



Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Engenharia de Energia

**Título: Protótipo de Banca Didática Para
Emular Sistemas de Rastreamento em Sistemas
Fotovoltaicos**

Autor: Anderson Andrade Barbosa
Orientador: Prof. Dr. Jorge Cormane

Brasília, DF
2/2016



Anderson Andrade Barbosa

**Título: Protótipo de Banca Didática Para Emular
Sistemas de Rastreamento em Sistemas Fotovoltaicos**

Monografia submetida ao curso de graduação em (Engenharia de Energia) da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em (Engenharia de Energia).

Universidade de Brasília - UnB

Faculdade UnB Gama - FGA

Orientador: Prof. Dr. Jorge Cormane

Brasília, DF

2/2016

Anderson Andrade Barbosa

Título: Protótipo de Banca Didática Para Emular Sistemas de Rastreamento em Sistemas Fotovoltaicos/ Anderson Andrade Barbosa. – Brasília, DF, 2/2016-100 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Cormane

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA , 2/2016.

1. fotovoltaico. 2. rastreamento solar. I. Prof. Dr. Jorge Cormane. II. Universidade de Brasília. III. Faculdade UnB Gama. IV. Título: Protótipo de Banca Didática Para Emular Sistemas de Rastreamento em Sistemas Fotovoltaicos

CDU 02:141:005.6

Anderson Andrade Barbosa

Título: Protótipo de Banca Didática Para Emular Sistemas de Rastreamento em Sistemas Fotovoltaicos

Monografia submetida ao curso de graduação em (Engenharia de Energia) da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em (Engenharia de Energia).

Trabalho aprovado. Brasília, DF, 01 de junho de 2016:

Prof. Dr. Jorge Cormane
Orientador

Prof. Dr. Flávio Silva
Convidado 1

Prof. Dr. Alex Reis
Convidado 2

Brasília, DF
2/2016

*Este trabalho é dedicado a memória de Fernando Ozanan Barbosa, brilhante engenheiro
e um inesquecível pai.*

Agradecimentos

Agradeço a minha família em razão do suporte que nunca me foi negado, aos não menos importantes, amigos que adquiri ao longo dessa jornada e professores, os quais levarei, de alguma forma para a vida inteira.

*“Se você perdeu dinheiro, perdeu pouco.
Se perdeu a honra, perdeu muito.
Se perdeu a coragem, perdeu tudo.
(Van Gogh, Vicent)*

Resumo

Sob a perspectiva do panorama energético o qual a sociedade global se encontra, bem como os inegáveis inconvenientes que a cada dia se tornam maiores e mais diversificados, a crescente demanda por alternativas e soluções no setor geração, apenas é uma das respostas naturais decorrentes do caos energético e socioambiental observados no horizonte do velho e viciado modelo vigente. A energia fotovoltaica é a forma de conversão direta da luz irradiada pelo sol em energia elétrica por efeito fotoelétrico, e ganha a cada dia maior relevância ao passo em que a tecnologia garante cada vez mais atratividade aos sistemas, seja por questões econômicas, praticas ou até mesmo possibilidades de autonomia energética. A proposta do trabalho explora a utilização de um sistema de dois eixos arranjados na configuração pan-tilt, micro controlados, com a finalidade de garantir sempre o posicionamento mais eficiente a módulos fotovoltaicos, pode ser operado por sensoriamento ou controle manual. O sistema em questão é capaz de posicionar um módulo fotovoltaico segundo diferentes posicionamentos desejados, tal como emular um arranjo de eixo único, permitindo a estudantes explorarem ganhos de eficiência associados ao sistema de rastreamento, esclarecendo assim, de forma prática e didática, as principais questões ligadas ao uso de tal tecnologia.

Palavras-chaves: energia fotovoltaica. rastreamento solar. eficiência energética. arduino

Abstract

From the perspective of the energy overview that the global society is and the undeniable inconvenience that every day becomes larger and more diversified, the growing demand for alternatives and solutions in the generation sector it's just one of the natural responses resulting of chaos energy and environmental observed on the horizon of an old and addicted current model. The photovoltaic energy is a form of direct conversion of light radiated by the sun into electricity by photoelectric effect, and gains increasing in importance while that technology ensures increasingly attractive to systems, whether for economic, practical or even possibilities of autonomy energy. The goal of this work is explore the use of a system of two axes arranged in the pan-tilt configuration, micro controlled, in order to always ensure the most efficient photovoltaic positioning modules that can be operated by sensing or manual control. The system in question is able to place a photovoltaic module according to different desired positions, such as emulating a single axis arrangement, allowing students to explore efficiencies associated with the tracking system, clarifying thus practical and didactic way, the key issues linked to the use of such technology.

