse relatório foi sendo elaborado pelas equipes ao longo do processo, refletindo a abordagem integral da Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP), que valoriza não apenas o resultado final, mas também o desenvolvimento contínuo dos alunos. O relatório foi utilizado para análise dos resultados desejados, incluindo disposição para pesquisa, habilidade de trabalho em equipe, familiaridade com tecnologia dos microcontroladores e domínio dos conteúdos relacionados à energia solar e Astronomia.

Figura 4.26: Apresentação das Equipes na Semana de Inovação da UNIFACS.



Fonte: Autor

Uma das características da ABP, é a publicação dos seus produtos ou artefatos. Essa publicação pode ser em jornal, sites, revistas etc. Como o produto das equipes foram protótipos e maquetes, cada equipe criou um vídeo do seu projeto e publicamos no site¹ do Projeto criado pelo professor. As equipes utilizaram o whatsapp e seus e-mails

¹Disponível em: <<https://profmarcos2033.wixsite.com/seguidor-solar-conec>>

particulares para comunicação entre eles e com o professor e para envio do relatório.

4.3 ATIVIDADES REALIZADAS NO ENSINO PROFISSIONAL INTEGRADO

Para o projeto no Ensino Profissional Integrado ao Ensino Médio, intitulado Seguidor Solar: Conectando Astronomia e Eletromecânica, destinado aos alunos do curso de Eletromecânica, busca-se despertar o interesse pela Astronomia aplicada e desenvolver habilidades práticas em eletromecânica e usinagem.

Os objetivos do projeto estão definidos em três dimensões. No aspecto conceitual, visa-se compreender os princípios que influenciam o movimento solar e suas aplicações práticas na eletromecânica. Em termos procedimentais, busca-se desenvolver habilidades na usinagem de metais e controle de motores elétricos para aplicação em seguidores solares. Já no âmbito atitudinal, o objetivo é estimular a curiosidade, o trabalho colaborativo e a autonomia dos alunos, além de fomentar o interesse e pesquisa em Astronomia e Eletromecânica.

O lançamento do projeto, consistiu em um vídeo que abordava sobre a construção eletromecânica de seguidores solares. Durante essa etapa, foram explorados desafios práticos e oportunidades de aprendizado, com o intuito de despertar o entusiasmo dos participantes e estabelecer o propósito do projeto. A tabela 4.4 descreve os termos da ABP aplicado ao Ensino Profissional Integrado.

Tabela 4.4: Termos e definições da Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP) para o Ensino Profissional Integrado ao Ensino Médio

TERMO	DEFINIÇÃO
Âncora	Inicialmente, os alunos veem conceitos dos movimentos do Sol e da Terra, explorando o movimento aparente do Sol no céu e os fenômenos astronômicos que influenciam as estações do ano. Em seguida, são introduzidos aos vídeos que demonstram os seguidores solares e suas aplicações práticas, incluindo a montagem de bases para esses dispositivos. Essa abordagem permite que os alunos compreendam primeiro os fundamentos da Astronomia que orientam a necessidade e o funcionamento dos seguidores solares, preparando-os para explorar as atividades prática do projeto.
Questão Motriz	Como podemos integrar os conhecimentos sobre o movimento aparente do Sol, juntamente com os princípios de eletromecânica, para projetar seguidores solares?
Artefatos	Incluem o projeto detalhado do dispositivo, prototipagem de peças utilizando técnicas de usinagem aprendidas em oficina, construção de circuitos elétricos para controle do dispositivo, documentação técnica do projeto, e apresentação do dispositivo em feiras ou mostras de ciências.
Desempenho Autêntico	Demonstração da capacidade dos alunos em aplicar os conceitos de usinagem e eletromecânica na prática, construindo um dispositivo funcional que atenda aos requisitos de desempenho estabelecidos. Isso inclui a precisão das peças usinadas, o funcionamento adequado dos componentes elétricos e a eficácia geral do dispositivo no contexto industrial.
Brainstorming	Geração de ideias para o projeto, incluindo a identificação de processos industriais que podem ser automatizados, seleção de materiais e componentes adequados, planejamento do layout do dispositivo e definição das etapas de usinagem e montagem.
Voz e Escolha do Aluno	Os alunos têm liberdade para propor ideias de projetos, participar da seleção de materiais e componentes, e contribuir ativamente para todas as etapas do processo, desde o projeto inicial até a construção e apresentação do dispositivo.
Web 2.0	Utilização de recursos online, como tutoriais em vídeo sobre técnicas de usinagem avançadas, fóruns de discussão sobre eletromecânica, simulações computacionais de circuitos elétricos, e plataformas de colaboração para compartilhamento de documentos e ideias entre os membros da equipe.

Ao longo de 21 aulas, distribuídas no 3^o ciclo do ano letivo, os alunos foram guiados pela ABP, onde puderam aplicar conceitos das disciplinas técnicas para projetar e construir protótipos de seguidores solares. Abaixo está o detalhamento das atividades realizadas em cada etapa do projeto:

1) Aulas 1 a 3: Introdução e Planejamento em Equipe de ABP

Durante as três primeiras aulas, os alunos foram introduzidos ao projeto por meio de uma âncora, que consistiu na exibição de vídeos educacionais e apresentações sobre seguidores solares e suas aplicações. Em seguida, os alunos foram organizados em equipes e participaram de atividades colaborativas de planejamento, onde analisaram a questão motriz do projeto e realizaram uma dinâmica de brainstorming para gerar ideias e soluções criativas.

2) Aulas 4 a 6: Fase de Pesquisa Inicial: Coleta de Informações

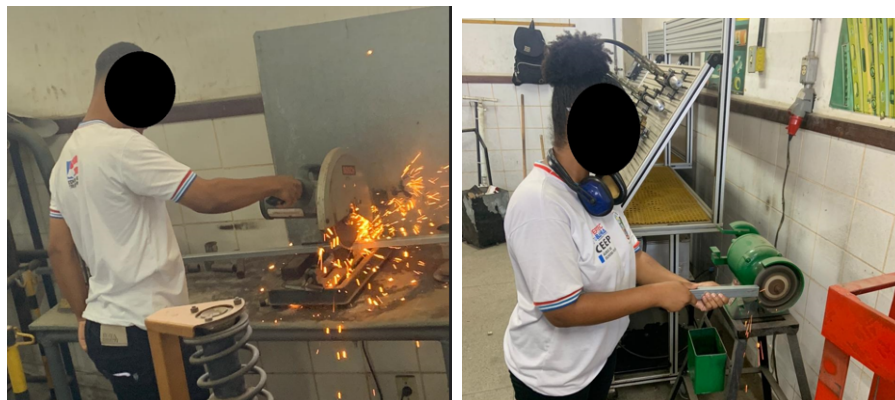
Nesta etapa, os alunos deram início à pesquisa sobre os seguidores solares. Além disso, os alunos realizaram experimentos práticos em laboratório para compreender os princípios fundamentais da energia solar e explorar os processos de usinagem e realizando a montagem das bases comerciais de movimento em 2 eixos para funcionamento de seguidores solares.

Figura 4.27: Montagem de Bases para Seguidores Solares.



Fonte: Autor

Figura 4.28: Experimentos Práticos.



Fonte: Autor

3) Aulas 7-15: Criação, Desenvolvimento de Artefatos Prototípicos

Com base nas informações coletadas durante a fase de pesquisa,

os alunos começaram a desenvolver seus artefatos prototípicos. Eles aplicaram seus conhecimentos em usinagem, eletromecânica e outras áreas técnicas para projetar e construir as bases dos seguidores solares.

Figura 4.29: Costrução dos Artefatos.



Fonte: Autor

Figura 4.30: Protótipos Iniciais.



Fonte: Autor

Após receberem avaliações sobre seus protótipos iniciais, os alunos iniciaram a segunda fase da pesquisa para aprimorar seus artefatos. Eles realizaram pesquisas adicionais para explorar novas abordagens e tecnologias que poderiam ser aplicadas aos seus projetos.

5) Aulas 16-18: Segunda Fase da Pesquisa, Revisão e Ajustes Finais

Com as bases montadas, os alunos começaram a se preparar para a apresentação final do projeto que iria ocorrer na etapa territorial da 11^a FECIBA - Feira de Ciências, Empreendedorismo e Inovação da Bahia, realizada no mês de novembro de 2023 em Feira de Santana-BA.

Figura 4.31: Protótipos Construído na Oficina.



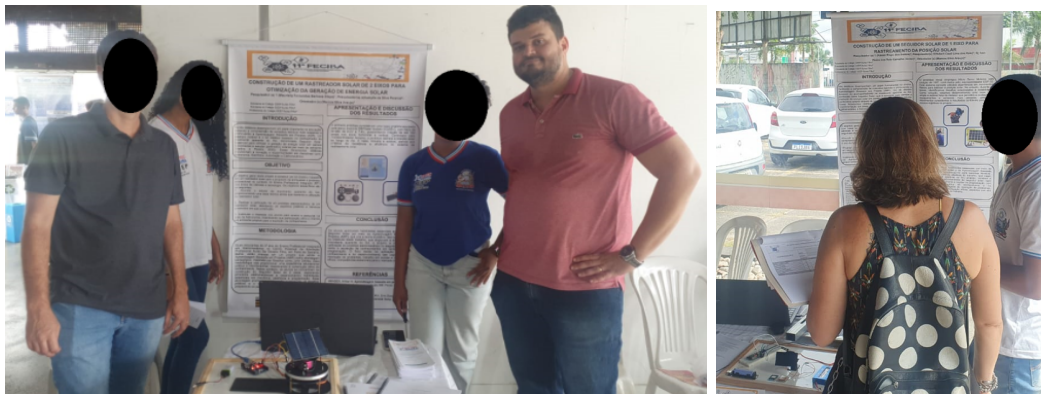
Fonte: Autor

Além disso, os alunos prepararam materiais visuais como banners e demonstrações práticas para enriquecer suas apresentações. Devido ao curto período de tempo não foi possível realizar o acoplamento do motor à base, porém a experiência prática foi enriquecedora para os alunos.

6) Aulas 19-21: Apresentação Final e Publicação dos Artefatos

Na etapa final do projeto, os alunos apresentaram seus artefatos e resultados finais na 11^a FECIBA. Durante o evento, os alunos tiveram a oportunidade de compartilhar seus protótipos de seguidores solares e suas descobertas com colegas, professores, outras escolas e visitantes. Além disso, eles publicaram fotos e vídeos no site criado pelo professor "Seguidor Solar: Conectando Astronomia e Educação", documentando seu progresso e compartilhando suas experiências com o público em geral. Na Figura 4.32 podemos ver alguns momentos do evento.

Figura 4.32: Alunos na Feira de Ciências, Empreendedorismo e Inovação da Bahia.



Fonte: Autor

A apresentação detalhada e prática dos seguidores solares chamou a atenção dos avaliadores e do público presente, resultando em um reconhecimento significativo: os alunos do CEEP conquistaram o 3º lugar na etapa territorial. Esta premiação destacou não apenas a excelência técnica dos projetos, mas também a habilidade dos alunos em comunicar e demonstrar seus conhecimentos de forma segura.

Figura 4.33: Premiação recebida por uma das equipes no FECIBA.



Fonte: Autor

. Ao longo de todo o processo, os alunos foram avaliados processualmente e ao final responderam a um questionário sobre conceitos relacionados ao projeto. No capítulo 5 veremos os resultados da pesquisa quali-quantitativa da pesquisa realizada.

4.4 ATIVIDADES REALIZADAS NO ENSINO PROFISSIONAL SUBSEQUENTE

Para o projeto no Ensino Profissional Subsequente, intitulado Seguidor Solar: Conectando Astronomia e Eletrotécnica, destinado aos alunos do curso de Eletromecânica, busca-se despertar o interesse pela Astronomia aplicada e desenvolver habilidades práticas em

eletrotécnica e usinagem.