Key-words: photovoltaic energy. solar tracker. arduino.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Sistema On Grid/Of Grid	29
Figura 2 – Módulo Fotovoltaico	30
Figura 3 – Inversores Fotovoltaicos	31
Figura 4 – Controlador de Carga	31
Figura 5 – Geometria sistema terra sol.	33
Figura 6 – Rastreadores: (a) Eixo duplo, (b, c) Configurações de eixos únicos.	34
Figura 7 – Posicionamento Fixo	34
Figura 8 – prototipos	39
Figura 9 – Protótipo em fase de desenvolvimento	43
Figura 10 – Plataformas Arduino	44
Figura 11 – Sensor Luminoso LDR (<i>Light Dependent Resistor</i>)	45
Figura 12 – Circuito de Leitura do LDR	45
Figura 13 – Simulação Quedas de Tensão, ANEXO A	46
Figura 14 – Arranjo dos sensores LDR	47
Figura 15 – Resistores de leitura de queda de tensão dos LDRs	47
Figura 16 – Micro Servo Motor Tower Pro 90g	48
Figura 17 – Adaptador Pan/Tilt Para Micro Servos 90g	48
Figura 18 – Controle de Operação Manual	49
Figura 19 – Pinos de Comando do Controle	50
Figura 20 – Protótipo Final	57
Figura 21 – Circuito do Sistema	58
Figura 22 – Adaptação de Eixos	59
Figura 23 – Plataforma Arduino Nano	60
Figura 24 – Gráfico Potência	68
Figura 25 – Esquemático Geral de Ligações Protótipo I	87
Figura 26 – Esquemático Geral de Ligações Protótipo II	95

Lista de tabelas

Tabela 1 – Rotulação dos sensores LDR	50
Tabela 2 – Funções e variáveis do controle remoto	53
Tabela 3 – Materiais Utilizados	54
Tabela 4 – Materiais Utilizados - Protótipo II	63
Tabela 5 – Materiais Experimento 1	70
Tabela 6 – Materiais Experimento 2	72
Tabela 7 – Materiais Experimento 1	74

Lista de abreviaturas e siglas

FV	Fotovoltaico
GD	Geração distribuída
AC	Corrente alternada
CC	Corrente contínua
MPPT	Maximum power point tracker
DF	Distrito Federal
Vcc	Volts em corrente contínua
GND	"Ground" referência do sistema
PWM	Pulse width modulation
VOC	Tensão de circuito aberto (Voltage of open circuit)
ISC	Corrente de curto-circuito (I of short circuit)

Lista de símbolos

Ω	Resistência em Ohm
Ψ_s	Ângulo Azimutal
γ	Ângulo de Altitude

Sumário

I	INTRODUÇÃO	27
1	INTRODUÇÃO	29
	Introdução	29
1.1	Sistema Fotovoltaico	29
1.1.1	Módulos Fotovoltaicos	30
1.1.2	Inversores Fotovoltaicos	30
1.1.3	Controladores de Carga	31
1.2	Tipos de Sistemas	32
1.2.1	Sistemas on grid	32
1.2.2	Sistemas off grid	32
1.3	Dinâmica Solar	32
1.4	Sistemas de Rastreamento	33
1.4.1	Posicionamento fixo	33
1.4.2	Rastreamento de um eixo	34
1.4.3	Rastreamento de eixo duplo	35
1.5	Objetivos	35
II	PROTOTIPAGEM DO SISTEMA	37
2	PROTOTIPAGEM DO SISTEMA	39
	Prototipagem do Sistema	39
2.1	Prototipagem	39
2.2	Fases I e II de prototipagem	39
III	PROTÓTIPO I - MATERIAIS E MÉTODOS	41
3	PROTÓTIPO I - MATERIAIS E MÉTODOS	43
	Protótipo I - Materiais e Métodos	43
3.1	Protótipo I - Rastreador de Dois Eixos	43
3.1.1	Operação Autônoma	44
3.1.1.1	Micro Controlador	44
3.1.1.2	Sensores LDR	45
3.1.1.3	Arranjo dos Sensores	47