Ao longo de 18 aulas, distribuídas no 1º semestre do ano de 2024 na turma do Módulo III de Eletrotécnica com 7 alunos. Os alunos foram guiados pela ABP, onde puderam aplicar conceitos das disciplinas técnicas para utilizar uma das bases desenvolvidas pela turma do EPI e fazer o melhoramento e acoplamento de motor e painel fotovoltaico. Abaixo está o detalhamento das atividades realizadas em cada etapa do projeto:

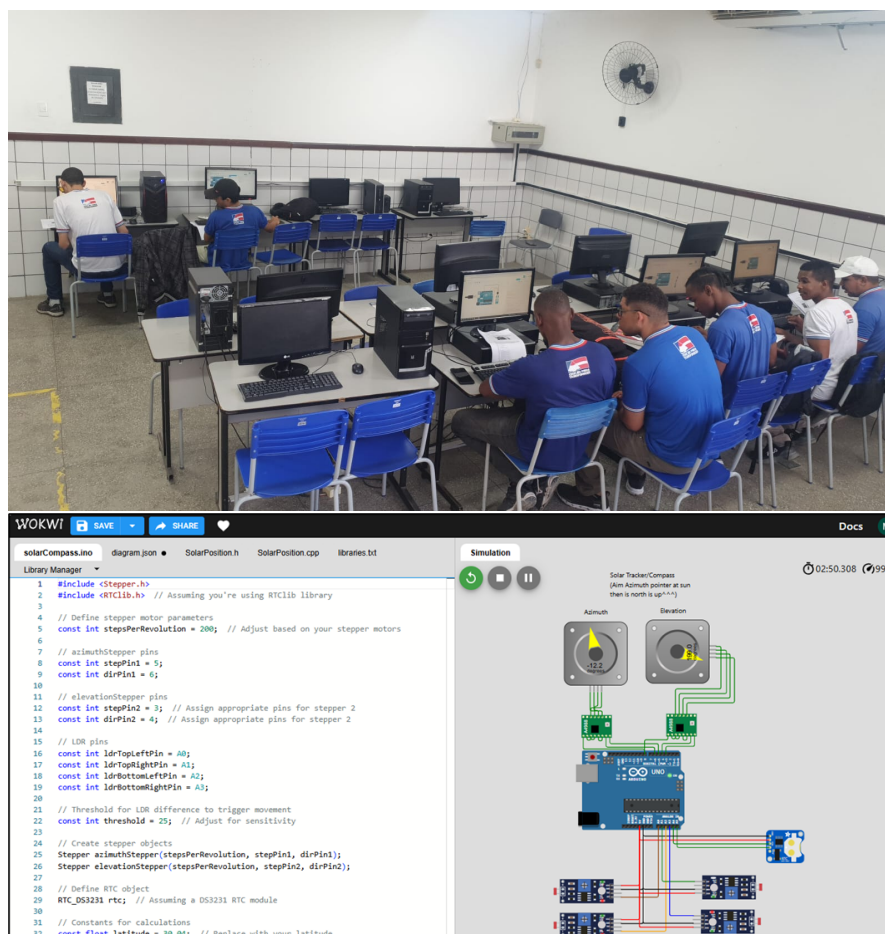
1) Aulas 1 a 3: Introdução e Planejamento em Equipe de ABP

O lançamento do projeto consistiu em um vídeo da Kipp & Zonen, uma marca de produtos especializada em instrumentos de medição solar e meteorológicos, que faz parte da OTT HydroMet. A Kipp & Zonen foi fundada na Holanda e tem uma longa história de desenvolvimento de tecnologias de medição solar e climática. O vídeo abordava o funcionamento de seguidores solares para geração de energia e monitoramento com sensores solarimétricos. Durante essa etapa, foram explorados desafios práticos e oportunidades de aprendizado, com o intuito de despertar o entusiasmo dos alunos e estabelecer o propósito do projeto.

2) Aulas 4 a 6: Fase de Pesquisa Inicial: Coleta de Informações

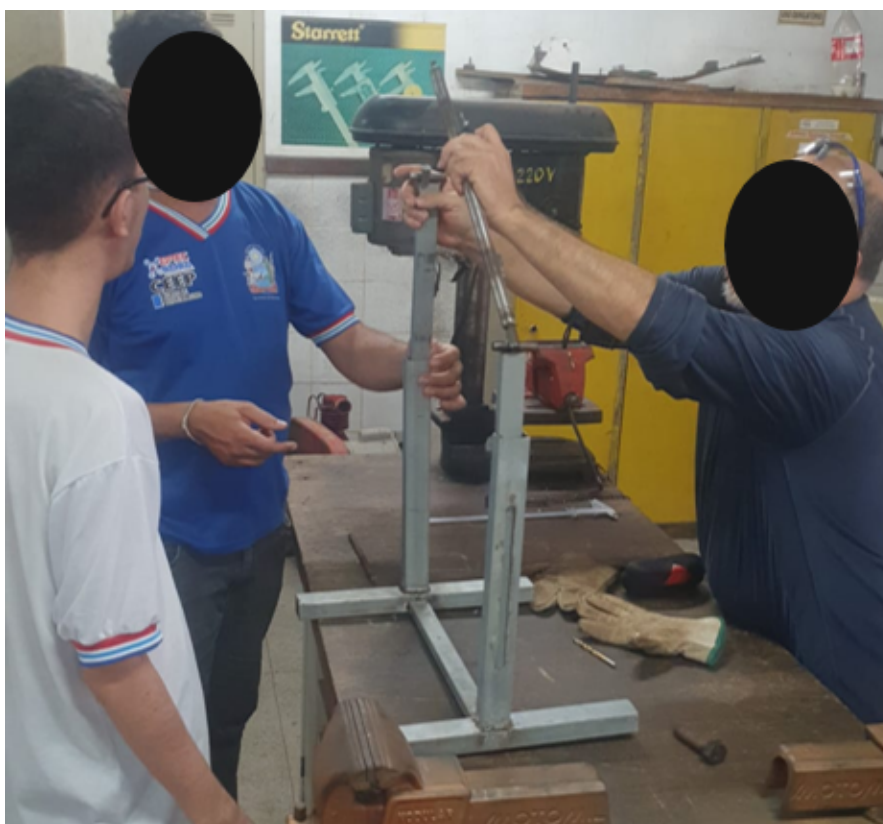
Nesta etapa, os alunos deram início à pesquisa sobre os seguidores solares. Além disso, os alunos realizaram aulas em simuladores de circuitos elétricos para compreender o funcionamento dos componentes que seriam utilizados no projeto. Após foram realizados experimentos no laboratório de elétrica e na oficina da escola.

Figura 4.34: Aulas em simuladores de circuitos elétricos.



Fonte: Autor

Figura 4.35: Aulas práticas na oficina do CEEP.



Fonte: Autor

3) Aulas 7-12: Criação, Desenvolvimento de Artefatos Prototípicos

Com base nas informações coletadas durante a fase de pesquisa, os alunos começaram a desenvolver seus artefatos prototípicos. Eles aplicaram seus conhecimentos em usinagem, eletrotécnica e outras áreas técnicas para desenvolver peças para acoplamento do motor a base do seguidor solar.

Figura 4.36: Fabricação de peças para acoplamento do motor a base do seguidor solar.



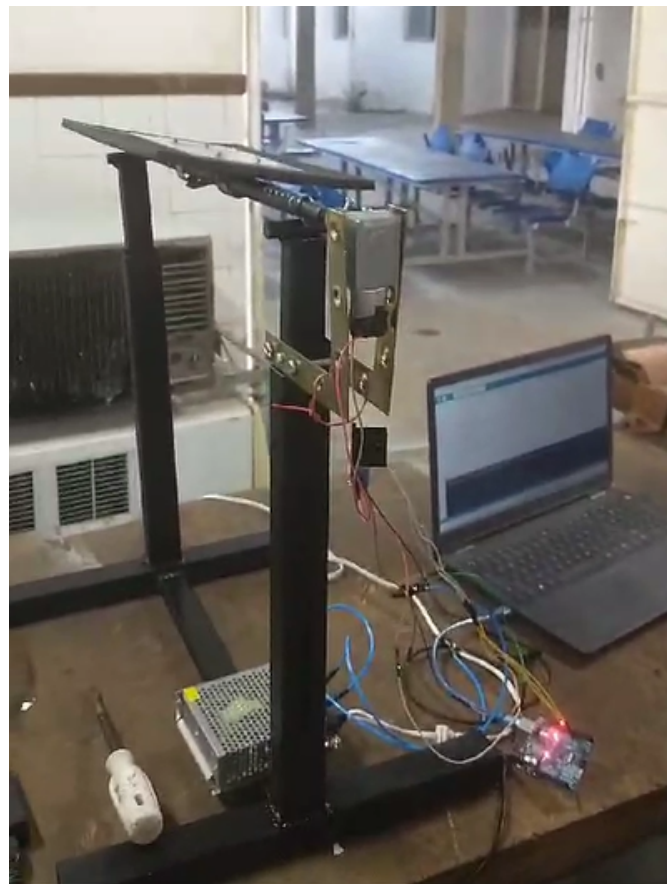
Fonte: Autor

Após a conclusão da fabricação das peças de acoplamento, foi realizado o processo de montagem do sistema motriz, envolvendo a instalação de um motor CC de 12V. Esse motor foi integrado com uma fonte chaveada tipo colmeia, conhecida por sua eficiência energética e capacidade de fornecer uma alimentação estável ao circuito. Além disso, utilizou-se um microcontrolador Arduino UNO para gerenciar o controle do motor, em conjunto com um driver L298N, que foi empregado para controlar a velocidade e o sentido de rotação do motor.

O driver L298N permite a modulação da tensão aplicada ao motor, possibilitando ajustes precisos na velocidade de rotação. Adi-

cionalmente, o driver facilita a inversão do sentido de rotação do motor, característica fundamental para o funcionamento adequado em aplicações que exigem movimentos bidirecionais, como em sistemas de seguidores solares. A combinação desses componentes foi cuidadosamente planejada para garantir o desempenho ideal do sistema, considerando os requisitos técnicos do projeto e a necessidade de um controle robusto e confiável.

Figura 4.37: Instalação de instrumentos eletroeletrônicos.



Fonte: Autor

5) Aulas 12-15: Segunda Fase da Pesquisa, Revisão e Ajustes

Finais

Após a montagem, foram integrados componentes adicionais essenciais para o funcionamento completo do projeto. Primeiramente, acoplou-se um painel solar, responsável pela captação da energia solar, convertendo a radiação luminosa em energia elétrica para alimentar o sistema ou armazená-la para uso posterior. A escolha do painel solar levou em consideração sua eficiência, capacidade de geração de energia e compatibilidade com os requisitos do projeto.

Além disso, uma bússola digital foi incorporada ao sistema para fornecer informações precisas sobre a orientação geográfica. Esse dado é fundamental para o correto alinhamento do painel solar, permitindo que o sistema ajuste automaticamente sua posição de acordo com a direção do Sol. A comunicação entre a bússola digital e o microcontrolador assegura que o motor ajuste a rotação conforme necessário para otimizar a captação de energia ao longo do dia.

Para monitorar o consumo de energia e a eficiência do sistema, foi inserido um wattímetro entre a fonte de alimentação e o driver L298N. O wattímetro mede a potência elétrica consumida pelo motor e pelos demais componentes, fornecendo dados em tempo real sobre o desempenho energético do sistema. Essas informações são valiosas para ajustes operacionais e garantem que o sistema funcione dentro dos parâmetros esperados, além de oferecer uma base de dados para análises futuras de eficiência e sustentabilidade.

A integração do painel solar, da bússola e do wattímetro resulta em um sistema mais autônomo e eficiente, capaz de se ajustar dinamicamente às condições ambientais, maximizar a captação de energia

solar e monitorar seu desempenho em tempo real. Esse arranjo foi projetado para garantir a máxima eficiência e confiabilidade do sistema, além de proporcionar uma base sólida para análises técnicas e acadêmicas dentro do contexto do projeto.

Figura 4.38: Ajustes finais do protótipo.



Fonte: Autor

Além disso, os alunos prepararam materiais visuais como banners e demonstrações práticas para enriquecer suas apresentações. Devido ao curto período de tempo não foi possível realizar o acoplamento do motor à base, porém a experiência prática foi enriquecedora

para os alunos.