3.1.1.4	Servos Motores	48
3.1.1.5	Adaptadores Pan/Tilt para Servos Motores	48
3.1.2	Operação Manual	49
3.2	Paradigmas da Operação do Sistema	50
3.2.1	Operação autônoma	50
3.2.2	Operação Manual	52
3.2.3	Controle Remoto do Protótipo	52
3.2.4	Materiais	54
IV	PROTÓTIPO II - MATERIAIS E MÉTODOS	55
4	PROTÓTIPO II - MATERIAIS E MÉTODOS	57
	Protótipo II - Materiais e Métodos	57
4.1	Protótipo II - Rastreador de Dois Eixos	57
4.1.1	Envoltória e Construção	57
4.1.2	Micro Controlador	59
4.1.3	Sensoreamento	60
4.1.4	Células Fotovoltaicas Embarcadas	61
4.2	Controle Manual e Autônomo	61
4.2.1	Modificações Controle Autônomo	62
4.3	Materiais Protótipo II	63
V	RESULTADOS	65
5	RESULTADOS	67
	Resultados	67
5.1	Operacionalidade	67
5.1.1	Utilização do protótipo	67
5.2	Aplicações Didáticas	67
5.3	Roteiros de Trabalho	69
5.3.1	Teste de Ganho Pelo Rastreador em relação a Módulos Fixos	70
5.3.2	Ganho de Produção em Função do Ângulo Zenital	72
5.3.3	Teste de Comparação Entre Rastreadores de Dois e Um Eixo	74
VI	CONCLUSÃO	77
6	CONCLUSÃO	79

Conclusão	79
6.1 Conclusão	79
6.2 Trabalhos Futuros	79
REFERÊNCIAS	81
ANEXOS	83
ANEXO A – CÓDIGO EM MATLAB DE OTIMIZAÇÃO DO LDR	85
ANEXO B – ESQUEMÁTICO DE LIGAÇÕES PROTÓTIPO I	87
ANEXO C – CÓDIGO FONTE	89
D – ESQUEMÁTICO DE LIGAÇÕES PROTÓTIPO II	95
E – CÓDIGO FONTE PROTÓTIPO II	97

Parte I

introdução

1 Introdução

1.1 Sistema Fotovoltaico

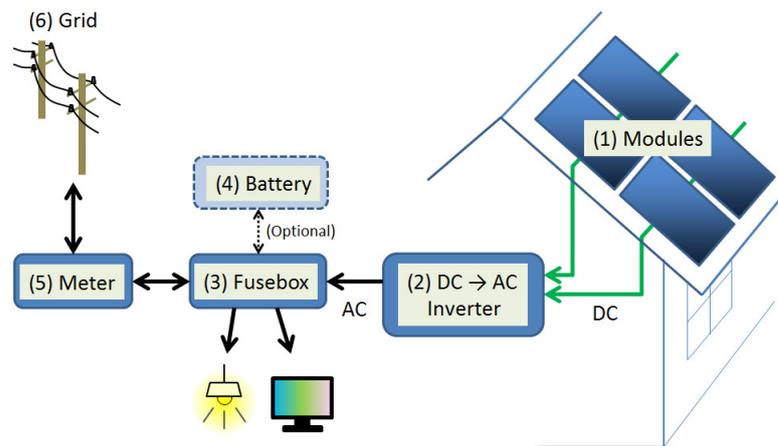


Figura 1 – Sistema On Grid/Of Grid

Um sistema fotovoltaico (Figura 1) é um conjunto de dispositivos com a finalidade de gerar energia elétrica. O módulo FV é o elemento básico de qualquer configuração FV, pois é através dele onde a luz é convertida em energia útil, configurando dessa forma o gerador elétrico do sistema (CHIVELET, 2010). No entanto, em geral, os módulos FV são necessários mas não suficientes quando buscamos a correta operação de um sistema FV, uma vez que os mesmos operam em corrente contínua, são dependentes da incidência solar e não são capazes de entregar uma tensão de valor constante. Com a finalidade de obtenção de uma resposta sólida e útil de um projeto FV, outros elementos são inseridos na linha de geração de energia, inversores, controladores de carga, baterias, rastreadores solares, são exemplos que serão explorados no corpo da presente introdução.