6) Aulas 19-21: Apresentação Final e Publicação dos Artefatos

Os alunos tiveram a oportunidade de compartilhar seus conhecimentos e experiências adquiridos durante o desenvolvimento do projeto ao realizarem uma apresentação para colegas e professores da escola. Essa apresentação foi parte integrante do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) da turma, onde os alunos explicaram em detalhes o funcionamento do protótipo desenvolvido, sua aplicação prática e as etapas envolvidas em sua construção.

Durante a apresentação, os alunos descreveram como o protótipo foi concebido, desde a fase inicial de planejamento e design até a montagem final dos componentes. Eles destacaram a integração dos sistemas motriz, de captação solar e de controle, demonstrando como cada parte contribui para o desempenho geral do protótipo.

Além de descreverem o funcionamento técnico do protótipo, os alunos também abordaram as aplicações práticas do sistema, enfatizando sua relevância no contexto da geração de energia renovável e no monitoramento de sistemas solares. Eles exploraram as possíveis implementações em ambientes reais e discutiram os benefícios potenciais, como a melhoria da eficiência energética e a redução do impacto ambiental.

A apresentação foi uma oportunidade fantástica para os alunos demonstrarem o conhecimento adquirido ao longo do curso, assim como as habilidades práticas desenvolvidas durante o projeto. Ela também proporcionou um espaço para a interação com os professores e colegas, permitindo a troca de ideias e o recebimento de críticas

e sugestões construtivas que enriqueceram ainda mais o processo de aprendizado.

Figura 4.39: Divulgação do protótipo desenvolvido para alunos, professores e funcionários do CEEP Áureo Filho.



Fonte: Autor

5. RESULTADOS

Neste capítulo, serão apresentados os resultados da pesquisa realizada com os alunos dos Ensinos Profissional e Superior. A análise dos dados coletados oferece um panorama sobre o nível de compreensão dos alunos, as dificuldades enfrentadas e a integração de conceitos de Astronomia no contexto educacional dos grupos estudados.

5.1 RESULTADOS NO ENSINO SUPERIOR

Ao realizar o diagnóstico com a turma e perguntar o que é um seguidor solar e quais as suas aplicações, o objetivo foi avaliar o conhecimento prévio dos alunos sobre o tema. A grande maioria, como era esperado, mencionou aplicações relacionadas à energia solar, revelando uma visão limitada, pois os seguidores solares têm diversas outras aplicações. Esse resultado preliminar evidenciou a oportunidade de introduzir novos conceitos em sala de aula.

Os resultados do questionário destacaram que dos 28 alunos que responderam ao questionário, 20 mencionaram aspectos relacionados à energia solar, como a captura de energia fotovoltaica e a eficiência

energética, representando aproximadamente 71,4% do total. Esse grupo demonstrou um entendimento inicial sobre a funcionalidade dos seguidores solares. As respostas indicam que esses alunos tinham ideias ou já tinham visto algo sobre o uso dos seguidores solares em fazendas solares ou sistemas de energia renovável, destacando os benefícios em termos de sustentabilidade, mas sem um conhecimento aprofundado.

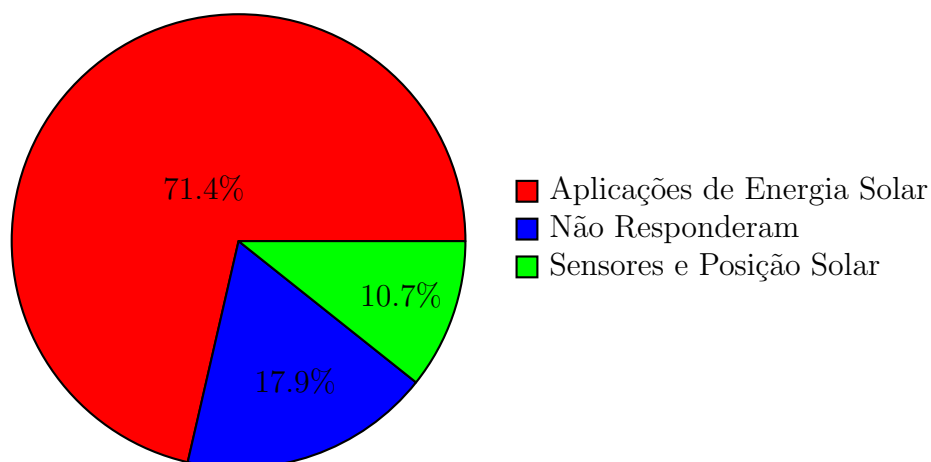
No entanto, 5 alunos, correspondendo a 17,9% dos respondentes, não responderam à questão, o que pode indicar que esses alunos não tiveram contato com o termo ou conceito de seguidor solar em suas vidas.

Além disso, 3 alunos (10,7%) abordaram temas relacionados a sensores e à posição solar. As respostas desse grupo indicam um entendimento parcial sobre a importância dos sensores e dos cálculos de posição solar na operação dos seguidores solares. O gráfico da Figura 5.1 ilustra este diagnóstico.

A lacuna de conhecimento identificada na pesquisa diagnóstica forneceu a possibilidade para a inserção de conceitos de Astronomia no curso de Engenharia da Computação, especificamente dentro da disciplina de Microcontroladores e Microprocessadores. A integração desses conceitos proporcionou aos alunos uma aplicação prática e interdisciplinar dos conhecimentos adquiridos.

A integração de conceitos de Astronomia no projeto foi uma parte essencial do desenvolvimento do seguidor solar. Muitos alunos relataram a aplicação de conhecimentos como latitude e longitude, altura, azimute e distância zenital. Esses conceitos são fundamentais

Figura 5.1: Distribuição das respostas dos alunos de Engenharia da Computação sobre seguidores solares.



Fonte: Autor

para o entendimento do funcionamento do dispositivo e para buscar a precisão do sistema de rastreamento da posição do Sol.

Um dos principais desafios é a compreensão dos cálculos complexos necessários para determinar a posição do Sol. As equações para o cálculo da posição solar presentes na literatura e sua implementação computacional envolve algoritmos matemáticos avançados, como a conversão de datas para o formato de data Juliana, que é um conceito novo e muitas vezes confuso para os estudantes. Além disso, a transformação de coordenadas geográficas em ângulos solares exige um entendimento profundo de trigonometria esférica, algo com que os alunos não estavam familiarizados. Diante deste cenário, foi necessário uma abordagem didática que explicasse esses cálculos. Iniciar com aulas teóricas estruturadas é essencial, introduzindo os conceitos básicos de Astronomia, como coordenadas geográficas e movimento aparente do Sol, antes de avançar para cálculos astronômicos detalha-

dos. Utilizar recursos visuais, como simulações e animações, ajuda os alunos a visualizarem o movimento aparente do Sol. Diagramas e gráficos também são úteis para explicar os conceitos de coordenadas celestes.

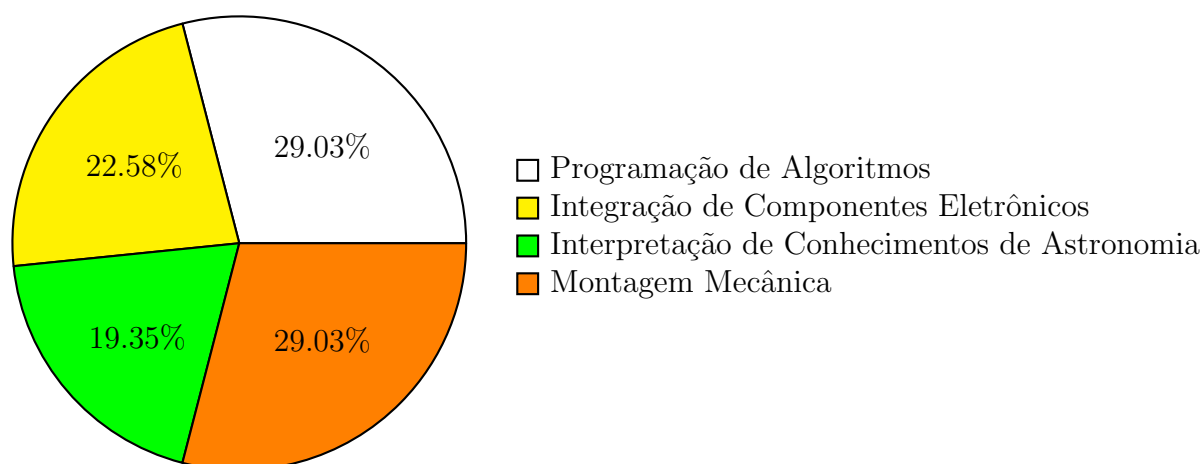
Alguns alunos destacaram que o conhecimento adquirido em sala de aula foi fundamental para o sucesso do projeto, mencionando inclusive o impacto positivo de aprender sobre os movimentos da Terra, movimento aparente do Sol e os fatos geradores das estações do ano.

Entre os desafios técnicos enfrentados, a programação de algoritmos emergiu como uma área crítica, com 29.03% dos participantes destacando-a como a principal dificuldade. A elaboração de algoritmos precisos para o funcionamento eficiente do seguidor solar exigiu não apenas habilidades avançadas em programação, mas também uma compreensão aprofundada dos princípios de Astronomia subjacentes.

Adicionalmente, a integração de componentes eletrônicos foi um obstáculo significativo para 22.58% dos alunos, abrangendo desde a montagem física dos circuitos até a configuração dos sensores e microcontrolador. Aspectos essenciais para a coleta e processamento de dados da posição solar.

A interpretação de conhecimentos da Astronomia foi citada por 19.35% dos participantes como uma área de desafio, ressaltando a complexidade envolvida na aplicação prática dos conhecimentos teóricos adquiridos em sala de aula para a operação do seguidor solar. E cerca de 29,03% afirmaram que enfrentaram dificuldades na montagem mecânica.

Figura 5.2: Distribuição dos desafios técnicos enfrentados pelos alunos.

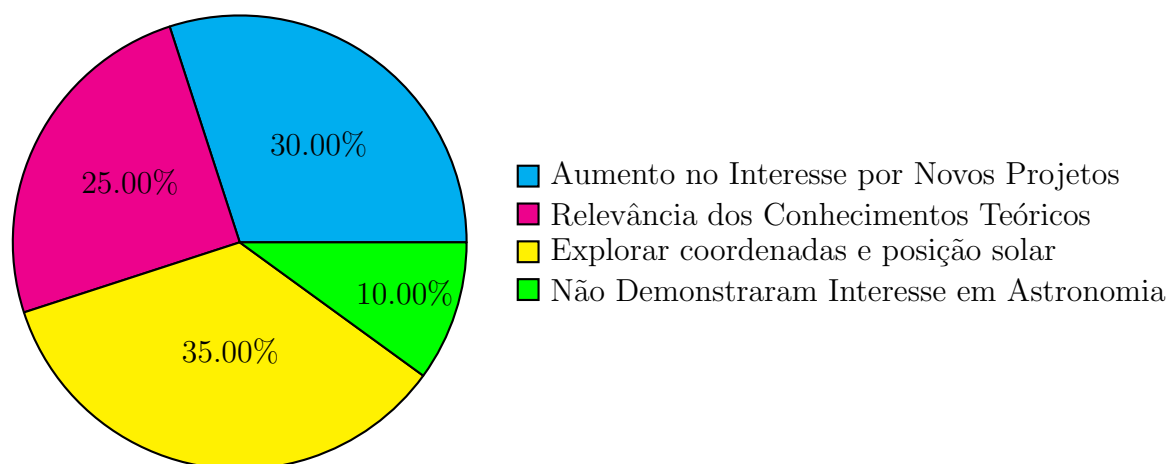


No que diz respeito ao impacto pessoal, os resultados demonstraram uma influência positiva do projeto. 30% dos alunos relataram um aumento significativo no interesse por novos projetos, refletindo uma inspiração duradoura derivada da experiência prática e desafiadora proporcionada pela ABP. Além disso, 25% dos participantes reconheceram a relevância direta dos conhecimentos teóricos adquiridos em sala de aula para o sucesso do projeto. Cerca de 35% relataram a curiosidade despertada em explorar atividades que envolvem coordenadas e posição solar.

Por fim, 10% dos alunos não demonstraram interesse em Astronomia, sublinhando a diversidade de interesses e necessidades educacionais dentro do grupo de participantes. Este resultado ressalta a importância de estratégias pedagógicas que possam engajar todos os alunos de maneira equitativa em iniciativas educacionais.

A implementação da ABP proporcionou um impacto positivo e diversificado. Continuar a integrar abordagens pedagógicas baseadas

Figura 5.3: Impacto pessoal do projeto sobre os alunos.



em projetos fortalece a promoção de um aprendizado motivador para os estudantes.

5.2 RESULTADOS NO ENSINO PROFISSIONAL INTEGRADO E SUBSEQUENTE

Durante a execução do Projeto Seguidor Solar no contexto do Ensino Profissional Integrado ao Ensino Médio, os resultados qualitativos revelaram importantes aspectos sobre o desenvolvimento dos alunos e os impactos educacionais alcançados. A metodologia de Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP) foi fundamental para integrar os conhecimentos de Astronomia e Eletromecânica, desafiando os estudantes a aplicar esses conceitos em um contexto prático e real.

Foi realizado um questionário diagnóstico com os 17 alunos de eletromecânica, abordando temas essenciais de Astronomia. As questões de múltipla escolha abordaram temas como latitude, solstí-

cios, equinócios, radiação solar, inclinação da Terra e sua influência nas estações do ano, e conceitos básicos de orientação como pontos cardeais e zênite.

Os resultados revelaram variações no entendimento dos alunos sobre esses tópicos. A tabela abaixo resume o diagnóstico dos alunos, indicando o percentual de acertos para cada questão.

Os dados indicam que os alunos demonstram bom entendimento em alguns conceitos fundamentais, como radiação solar (64,7%), latitude (58,8%) e pontos cardeais (70,6%). No entanto, há uma compreensão significativamente menor em áreas mais específicas e complexas, como equinócios (5,9%), movimento aparente do Sol (0%) e zênites (5,9%). Na tabela 5.1 estão os resultados por temas consultados no diagnóstico.

Tabela 5.1: Análise do Conhecimento dos Alunos sobre Astronomia

Questão	Tema	Percentual de Acertos (%)
1	Latitude	58,8
2	Solstícios	47,1
3	Influência da Latitude na Luz Solar	17,6
4	Equinócios	5,9
5	Radiação Solar	64,7
6	Inclinação da Terra e Estações	35,3
7	Latitude e Painéis Solares	82,4
8	Movimento Aparente do Sol	0
9	Azimute	11,8
10	Pontos Cardeais	70,6
11	Quantidade de Pontos Cardeais	70,6
12	Zênites	5,9

Fonte: Autor

Esses resultados sugerem a necessidade de reforçar o ensino de conceitos específicos. A lacuna no conhecimento sobre o movi-

mento aparente do Sol foi especialmente preocupante, pois este é um conceito fundamental para a compreensão de fenômenos diários e sazonais observáveis. Sem uma compreensão adequada desses fenômenos, o entendimento do funcionamento do seguidor solar podem ser comprometidas.

A análise das questões discursivas do questionário (13 a 23), evidenciou áreas que necessitam de maior aprofundamento no contexto de energia solar e Astronomia. As respostas demonstraram uma compreensão parcial dos temas abordados, destacando oportunidades de aprendizado.

Na questão sobre o propósito principal de um painel solar, alguns alunos demonstraram clareza, mas ainda há espaço para melhorias. Conceitos como o seguidor solar e suas variações, especialmente de 2 eixos, também necessitam de maior entendimento. A solarimetria, sua importância na geração de energia e os instrumentos usados para medir a radiação solar foram compreendidos de forma limitada. A distinção entre radiação solar direta e difusa, bem como o conhecimento sobre energia heliotérmica e concentradores solares, mostrou-se insuficiente. Além disso, muitos alunos têm uma ideia geral sobre Astronomia e vários expressaram curiosidade e interesse específicos como galáxias, matéria escura, big bang e Telescópio James Webb.

A avaliação contínua foi realizada por meio de observações sistemáticas e análises ao longo de todas as etapas do projeto. Utilizou-se relatórios para acompanhar o progresso dos alunos desde as fases iniciais de pesquisa até a apresentação final. Este método permitiu não apenas avaliar o desempenho final dos estudantes, mas também

monitorar sua evolução ao longo do tempo, enfatizando a importância do processo de aprendizagem como um todo.

Em relação à disposição para realizar pesquisas, observou-se que uma parcela significativa dos alunos demonstrou um engajamento profundo na busca por conhecimentos no tema do projeto. Embora alguns tenham enfrentado desafios na realização completa das pesquisas propostas, a maioria conseguiu explorar e aplicar conceitos em Astronomia e Eletromecânica, fundamentais para a montagem e desenvolvimento dos protótipos.

A habilidade para trabalhar em equipe foi outra competência chave avaliada durante o projeto. Embora alguns grupos tenham enfrentado dificuldades na distribuição de tarefas e na colaboração eficaz, o projeto proporcionou uma oportunidade para os alunos aprenderem a importância da colaboração e do compartilhamento de responsabilidades.

Os alunos demonstraram habilidades variadas na utilização de componentes eletrônicos, sensores e microcontroladores na montagem dos kits comerciais. A aplicação prática desses conhecimentos fortaleceu suas habilidades técnicas. Além disso, a análise dos conhecimentos adquiridos em Astronomia e Eletromecânica revelou uma evolução significativa no entendimento dos alunos sobre os princípios fundamentais que regem o movimento aparente do Sol e o funcionamento dos sistemas de energia fotovoltaica. Desde o início do projeto até a apresentação final, os alunos puderam aplicar esses conhecimentos de maneira ativa.

Para entender melhor o impacto e o interesse dos alunos nas

atividades desenvolvidas, criamos um questionário para os estudantes do Centro Estadual de Educação Profissional Áureo de Oliveira Filho. Este questionário foi aplicado ao final da aplicação didática (ABP). Queríamos saber mais sobre o que os alunos aprenderam e como eles aplicaram esses conhecimentos na prática.

Primeiro, queríamos avaliar a importância de integrar conceitos de Astronomia no currículo do curso técnico. Outro ponto foi verificar a eficácia das aulas teóricas e práticas, especialmente no que diz respeito à posição do Sol e seu impacto na eficiência dos seguidores solares. Além disso, buscamos entender a relevância do conhecimento astronômico e das habilidades técnicas desenvolvidas para o crescimento profissional dos alunos. Por fim, queríamos identificar como os alunos percebem a aplicação prática dos conceitos aprendidos e como isso pode contribuir para a inovação em projetos técnicos.

As questões e alternativas de resposta, detalhadas na Tabela 5.2, foram elaboradas para oferecer uma visão sobre a experiência educacional dos alunos. Analisamos suas percepções sobre a relevância dos conhecimentos adquiridos e buscamos maneiras de melhorar futuras atividades pedagógicas nesta área.

Tabela 5.2: Questionário sobre a Integração de Astronomia no Ensino Profissional

Questão	Alternativas				
1. Qual a importância de integrar conhecimentos de Astronomia ao seu curso técnico?	Nenhuma	Pouca	Regular	Bom, Importante	Alto, Excelente
2. Como você avalia seu conhecimento em Astronomia antes do início do projeto?	Nenhum	Pouco	Regular	Bom, Importante	Alto, Excelente

3. O quanto ao estudo sobre a posição do Sol e o funcionamento dos seguidores solares ajudou a melhorar seu conhecimento?	Nenhum	Pouco	Regular	Bom, Importante	Alto, Excelente
4. A prática de construção e ajuste de seguidores solares colaborou para melhorar suas habilidades nas disciplinas técnicas?	Nenhum	Pouco	Regular	Bom, Importante	Alto, Excelente
5. Como você avalia a importância das aplicações de seguidores solares em áreas que não envolvem a geração de energia, como sensoriamento e radiotelescópios?	Nenhum	Pouco	Regular	Bom, Importante	Alto, Excelente
6. A integração de conceitos de Astronomia no desenvolvimento do projeto de seguidores solares é relevante para o seu desenvolvimento profissional?	Nenhuma	Pouca	Regular	Bom, Importante	Alto, Excelente
7. O conhecimento sobre a trajetória do Sol e os princípios de rastreamento solar pode contribuir para a inovação em projetos técnicos?	Nenhuma	Pouca	Regular	Bom, Importante	Alto, Excelente
8. Como você avalia a importância de utilizar conceitos de Astronomia para otimizar a eficiência de sistemas de energia solar?	Nenhuma	Pouca	Regular	Bom, Importante	Alto, Excelente

9. O governo e as instituições de ensino devem apoiar projetos que integrem Astronomia e tecnologias em cursos técnicos e profissionalizantes?	Nenhuma	Pouca	Regular	Bom, Importante	Alto, Excelente
10. Onde você encontrou informações mais úteis sobre a integração de Astronomia com tecnologias de rastreamento solar e sistemas fotovoltaicos?	(1) Livros ou Artigos	(2) Família	(3) Mídia (TV, rádio e jornais)	(4) Recursos Online (sites e blogs)	(5) Outros

Fonte: Autor

O questionário foi estruturado de acordo com um padrão específico para facilitar a interpretação das respostas. Nas questões de 1 a 9, os itens "Nenhuma" e "Pouca" representavam as avaliações mais baixas, indicando que o aspecto em questão era considerado de pouca relevância ou sem impacto significativo na aprendizagem. O item "Regular" servia como uma avaliação intermediária, sugerindo que a questão era parcialmente atendida ou de importância moderada. Por fim, os itens "Bom, importante" e "Alto, excelente" correspondiam às avaliações mais altas, refletindo questões de grande importância ou atividades que resultaram em um aproveitamento excepcional.

No caso da pergunta 10, foi permitido que os participantes selecionassem mais de uma opção dentre as disponíveis. Além disso, foi oferecido um espaço adicional para que os respondentes pudessem registrar observações ou fazer sugestões relacionadas às atividades, conforme julgassem pertinente.

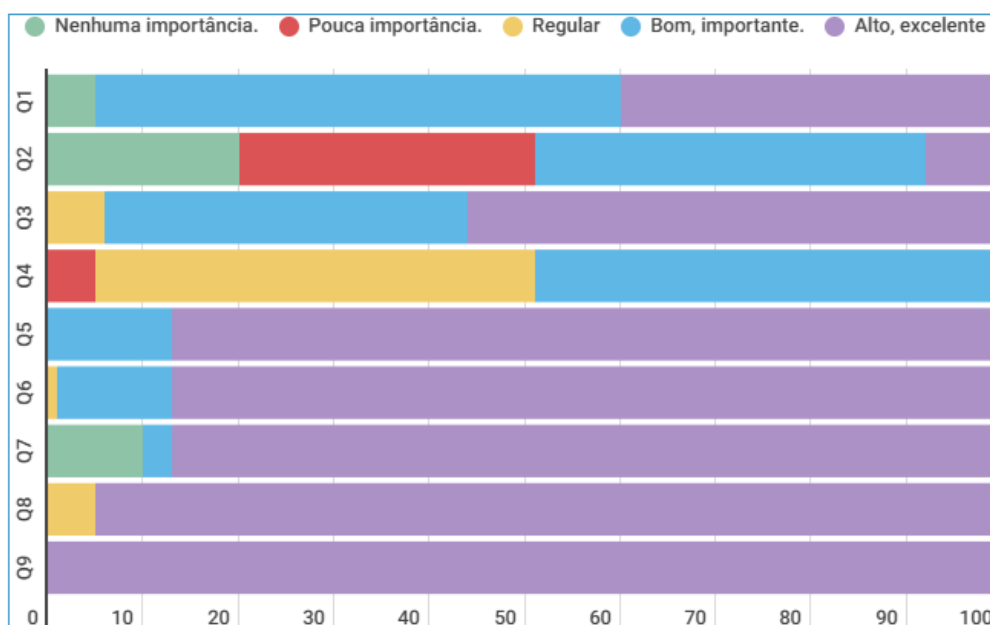
Participaram das atividades 17 alunos do Ensino Profissional Integrado (EPI) em Eletromecânica e 7 alunos do Ensino Profissional

Subsequente (PROSUB) em Eletrotécnica. Para a análise dos resultados e a elaboração dos gráficos, foi utilizado o seguinte critério de avaliação:

- 1 – Nenhuma importância.
- 2 – Pouca importância.
- 3 – Regular.
- 4 – Bom, importante.
- 5 – Alto, excelente.