Diferentes formas de aproveitamento da energia fotovoltaica coexistem em uma ampla gama de projetos com diferentes níveis de complexidade, a depender fortemente da sua aplicação. Um sistema de comunicação alimentado pela saída em corrente contínua de um pequeno módulo FV com um simples regulador de tensão, ou uma usina com robustos inversores de alta potência, grandes sistemas de rastreadores, dispostos sobre uma grande área, exemplificam casos extremos. Para o entendimento completo do sistema FV analisaremos suas principais partes:



Figura 2 – Módulo Fotovoltaico
(PANASONIC, 2016)

1.1.1 Módulos Fotovoltaicos

Um modulo fotovoltaico (Figura 2), também denominado por placa ou painel fotovoltaico, (posicionado sobre a casa, (Figura 1) é o elemento de produção de um sistema FV, em geral se constitui por um arranjo série-paralelo de células FV, as quais são as menores unidades geradoras presentes nos módulos, que por sua vez são construídas a partir da sobreposição de placas semicondutoras com dopagens de diferentes elementos, (junção p-n). As camadas semicondutoras da célula podem ser fabricadas a partir de uma série de materiais diferentes, sendo mais comum o silício. Cerca de 95% das células fotovoltaicas fabricadas no mundo são de silício, uma vez que é abundante e barato (VILLALVA, 2012). As dopagens são estrategicamente divididas entre as camadas p-n, onde a camada “n” recebe uma dopagem de elementos com átomos doadores de elétrons, por exemplo o fosforo, e a camada “p”, com elementos receptores de elétrons, por exemplo o boro, sendo então dessa forma gerado o campo elétrico entre os condutores posicionados ao redor das camadas e conseqüentemente entre os terminais do módulo. Comercialmente são constituídos por: uma estrutura metálica normalmente em alumínio que garante resistência mecânica e um meio de fixação da placa, as camadas p-n envoltas pelos condutores responsáveis pela captura da corrente gerada, uma camada de fundo em polímero, e uma superfície antirreflexiva que além de proteção, provê um ganho de eficiência por evitar perdas reflexivas.

1.1.2 Inversores Fotovoltaicos

Elemento de conversão de corrente contínua para a corrente alternada, as grandes marcas mantêm em suas linhas de fabricação modelos em variadas potências e finalidades (Figura 3). Se faz necessário para as mais diversas aplicações possíveis para um sistema



Figura 3 – Inversores Fotovoltaicos
(ABB, 2016)

elétrico, sabendo que a produção das placas FV se dão em CC e a grande parte dos equipamentos operam conectados juntos a rede CA. Os inversores em seu desenvolvimento tecnológico ao longo do tempo acabaram por agregarem para si outras funções e características, como sistemas de rastreamento de máxima potência (MPPT), sistema de leitura de rede externa, funções de monitoramento on-line, dentre outros. Os inversores podem ser divididos em duas classes principais, on grid e off grid, onde o ponto de diferenciação está no fato de estarem ou não ligados a rede elétrica para comporem um sistema de geração distribuída ou um sistema isolado. O inversor on grid ou grid tie, é capaz de injetar energia em uma rede em operação por meio da leitura e reprodução dos parâmetros de frequência, fase e tensão, já o inversor off grid é aplicado apenas em sistemas isolados da rede, e muitas vezes é concebido a partir de uma topologia eletrônica mais simplória que os inversores on grid e são de custos inferiores.

1.1.3 Controladores de Carga



Figura 4 – Controlador de Carga
(EPSOLAR, 2016)

A função mais fundamental dos controladores de carga, (Figura 4), está na proteção, carregamento e aproveitamento do sistema de baterias além da prevenção de correntes reversas no sistema (LOPEZ, 2012).

São utilizados exclusivamente em sistemas off grid ou em uma dada configuração contendo banco de baterias. Contam, muitas vezes com funções extras como realizar regulação, distribuição e roteamento de corrente.

1.2 Tipos de Sistemas

1.2.1 Sistemas on grid

Ou como também é conhecidos no meio técnico, sistema grid tie, é a formulação mais recorrente nos centros urbanos, pois tem sido uma das alternativas econômicas mais viáveis para a redução de gastos dos usuários com as concessionárias. O sistema on grid dispensa a utilização de banco de baterias e controladores de carga. Com a utilização do sistema grid tie e pela perspectiva da G.D, passa a existir o conceito da troca de energia entre o usuário e a concessionaria, de forma que quando a carga do sistema instalado é inferior a sua produção, o usuário literalmente vende sua produção, e quando a carga é superior, o usuário consome da rede apenas o complemento necessário para atender a sua necessidade. O funcionamento on grid no Brasil, atualmente é dependente da aprovação pelas concessionarias locais de energia, a qual passa a contabilizar os gastos por meio de um contador bilateral ou dois contadores, um para compra e outro para a venda.

1.2.2 Sistemas off grid

Os sistemas off grid, ou por definição, sistemas isolados, são sistemas fotovoltaicos que permitem a operação autônoma, total ou parcial de um determinado consumo. Naturalmente, deseja-se ter disponibilidade de energia durante todo o período do dia, bem como em dias de baixa produção como em dias de chuva ou dias nublados, dessa forma se fazendo necessário a utilização de baterias e conseqüentemente controladores de carga, acarretando um aumento de gastos e manutenção, pois as baterias comerciais são de baixa vida útil e devem ser repostas de poucos em poucos anos.

1.3 Dinâmica Solar

Para um observador situado na superfície terrestre, a complexa dinâmica dos astros em movimentação espacial se reduz a um descomplicado sistema de dois eixos com razoável grau de aproximação, o que significa uma considerável simplificação para os fins de análise e projeto. O movimento de rotação do planta é interpretado como o deslocamento leste-oeste do sol ao longo do dia, é modelado pela variação do angulo esférico azimute (Ψ_s), (Figura 5). Analogamente, o movimento de translação como sendo a variação ao longo das coordenadas norte-sul se da pela variação do ângulo de altitude (γ_s), (Figura 5). Conforme nos é intuitivo deprender, a variação ao longo de 24 horas significa uma variação de 360°

em (Ψ_s), de forma que para um tempo médio de 12 horas de luz solar temos uma variação de 180° , que em consequência do efeito do horizonte, é usual considerar um intervalo de apenas 150° . Semelhantemente, o ângulo de altura (γ_s) mostra a sua variação máxima ao longo de um ano, que é em média 46° entre seus valores extremos no verão e no inverno. (TREVELIN, 2014)

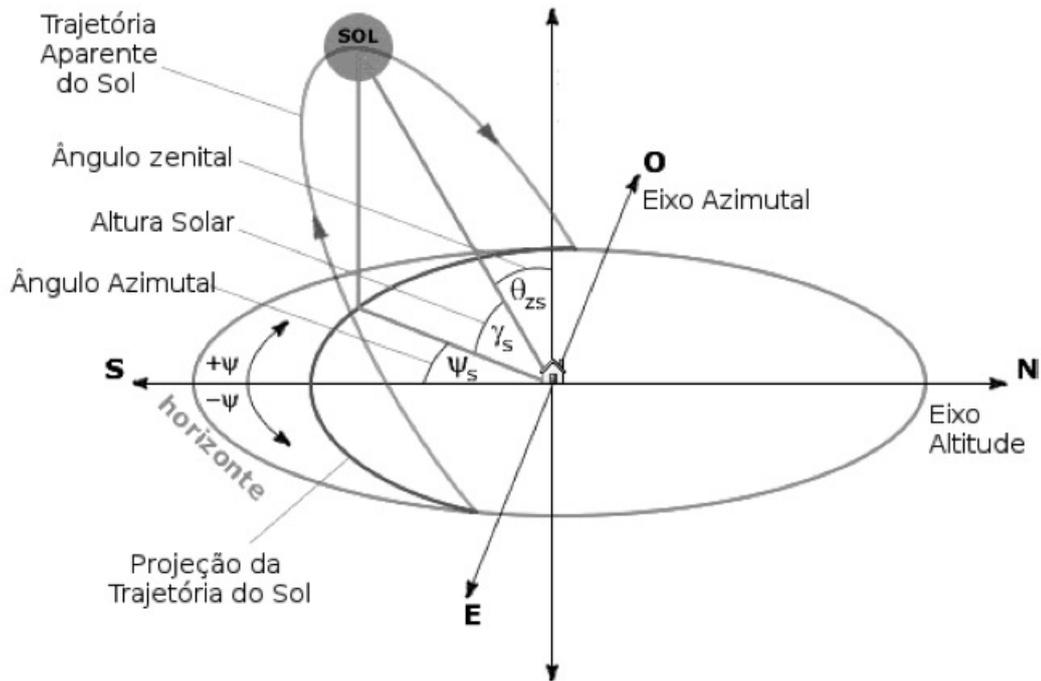


Figura 5 – Geometria sistema terra sol.

(PEREIRA, 2012)

1.4 Sistemas de Rastreamento

Os sistemas de rastreamento permitem aos módulos neles instalados que acompanhem de forma perpendicular, logo, com melhor eficiência de aproveitamento energético a trajetória do sol ao longo do dia, gerando ganhos de aproveitamento, muitas vezes próximos aos 40% em relação a contraparte fixa. (APPLEYARD, 2009).