A tabulação das respostas permitiu a confecção de gráficos que auxiliam na comparação e compreensão das opiniões dos alunos em relação às questões propostas no questionário.

Figura 5.4: Análise das questões de 1 a 9 do questionário.



Fonte: Autor

Conforme a análise dos dados e gráfico, é possível chegar aos seguintes resultados:

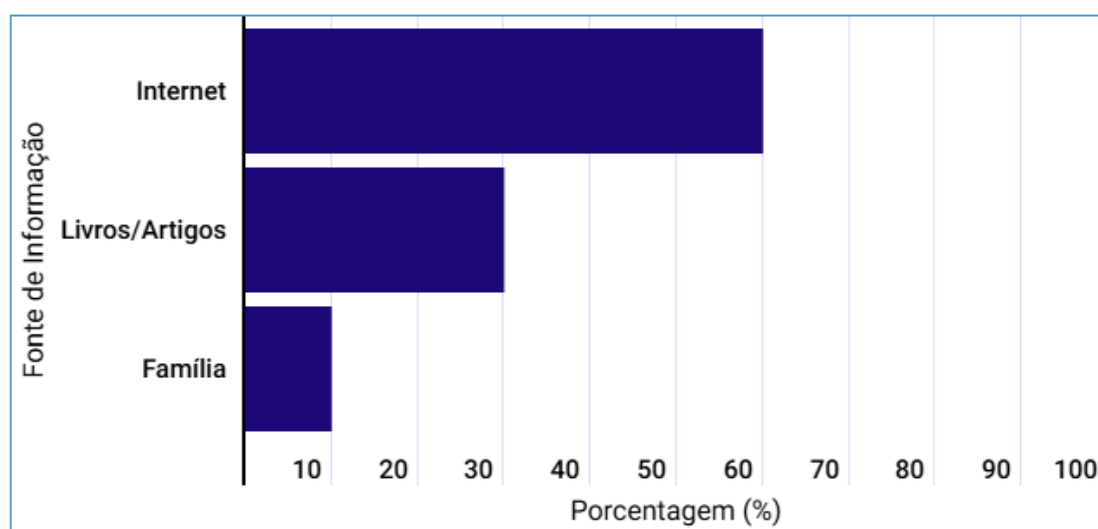
1. **Importância de integrar conhecimentos de Astronomia:** 92% dos alunos consideram importante ou extremamente importante integrar conhecimentos de Astronomia em seus cursos técnicos, destacando a relevância desse conhecimento para o desenvolvimento de habilidades práticas e teóricas.
2. **Avaliação do conhecimento prévio em Astronomia:** 51% dos alunos relataram ter pouco ou nenhum conhecimento prévio sobre Astronomia antes do início do projeto, enquanto 41% tinham algum conhecimento regular, evidenciando a necessidade de reforço nessa área.
3. **Impacto do estudo sobre a posição do Sol e seguidores solares:** 56% dos alunos acreditam que o estudo sobre a posição do Sol e o funcionamento dos seguidores solares contribuiu significativamente para melhorar seu conhecimento, com 38% concordando totalmente com essa afirmação.
4. **Desenvolvimento de habilidades técnicas através da prática:** A prática de construção e ajuste de seguidores solares foi considerada eficaz por 46% dos alunos para melhorar suas habilidades técnicas, especialmente nas disciplinas de eletromecânica e eletrotécnica, enquanto 49% concordaram totalmente.
5. **Relevância das aplicações de seguidores solares em áreas não energéticas:** 87% dos alunos reconheceram a importância das

aplicações de seguidores solares em áreas como sensoriamento e radiotelescópios, mostrando um entendimento ampliado das possibilidades de uso dessa tecnologia além da geração de energia.

6. **Relevância da integração de conceitos de Astronomia para o desenvolvimento profissional:** 87% dos alunos consideraram relevante a integração de conceitos astronômicos no desenvolvimento de suas carreiras técnicas, com 98% acreditando que o governo e as instituições de ensino devem apoiar projetos que integrem Astronomia e tecnologia nos cursos técnicos.
7. **Contribuição para a inovação em projetos técnicos:** 87% dos alunos concordaram que o conhecimento sobre a trajetória do Sol e os princípios de rastreamento solar pode contribuir para a inovação em projetos técnicos, mostrando a importância de tais conhecimentos para avanços tecnológicos.
8. **Otimização da eficiência de sistemas de energia solar:** 95% dos alunos consideram importante ou extremamente importante a utilização de conceitos de Astronomia para otimizar a eficiência de sistemas de energia solar, evidenciando a relevância prática desses conceitos.
9. **Apoio do governo e instituições de ensino para projetos que integram Astronomia e tecnologia:** 100% dos alunos acreditam que o governo e as instituições de ensino devem apoiar projetos que integrem Astronomia e tecnologias em cursos técnicos e profissionalizantes, destacando a importância de políticas educacionais voltadas para essa área.

Em relação às fontes de informação utilizadas para integrar Astronomia com tecnologias de rastreamento solar e sistemas fotovoltaicos, 60% dos alunos mencionaram a internet como principal fonte de pesquisa, seguida por livros e artigos com 30%, e pela família com 10%.

Figura 5.5: Análise da questão 10 do questionário.



Fonte: Autor

Não foram feitas sugestões ou adicionadas informações adicionais no campo reservado para observações.

A análise dos resultados reflete a percepção dos alunos sobre a integração de conhecimentos de Astronomia em seus cursos técnicos, destacando a importância dessa abordagem para o desenvolvimento acadêmico e profissional. Os alunos reconheceram a relevância dos conceitos astronômicos tanto para a compreensão teórica quanto para a aplicação prática em projetos técnicos. Essa integração também foi vista como um meio eficaz de promover inovações tecnológicas, especialmente no contexto de sistemas de energia solar.

Além disso, a prática de construção e ajuste de seguidores solares foi avaliada como uma experiência significativa para o aprimoramento de habilidades técnicas, demonstrando a eficácia do aprendizado prático. A valorização das aplicações de seguidores solares em áreas que não envolvem diretamente a geração de energia indica uma visão ampliada dos alunos sobre as possibilidades de uso dessa tecnologia.

Finalmente, a necessidade de apoio institucional foi unanimemente reconhecida, reforçando a importância de políticas educacionais que incentivem a integração de Astronomia e tecnologia em cursos técnicos, alinhando o ensino com as demandas contemporâneas do mercado e da sociedade.

A internet foi identificada como a principal fonte de informação para os alunos, o que reflete a facilidade de acesso, a vastidão de recursos disponíveis, e a familiaridade dos estudantes com essa plataforma. Essa preferência destaca a importância de disponibilizar conteúdos digitais de alta qualidade e de confiança, especialmente em Astronomia, para garantir que os alunos possam aprofundar seu aprendizado de forma segura e alinhada com as exigências acadêmicas e profissionais. A tendência de buscar informações online também aponta para a necessidade de integrar recursos digitais no currículo, ampliando o alcance e a acessibilidade do ensino de Astronomia.

6. PRODUTO EDUCACIONAL

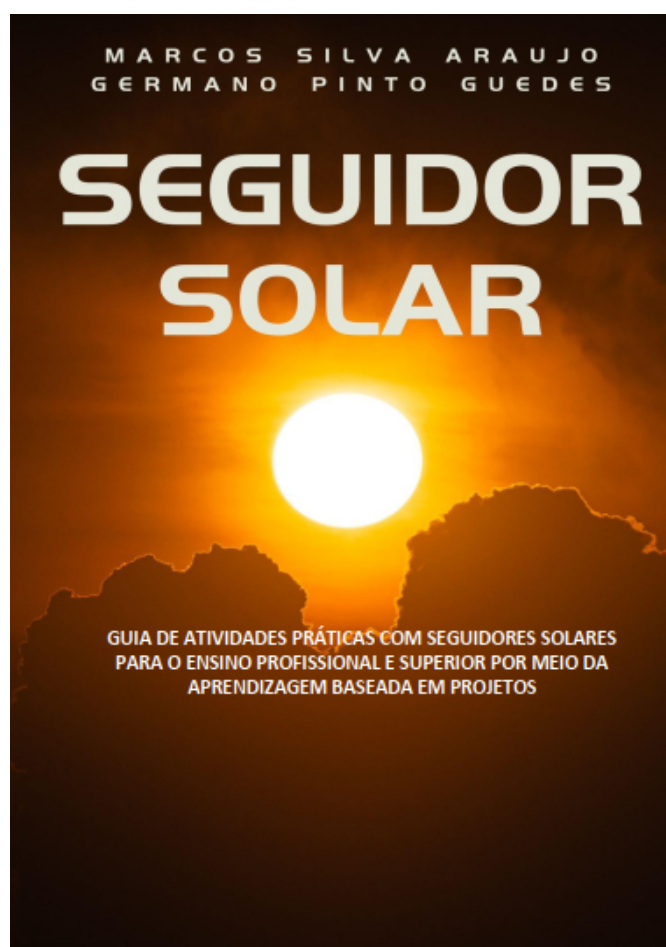
O Guia de Atividades Práticas apresentado nesta dissertação é resultado da pesquisa realizada neste trabalho. Desenvolvido como parte do Mestrado Profissional em Astronomia da Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), o guia visa suprir uma lacuna no ensino de Astronomia, utilizando Seguidores Solares como foco principal.

Estruturado para apoiar a prática pedagógica, o guia combina fundamentos teóricos e aplicações práticas de Seguidores Solares, oferecendo aos professores ferramentas eficazes para serem usadas em atividades e projetos no ensino profissional e superior. A metodologia adotada, baseada na Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP), busca superar desafios educacionais como a limitação de tempo em aula e o grande número de alunos, enquanto estimula a curiosidade e o engajamento.

O guia inclui atividades práticas que promovem uma compreensão aprofundada dos Seguidores Solares e incentivam a aplicação dos conhecimentos em situações reais. Ele visa não apenas a assimilação de teorias, mas também o desenvolvimento de habilidades práticas e criativas dos alunos.

Em resumo, o Guia de Atividades Práticas é uma ferramenta essencial para educadores que buscam implementar a ABP, ajudando a planejar e executar atividades que envolvam os alunos de forma significativa, preparando-os para os desafios acadêmicos e profissionais. A Figura 6.1 mostra a capa do produto educacional desenvolvido.

Figura 6.1: Capa do Produto Educacional.



Fonte: Autor

7. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, é possível concluir que a pesquisa implementada nos níveis de Ensino Profissional e Superior alcançou seus objetivos principais e contribuiu significativamente para o ensino de Astronomia. A pesquisa demonstrou que a introdução e aplicação do kit didático baseado em seguidores solares permitiu aos alunos uma compreensão satisfatória dos conceitos de Astronomia.

A aplicação prática dos protótipos eletromecânicos e a criação de um site educacional foram efetivas em ampliar o acesso à informação e em fomentar a troca de conhecimentos. No entanto, tanto alunos quanto professores enfrentaram desafios consideráveis, como dificuldades na programação de algoritmos e na integração de componentes eletrônicos, além de desafios pedagógicos relacionados à complexidade dos conceitos relacionados as equações da Astronomia.

Esses desafios ressaltam a necessidade de abordagens didáticas mais eficazes e de um suporte adicional para facilitar a compreensão e aplicação dos princípios envolvidos. A implementação da Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP) mostrou-se benéfica ao aumentar o interesse dos alunos por projetos técnicos e aprimorar suas habilidades práticas e teóricas. Contudo, foi observada uma compreensão desigual

dos conceitos astronômicos no Ensino Profissional Integrado e Subsequente, indicando a necessidade de reforçar o ensino em conceitos como movimento aparente do Sol e coordenadas astronômicas.

7.1 TRABALHOS FUTUROS

Para aprimorar ainda mais as possibilidades de aplicação, sugere-se a inclusão de diferentes tipos de sensores que possam fornecer dados adicionais e enriquecer a experiência prática. Além disso, a incorporação de tecnologias de rastreamento de outros corpos celestes, como estrelas, planetas e a lua, pode oferecer uma perspectiva mais ampla e diversificada sobre a dinâmica cósmica.

Uma linha promissora de pesquisa é a utilização de telescópios de múons. Os múons são partículas subatômicas semelhantes aos elétrons, porém com uma massa significativamente maior. Eles são produzidos quando partículas de alta energia, como os raios cósmicos, interagem com a atmosfera terrestre. Os telescópios de múons são projetados para detectar esses múons que atravessam objetos astronômicos, como o Sol. Ao analisar a passagem dos múons através do Sol e outros corpos celestes, esses telescópios podem fornecer dados sobre a composição interna e as características desses objetos.

Essas abordagens poderiam contribuir significativamente para o avanço do conhecimento e o aprimoramento dos métodos de ensino de Astronomia, proporcionando uma base sólida para futuras investigações e desenvolvimentos tecnológicos na área.

REFERÊNCIAS

BACICH, L.; HOLANDA, L. Steam: integrando as áreas para desenvolver competências. **STEAM em sala de aula: a aprendizagem baseada em projetos integrando conhecimentos na educação básica**, p. 1–12, 2020. 20

BENDER, W. N. **Aprendizagem baseada em projetos: educação diferenciada para o século XXI**. [S.l.]: Penso Editora, 2015. 95

BLANCO-MURIEL, M. *et al.* Computing the solar vector. **Solar Energy**, v. 70, n. 5, p. 431–441, 2001. 82, 83

BOCZKO, R. **Aula sobre o movimento da eclíptica**. s.d. Slide. 51

BRANDÃO, W. Q. **Estudo sobre o movimento relativo do Sol**. Feira de Santana, BA, 2011. Relatório final sobre as atividades desenvolvidas como bolsista do PIBIC/CNPq apresentado à coordenação do Programa, como parte dos requisitos exigidos na Resolução Normativa do CNPq RN - 017/2006. 55, 110

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular - BNCC**. Brasília: MEC, 2018. Acesso em: 11/11/2022. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.br/images/BNCC_EI_EF_110518-versaofinal_site.pdf>. 19

CEEP ÁUREO FILHO, Centro Estadual de Educação Profissional Áureo de Oliveira Filho. **Portaria Principal Centro Estadual de Educação Profissional Áureo de Oliveira Filho**. 2013. Facebook. Acesso em: 15 mar. 2024. Disponível em: <<https://www.facebook.com/ceepaureofilho>>

[//www.facebook.com/photo/?fbid=226213937550594&set=a.184723515032970&locale=pt_BR](https://www.facebook.com/photo/?fbid=226213937550594&set=a.184723515032970&locale=pt_BR)>. 90

COOPER, P. I. The absorption of radiation in solar stills. **Solar Energy**, v. 12, n. 3, p. 333–346, 1969. 82

FILHO, K. de S. O. **Telescópios - A Grandeza do Universo ao Alcance de Nossos Olhos**. 2018. <<http://astro.if.ufrgs.br/telesc/node3.htm>>. Modificada em 21 mar 2018. 34

FILHO, K. S.; SARAIVA, M. F. O. **UFRGS - Medidas Temporais**. 2022. Disponível em: <<http://astro.if.ufrgs.br/tempo/tempo.htm#solar>>. Acesso em: 16 de agosto de 2023. 44

GATTI, B. A. Estudos quantitativos em educação. **Educação e pesquisa**, v. 30, n. 01, p. 11–30, 2004. 88

GRENA, R. An algorithm for the computation of the solar position. **Solar Energy**, v. 82, n. 5, p. 462–470, 2008. 83

HERNÁNDEZ, F.; VENTURA, M. **A Organização do Currículo por Projetos de Trabalho: o conhecimento é um caleidoscópio**. [S.l.]: Penso Editora, 2017. 95

IF-UFRGS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. **Movimento Anual do Sol e Estações do Ano**. 2023. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/~fatima/fis2010/Aula3-141.pdf>>. Acesso em: 07 de março de 2023. 22, 23

JR, L. W. S. Algorithm for solar radiation on mountain slopes. **Water Resources Research**, v. 12, n. 1, p. 108–112, 1976. 82

KOEBRICH, S. *et al.* **2017 Renewable Energy Data Book: Including Data and Trends for Energy Storage and Electric Vehicles**. [S.l.], 2019. 30

LAMM, L. O. A new analytic expression for the equation of time. **Solar Energy**, v. 26, p. 465, 1981. 82

- LIOU, K.-N. **An introduction to atmospheric radiation**. [S.l.]: Elsevier, 2002. v. 84. 34, 36, 37, 39
- LUDKE, M.; ANDRÉ, M. Pesquisa em educação: abordagens qualitativas. **Em Aberto**, v. 5, n. 31, 1986. 88
- MARTINS, F. R. *et al.* **Atlas brasileiro de energia solar 2**. [S.l.]: Inpe, 2017. 28, 29, 30, 31, 41, 42, 70, 74
- MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B. **Energia Solar: Estimativa e Previsão de Potencial Solar**. [S.l.]: Editora Appris, 2020. 66, 68
- MEEUS, J. **Astronomical Algorithms**. Second. Richmond: Willmann-Bell, Inc., 1998. 82, 83
- MICHALSKY, J. J. The astronomical almanac's algorithm for approximate solar position (1950-2050). **Solar Energy**, v. 40, n. 3, 1988. 82
- NARENDRASINH, V. S. G.; PARMAR, J.; PARMAR, A. N. Passive solar tracking system. **International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering**, v. 5, n. 1, p. 138–144, January 2015. 57, 61
- NOAA. **NOAA Solar Calculator**. 2023. Disponível em: <<https://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/>>. Acesso em: 07 de fevereiro de 2023. 82
- PEREIRA, E. B. *et al.* **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 34
- PITMAN, C. L.; VANT-HULL, L. L. Errors in locating the sun and their effect on solar intensity predictions. In: **Meeting of American Section of the International Solar Energy Society**. Denver: [s.n.], 1978. p. 701–706. 82
- PROCÓPIO, A. S. **Forçante radiativa direta dos aerossóis na região amazônica devido à queima de biomassa**. Tese (Tese (Doutorado)) —

Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. Acesso em: 18 set. 2024. 33

RACHARLA, S.; RAJAN, K. Solar tracking system—a review. **International journal of sustainable engineering**, Taylor & Francis, v. 10, n. 2, p. 72–81, 2017. 57

REDA, I.; ANDREAS, A. Solar position algorithm for solar radiation applications. **Solar Energy**, v. 76, n. 5, p. 577–589, 2004. 82, 83

ROBERTI, D. R. **Física da Atmosfera: DCG – Disciplina Complementar de Graduação**. [S.l.]: Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Curso de Graduação em Física, 2013. 38, 40

SOUZA, R. d. **Os Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica – Livro Digital de Introdução aos Sistemas Solares**. Ribeirão Preto, SP: BlueSol Energia Solar, 2016. 18

SPENCER, J. Fourier series representation of the position of the sun. **Search**, v. 2, n. 5, p. 172, 1971. 54

URQUHART, B. K. E. *et al.* Development of a sky imaging system for short-term solar power forecasting. **Atmos. Meas. Tech.**, v. 8, p. 875–890, 2015. 80

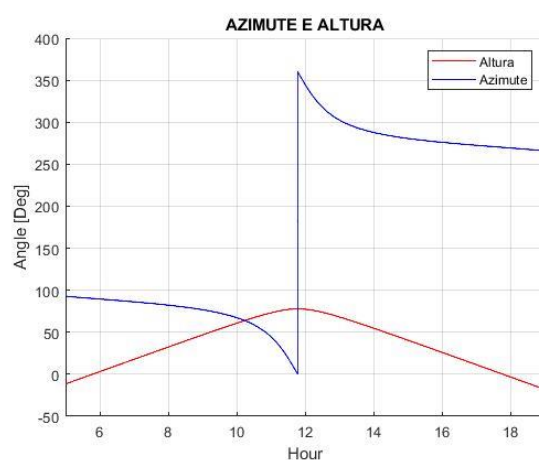
VALLDOREIX GREENPOWER. **The Benefits of Solar Trackers**. <<http://www.valldoreix-gp.com/the-benefits-of-solar-trackers/>>. Acesso em: 08/08/2023. 63

WALRAVEN, R. Calculating the position of the sun. **Solar Energy**, v. 20, n. 5, p. 393–397, 1978. 82

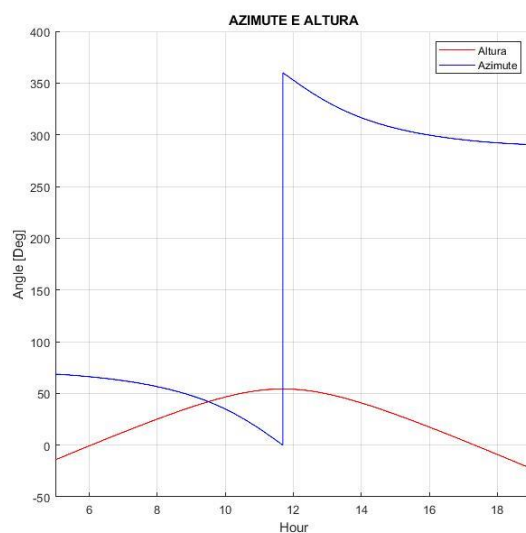
APÊNDICE A - GRÁFICOS

A) REGISTRO DE DADOS E GRÁFICOS-ALGORITMO NOAA (LAT -12.27 E LON -39.9)

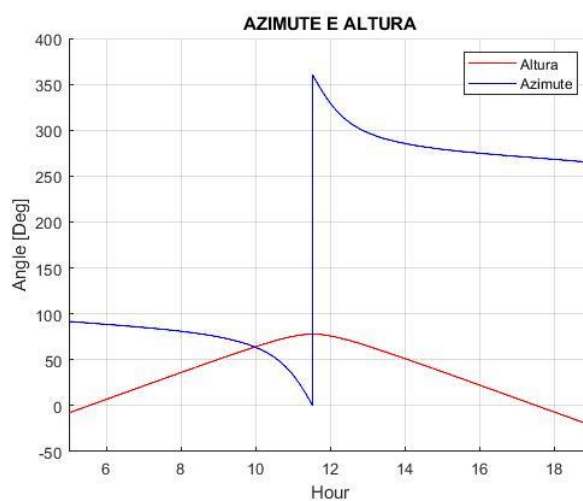
DATA 20/03/2023



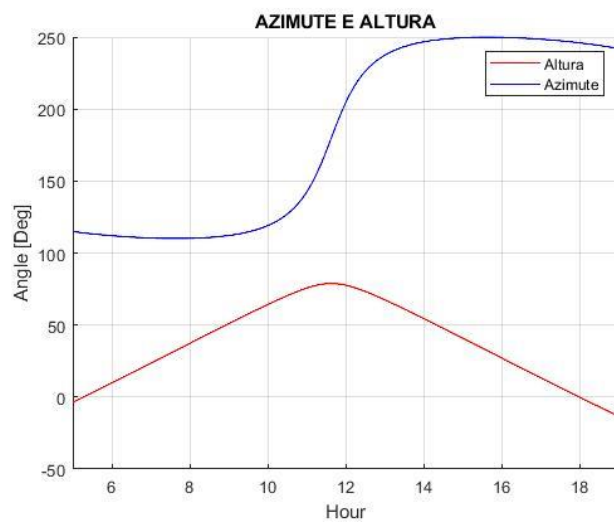
HORA	AZIMUTE	ALTURA
06:00	89.5	3.3
07:00	86.2	17.8
08:00	82.2	32.4
09:00	76.8	46.8
10:00	67.4	60.8
11:00	44.7	73.1
12:00	345.3	77.4
13:00	302.7	68.1
14:00	287.9	54.9
15:00	280.7	40.5
16:00	276.1	25.9
17:00	272.5	11.3
18:00	269.3	-3.1
19:00	266.0	-17.9