1.4.1 Posicionamento fixo

O sistema de posicionamento fixo (análogo ao ilustrado na Figura 7, é a configuração mais popular atualmente, as razões incluem questões práticas, econômicas, além da falta de opções comerciais de rastreadores voltadas ao grande público. Para fins da obtenção do maior rendimento, o sistema deve ser fixado com inclinação coincidente com a angulação latitudinal do local, com as placas voltadas para o hemisfério oposto, no

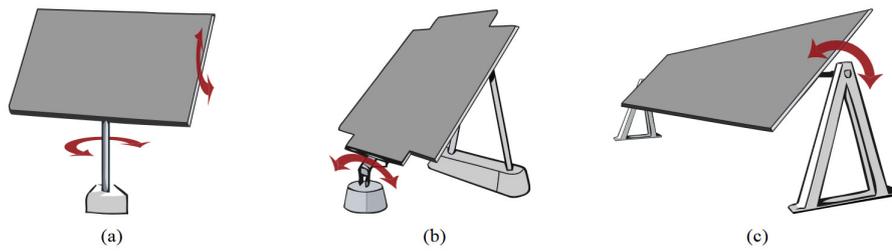


Figura 6 – Rastreadores: (a) Eixo duplo, (b, c) Configurações de eixos únicos.

(DUERR; MEURET; THIENPONT, 2013)



Figura 7 – Posicionamento Fixo

(USP, 2016)

caso do DF, inclinação aproximada de 16° voltada ao norte, dessa forma sendo possível a obtenção da melhor incidência luminosa média ao longo do ano sobre os módulos FV. No entanto devem ser consideradas situações adversas como problemas de sombreamento ou irregularidades no relevo da região disponível para as instalações. Os sistemas fixos contam com a vantagem de configurar uma formatação puramente elétrica, não sendo necessário dessa forma, as manutenções inerentes a sistemas eletromecânicos.

1.4.2 Rastreamento de um eixo

Os sistemas de eixos únicos (Figura 6, (b, c)) podem ser entendidos como uma das formas mais poderosas de incremento de eficiência em uma instalação FV, uma vez

que utiliza equipamentos e mecanismos simples, regidos por uma lógica igualmente simples (APPLEYARD, 2009). Goza da vantagem de baixo consumo energético, pois possui apenas um mecanismo de movimentação. No entanto, em razão da capacidade limitada de movimento, analogamente ao sistema fixo, seu posicionamento e angulação devem ser cuidadosamente planejados.

1.4.3 Rastreamento de eixo duplo

Contemplando tanto as variações azimutais como as de ângulo de altura solar, respectivamente Ψ_s e γ_s , o sistema de eixo duplo, (Figura 6, (a)), opera a partir da cooperação entre dois sistemas eletromecânicos regidos por sensoriamento ou muitas vezes por comandos baseado em banco de dados de posições ao longo do ano. Conta com a vantagem de maximizar a coleta solar não apenas ao longo do dia, mas também ao longo do ano. Em suas configurações mais complexas podem ser empregados como soluções inclusive para sistemas de orientação variável, por exemplo embarcações, ou projetos autônomos itinerantes.

1.5 Objetivos

Uma vez introduzido os tópicos de maior relevância ao desenvolvimento do presente trabalho, assim como os conceitos de partida para o entendimento da tecnologia de geração e rastreamento solar, será daqui em diante estabelecido o estudo a respeito da proposta da concepção de um protótipo de rastreador em escala reduzida para aplicações didáticas. O protótipo será construído na configuração de dois eixos, de forma que haverá a possibilidade de utilização no modo de rastreadores de eixo único, para cada um dos eixos, e sistemas fixos para fins de simulação, comparação e elucidação da tecnologia.

A concepção da unidade deverá ser apropriada para usuários com variados níveis de conhecimento, de forma que a interface de utilização seja intuitiva e eficaz, pois os desafios da utilização devem estar presentes apenas nas questões didáticas que dizem a respeito ao protótipo.

Parte II

Prototipagem do Sistema

2 Prototipagem do Sistema

2.1 Prototipagem

Em decorrência da estrutura curricular dos cursos de engenharia oferecidos na FGA-UnB, o trabalho de graduação é dividido em duas etapas, Trabalho de Conclusão de Curso I e Trabalho de Conclusão de Curso II, de forma que na maior parte dos casos, são esses trabalhados de forma continuada. O presente trabalho não destoou da estrutura corrente, tendo sido elaborado em sua primeira etapa de forma conceitual e na sua segunda em um formato definitivo, adequada aos usuários finais, os estudantes de engenharia.