DATA 21/06/2023

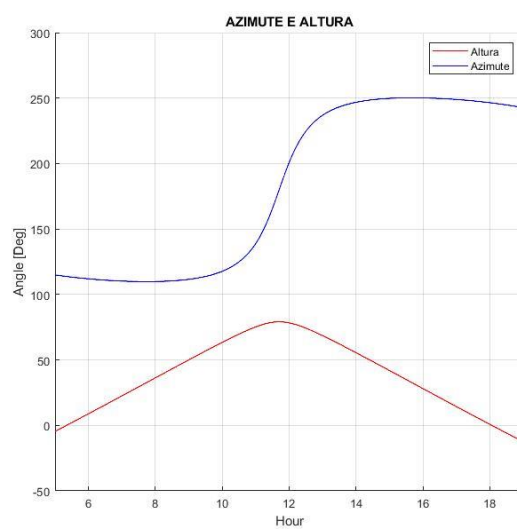
HORA	AZIMUTE	ALTURA
06:00	66.1	-0.7
07:00	62.3	12.7
08:00	56.4	25.2
09:00	47.7	36.9
10:00	34.7	46.8
11:00	15.9	52.9
12:00	352.7	54.0
13:00	331.6	49.5
14:00	316.5	40.7
15:00	306.4	29.9
16:00	299.7	17.4
17:00	295.1	4.4
18:00	292.2	-9.1
19:00	290.5	-22.7

DATA 23/09/2023

HORA	AZIMUTE	ALTURA
06:00	88.5	6.9
07:00	85.1	21.5
08:00	81.0	36.0
09:00	75.0	50.3
10:00	63.5	64.1
11:00	33.8	75.4
12:00	330.0	76.1
13:00	297.6	65.1
14:00	285.4	51.4
15:00	279.1	36.9
16:00	274.9	22.4
17:00	271.5	7.7
18:00	268.3	-6.9
19:00	264.9	-21.3

DATA 22/12/2023

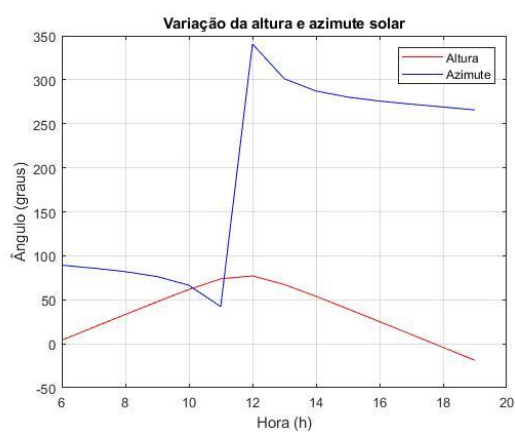
HORA	AZIMUTE	ALTURA
06:00	112.0	10
07:00	110.4	23.5
08:00	110.2	37.3
09:00	112.2	50.9
10:00	119.1	64.2
11:00	142.4	75.7
12:00	204.0	77.6
13:00	237.4	67.6
14:00	246.7	54.6
15:00	249.5	41.1
16:00	249.8	27.7
17:00	248.5	13.5
18:00	246.0	-0.002
19:00	242.0	-13.2

DATA 30/12/2023

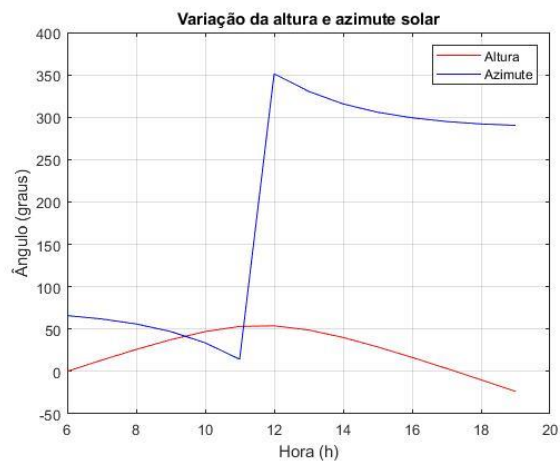
HORA	AZIMUTE	ALTURA
06:00	111.9	8.9
07:00	110.2	22.6
08:00	109.9	36.3
09:00	111.6	50.1
10:00	117.7	63.4
11:00	138.9	75.2
12:00	200.7	78.3
13:00	236.9	68.5
14:00	246.8	55.5
15:00	249.8	41.9
16:00	250.1	28.1
17:00	248.9	14.3
18:00	246.5	0.8
19:00	242.6	-12.5

**B) REGISTRO DE DADOS E GRÁFICOS-ALGORITMO SPA
BLANCO-MURIEL**

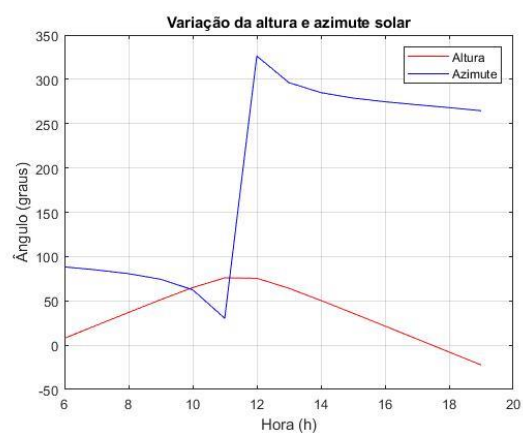
DATA 20/03/2023



HORA	AZIMUTE	ALTURA
06:00	89.5	3.2
07:00	86.2	17.8
08:00	82.3	32.4
09:00	76.8	46.8
10:00	67.4	60.8
11:00	44.7	73.1
12:00	345.0	77.4
13:00	302.6	68.2
14:00	287.9	54.8
15:00	280.7	40.6
16:00	276.1	26.1
17:00	272.5	11.5
18:00	269.3	-3.17
19:00	266.0	-17.8

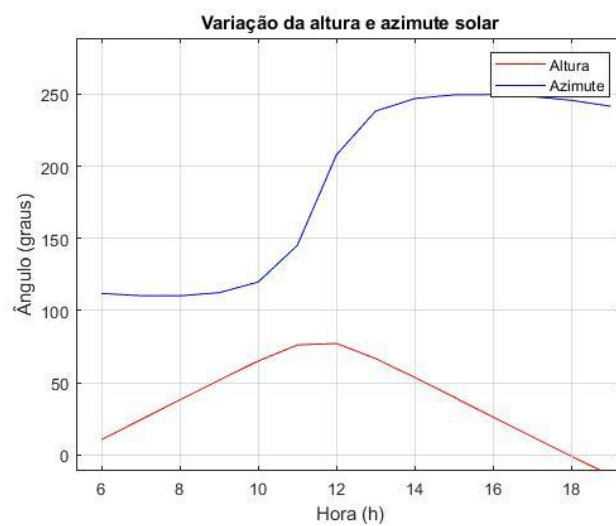
DATA 21/06/2023

HORA	AZIMUTE	ALTURA
06:00	66.1	-0.7
07:00	62.3	12.5
08:00	56.5	25.2
09:00	47.9	36.8
10:00	34.8	46.5
11:00	15.8	52.9
12:00	352.7	54.0
13:00	331.7	49.4
14:00	316.5	40.8
15:00	306.4	29.7
16:00	299.6	17.4
17:00	295.1	4.4
18:00	292.2	-9.0
19:00	290.5	-22.7

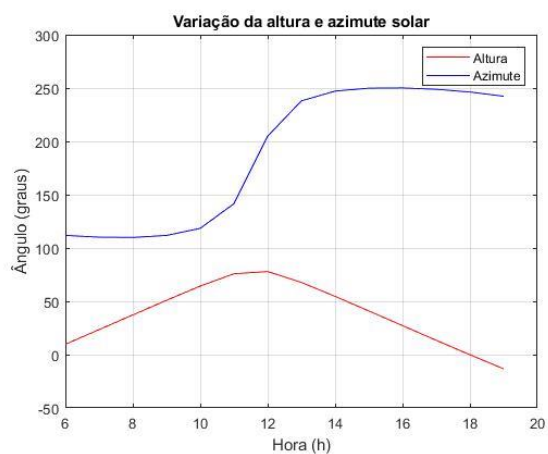
DATA 23/09/2023

HORA	AZIMUTE	ALTURA
06:00	88.5	6.8
07:00	85.2	21.5
08:00	81.0	36.0
09:00	74.9	50.4
10:00	63.6	64.1
11:00	33.7	75.5
12:00	329.7	76.0
13:00	297.4	65.0
14:00	285.5	51.3
15:00	279.2	37.0
16:00	274.9	22.4
17:00	271.4	7.8
18:00	268.3	-6.8
19:00	264.8	-21.4

DATA 22/12/2023



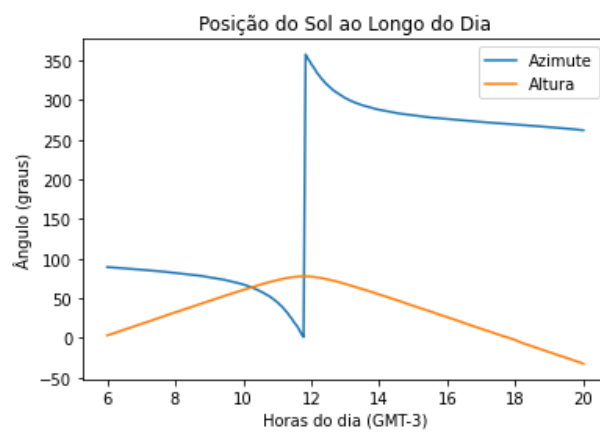
HORA	AZIMUTE	ALTURA
06:00	112.1	9.8
07:00	110.4	23.5
08:00	110.2	37.2
09:00	112.2	50.9
10:00	119.0	64.2
11:00	142.3	75.6
12:00	204.2	77.7
13:00	237.3	67.6
14:00	246.6	54.6
15:00	249.5	40.9
16:00	249.8	27.2
17:00	248.5	13.5
18:00	246.0	-0.03
19:00	242.0	-13.2

DATA 30/12/2023

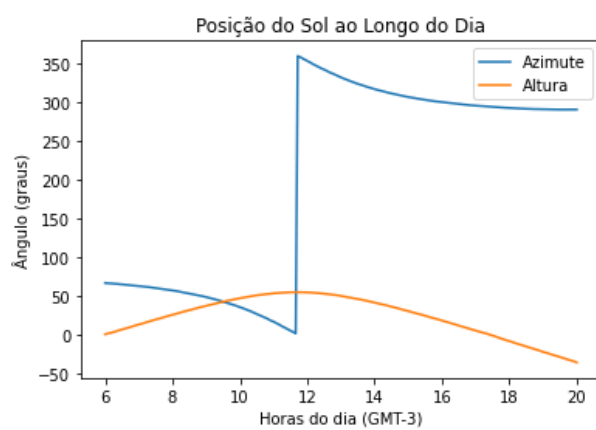
HORA	AZIMUTE	ALTURA
06:00	111.9	8.9
07:00	110.2	22.6
08:00	109.9	36.34
09:00	111.55	50.1
10:00	117.7	63.4
11:00	138.9	75.2
12:00	200.8	78.3
13:00	236.9	68.5
14:00	246.8	55.5
15:00	249.8	41.9
16:00	250.1	28.1
17:00	248.9	14.3
18:00	246.5	0.8
19:00	242.6	-12.5