2.2 Fases I e II de prototipagem

O protótipo em sua versão (II), uma evolução natural da sua primeira formatação (protótipo I), foi reconstruído com pequenas alterações em seu circuito e componentes, sob uma envoltória robusta e com menor probabilidade de falhas. Nos tópicos e capítulos seguintes serão detalhados as duas versões bem como o caminho evolutivo do processo.

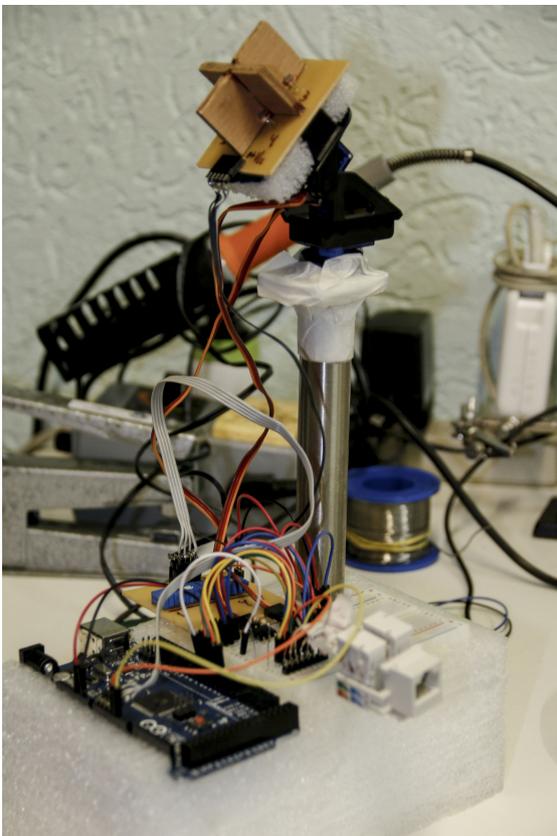


Figura 8 – Protótipo I e Protótipo II

Protótipo I Resumido

O desenvolvimento conceitual do projeto necessitou de uma estrutura envoltória aberta, com a plataforma de programação acessível a mudanças constantes na estrutura do código, permitindo também terminais com fácil conexão além de inspeções visuais e instrumentais sem quaisquer dificuldades.

Dessa forma optou-se por trabalhar com um Arduino de conectores fêmeas, (Figura 8) sendo as conexões predominantemente realizadas por jumpers e barras de pinos com o auxílio de uma protoboard pequena, tudo isso embarcado em uma estrutura de espuma micro serrilhada.

No entanto, a estrutura era de extrema fragilidade, e uma vez que descuidos mínimos poderiam criar grandes transtornos e por vezes até danificar de forma irreversível o protótipo, o mesmo ainda não era adequado ao uso por parte dos estudantes, o que induziu a criação de um segundo formato do protótipo.

Protótipo II Resumido

A segunda etapa do desenvolvimento (Figura 8) necessitava de uma estrutura resistente e com acesso restritivo aos terminais do sistema, por motivos de segurança dos usuários e do próprio protótipo. Dessa forma, foram embarcados os componentes em uma envoltória rígida, seguindo configuração eletrônica análoga a versão final do protótipo anterior, com pequenas modificações necessárias como botões liga/desliga e leds de status para os eixos, terminais banana fêmea para medição dos parâmetros elétricos das células fotovoltaicas, e substituição do Arduino Mega pelo Nano por questões de espaço.

Diferentemente da versão anterior, as conexões foram todas realizadas por meio de solda de liga de estanho em módulos de fenolite cobreado, garantindo robustez e evitando assim desconexões acidentais.

Dessa forma, a experiência do usuário junto ao protótipo será extremamente agradável, uma vez que se tem segurança e confiabilidade na operação do mesmo, que ocorre de forma simples e intuitiva.

Parte III

Protótipo I - Materiais e Métodos

3 Protótipo I - Materiais e Métodos

3.1 Protótipo I - Rastreador de Dois Eixos

A unidade de rastreamento de dois eixos, (Figura 9) segundo a proposta trabalho, conta com um dupla função de operação, o rastreamento autônomo e ação por controle manual. Em geral, onde se deseja desempenhar testes de boa precisão por longos períodos de tempo, a função autônoma é a mais indicada, onde em conjunto com um *datalogger* associado para medições de tensão e/ou corrente, passa a ser uma poderosa ferramenta de estudo. Por outro lado, quando controlado de forma manual, podemos observar variações nos parâmetros analisados de forma instantânea, além de sermos capazes de praticar posicionamentos fora das possibilidades de um rastreador guiado pelo movimento do sol, como por exemplo a resposta do módulo FV em oposição total ao direcionamento solar, a fim de se ter um parâmetro para análise da influência da reflexividade local.