**C) REGISTRO DE DADOS E GRÁFICOS-ALGORITMO SPA
REDA E ANDREAS (LAT -12.27 E LON -39.9)**

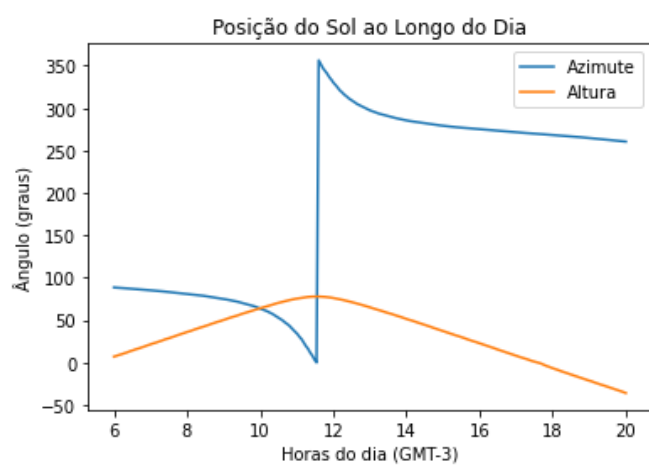
DATA 20/03/2023



HORA	AZIMUTE	ALTURA
06:00	89.5	3.4
07:00	86.3	17.6
08:00	82.3	32.2
09:00	77.1	46.4
10:00	67.2	61.0
11:00	44.7	73.2
12:00	345.0	77.4
13:00	302.6	68.2
14:00	288.0	55.1
15:00	280.8	40.9
16:00	276.2	26.6
17:00	272.5	11.3
18:00	269.3	-2.7
19:00	266.0	-17.9

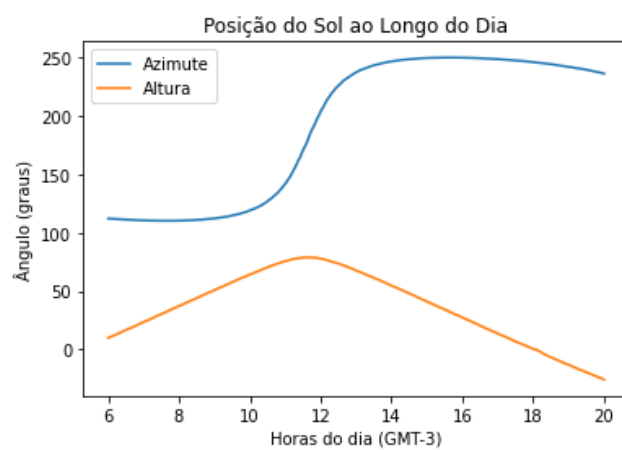
DATA 21/06/2023

HORA	AZIMUTE	ALTURA
06:00	66.1	-0.1
07:00	62.3	12.4
08:00	56.6	25.0
09:00	48.2	36.4
10:00	34.5	46.7
11:00	15.8	52.9
12:00	352.7	54.0
13:00	331.7	49.5
14:00	316.7	41.0
15:00	306.5	30.0
16:00	299.8	17.9
17:00	295.1	4.4
18:00	292.2	-9.1
19:00	290.5	-22.7

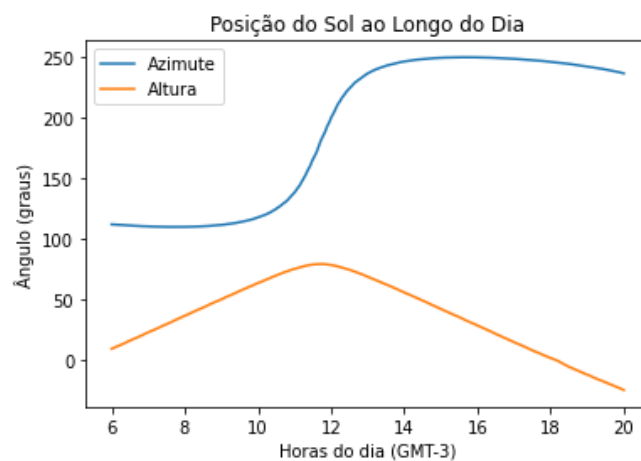
DATA 23/09/2023

HORA	AZIMUTE	ALTURA
06:00	88.5	6.9
07:00	85.2	21.3
08:00	81.1	35.8
09:00	75.2	49.9
10:00	63.3	64.4
11:00	33.7	75.5
12:00	329.7	76.0
13:00	297.4	65.0
14:00	285.6	51.6
15:00	279.3	37.3
16:00	275.1	23.0
17:00	271.4	7.7
18:00	268.3	-6.9
19:00	264.8	-21.5

DATA 22/12/2023



HORA	AZIMUTE	ALTURA
06:00	112.1	9.9
07:00	110.5	23.3
08:00	110.2	37.0
09:00	112.1	50.5
10:00	119.2	64.4
11:00	142.3	75.6
12:00	204.2	77.7
13:00	237.3	67.6
14:00	246.6	54.8
15:00	249.5	41.2
16:00	249.8	27.7
17:00	248.5	13.3
18:00	246.0	0.5
19:00	242.0	-13.3

DATA 30/12/2023

HORA	AZIMUTE	ALTURA
06:00	111.9	9.0
07:00	110.2	22.4
08:00	109.9	36.1
09:00	111.4	49.6
10:00	117.9	63.7
11:00	138.9	75.2
12:00	200.8	78.3
13:00	236.9	68.5
14:00	246.7	55.7
15:00	249.8	42.1
16:00	250.1	28.6
17:00	248.9	14.2
18:00	246.5	1.2
19:00	242.6	-12.5

APÊNDICE B - QUESTIONÁRIO ENSINO SUPERIOR



UNIFACS

Avenida Tancredo Neves, nº 2131,
Caminho das Árvores, CEP 41620-021,
Salvador – BA.
www.unifacs.br



Curso:	
Disciplina:	
Professor (a):	
Aluno (a):	
Matrícula:	

Seguidor Solar, Astronomia e Monitoramento Solar:

- Seguidor Solar:** a. O que é um seguidor solar e quais suas aplicações?
- Sensores no Projeto:** a. Quais sensores foram usados para monitorar a posição e intensidade solar?
- Monitoramento Solar:** a. Como o monitoramento solar contribui para a eficiência energética de um sistema solar?
- Desafios no Monitoramento:** a. Quais foram os desafios ao implementar o sistema de monitoramento solar?

Algoritmos e Coordenadas da Posição Solar:

- Algoritmos NOAA, Reda-Andreas e Blanco-Muriel:** a. Como esses algoritmos foram usados para calcular a posição solar?
- Coordenadas da Posição Solar:** a. De que forma as coordenadas da posição solar foram aplicadas no desenvolvimento do seguidor solar?

Relato de Experiência:

- Dificuldades na Construção:** a. Quais foram as principais dificuldades durante a construção do seguidor solar e do kit didático?
- Principais Aprendizados:** a. Quais foram os aprendizados mais significativos ao concluir o projeto?
- Experiência com o Monitoramento:** a. Como foi lidar com o monitoramento solar durante o projeto?
- Importância do Monitoramento:** a. Por que o monitoramento solar é importante?
- Integração de Conhecimentos em Astronomia:** a. Como os conhecimentos em Astronomia foram aplicados no desenvolvimento prático do projeto?
- Impacto Pessoal:** a. Como este projeto impactou sua visão sobre sistemas de energia solar e Astronomia?

APÊNDICE C - QUESTIONÁRIO ENSINO PROFISSIONAL



GOVERNO DO ESTADO DA BAHIA - SUPERINTENDÊNCIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA –
SUPROT
 DIRETORIA DE INSTITUCIONALIZAÇÃO PROFISSIONAL – **DIRDEP** - NÚCLEO TERRITORIAL DE EDUCAÇÃO – **NTE 19**
 CEEP ÁUREO DE OLIVEIRA FILHO – CÓDIGO 11 05797 - FEIRA DE SANTANA – BA

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL ÁUREO DE OLIVEIRA FILHO

COMPONENTE CURRICULAR:

ALUNO(A): _____

SÉRIE: CURSO: MODALIDADE:

PROFESSOR:

AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA

1. O que é latitude?

- Distância ao leste ou oeste do Meridiano de Greenwich.
- Distância ao norte ou sul do Equador.
- Distância ao norte ou sul do Polo Norte.
- Distância ao leste ou oeste do Polo Sul.

2. O que são os solstícios?

- Dias e noites de duração igual.
- Dias mais longos no hemisfério sul.
- Dias mais curtos no hemisfério norte.
- Mudança nas estações do ano.

3. Qual é a principal influência da latitude na quantidade de luz solar recebida?

- Afeta a inclinação da Terra.
- Determina a posição dos solstícios.
- Varia a quantidade de horas de luz solar durante o dia.
- Define a localização dos equinócios.

4. O que são equinócios?

- Dias mais curtos do ano.
- Dias mais longos do ano.
- Dias com noites e dias de duração igual.
- Dias sem luz solar.

5. O que é radiação solar?

- Energia térmica do Sol.
- Luz emitida pelo Sol.
- Fluxo de elétrons do Sol.
- Sombras projetadas pelo Sol.

6. Como a inclinação da Terra afeta as estações do ano?

- Não tem efeito.
- Causa mudanças na temperatura diária.
- Influencia a quantidade de luz solar recebida em diferentes épocas do ano.
- Afeta a velocidade de rotação da Terra.



GOVERNO DO ESTADO DA BAHIA - SUPERINTENDÊNCIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA –
SUPROT
 DIRETORIA DE INSTITUCIONALIZAÇÃO PROFISSIONAL – **DIRDEP** - NÚCLEO TERRITORIAL DE EDUCAÇÃO – **NTE 19**
 CEEP ÁUREO DE OLIVEIRA FILHO – CÓDIGO 11 05797 - FEIRA DE SANTANA – BA

7. Por que a latitude pode influenciar na eficiência dos painéis solares?

- a) Afeta a cor do Sol.
- b) Varia a distância entre a Terra e o Sol.
- c) Determina a quantidade de horas de luz solar por dia.
- d) Influencia a inclinação da Terra.

8. O que é movimento aparente do Sol?

- a) A rotação do Sol em torno de seu próprio eixo.
- b) O movimento da Terra em torno do Sol.
- c) A trajetória observada do Sol no céu devido à rotação da Terra.
- d) O deslocamento do Sol devido à atividade solar.

9. O que significa o termo "azimute" em astronomia?

- a) A inclinação da Terra em relação ao Sol.
- b) A distância entre a Terra e o Sol.
- c) A posição angular de um objeto em relação ao horizonte, medida no sentido norte.
- d) A duração do dia em diferentes latitudes.

13. Qual é o propósito principal de um painel solar?

10. O que são pontos cardeais?

- a) Pontos de encontro entre os trópicos.
- b) Direções principais na rosa dos ventos.
- c) Regiões polares.
- d) Pontos de referência astronômicos.

11. Quantos pontos cardeais existem?

- a) 2
- b) 4
- c) 8
- d) 16

12. O que são Zênites?

- a) Pontos cardeais.
- b) Ponto mais alto no céu em relação ao observador.
- c) Pontos de referência astronômicos.
- d) Regiões polares.



GOVERNO DO ESTADO DA BAHIA - SUPERINTENDÊNCIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA –
SUPROT
DIRETORIA DE INSTITUCIONALIZAÇÃO PROFISSIONAL – **DIRDEP** - NÚCLEO TERRITORIAL DE EDUCAÇÃO – **NTE 19**
CEEP ÁUREO DE OLIVEIRA FILHO – CÓDIGO 11 05797 - FEIRA DE SANTANA – BA

14. . O que é um seguidor solar?

15. O que caracteriza um seguidor solar de 2 eixos?

16. O que você entende por solarimetria?

17. Qual é a importância da solarimetria na geração de energia solar?

18. Você conhece algum instrumento específico usado para medir a radiação solar? Se sim, qual?

19. Explique a diferença entre radiação solar direta e difusa.



GOVERNO DO ESTADO DA BAHIA - SUPERINTENDÊNCIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA –
SUPROT
DIRETORIA DE INSTITUCIONALIZAÇÃO PROFISSIONAL – **DIRDEP** - NÚCLEO TERRITORIAL DE EDUCAÇÃO – **NTE 19**
CEEP ÁUREO DE OLIVEIRA FILHO – CÓDIGO 11 05797 - FEIRA DE SANTANA – BA

20. O que é energia heliotérmica?

21. O que você sabe sobre concentradores solares? Explique seu princípio de funcionamento.

22. Descreva, de forma sucinta, o que você entende por Astronomia.

23. Você tem algum interesse específico dentro da astronomia, como planetas, estrelas, galáxias, ou fenômenos cósmicos? Se sim, explique. Se não, mencione se há algum motivo para não ter interesse.