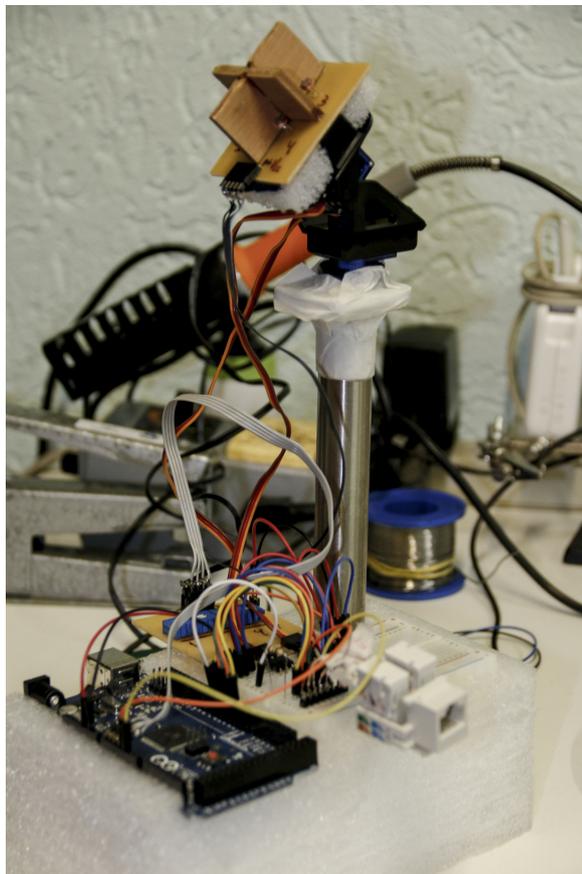


Figura 9 – Protótipo em fase de desenvolvimento

3.1.1 Operação Autônoma

A operação autônoma está baseada na resposta de um conjunto de sensores luminosos que regem o posicionamento do sistema de acordo com a orientação da melhor incidência solar, ou uma dada fonte luminosa.

O protótipo é capaz de responder instantaneamente, no entanto fica sujeito a um gasto de energia desnecessário, de forma que, com perdas muito pequenas, podemos configurar a atuação do sistema em passos de intervalos definidos no tempo, o que alivia os servos de uma ação ininterrupta, previne o sistema de erros associados a sombreamentos passageiros, além, obviamente do ganho com economia de energia.

No corpo subsequente do presente trabalho, investigaremos em separado por seções, as partes as quais compuseram os principais pontos para a operação do sistema.

3.1.1.1 Micro Controlador

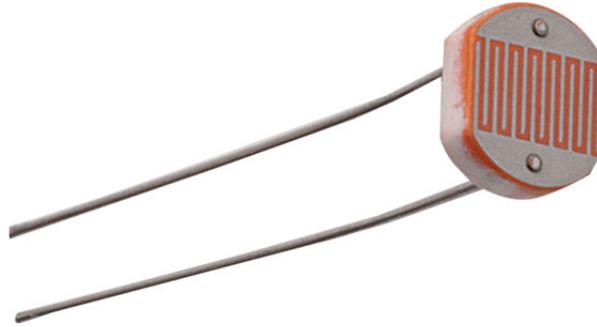


Figura 10 – Plataformas Arduino
(ARDUINO, 2016)

Toda a prototipagem se deu baseada na plataforma Arduino (Figura 10). Um sistema concebido segundo a família de processadores Atmel, montado sobre uma placa com fácil acesso aos terminais digitais do processador, bem como aos terminais de leitura analógica. O Arduino é conveniente ao sistema pois provê uma interface descomplicada entre o computador e a EEPROM storage da placa por via USB, dessa forma permitindo um fácil trânsito do código entre o terminal e a plataforma, sendo uma das principais vantagens a possibilidade de alterações e monitoramento em tempo real da resposta de possíveis modificações na estrutura do código.

O Arduino Mega, foi um dos modelos que se mostrou adequado ao projeto, com seus 56 terminais digitais sendo alguns desses apropriados para comando PWM em servos e mais 14 terminais de entradas analógicas onde o projeto se encaixa com folga, ver anexo B, conforme indicado na figura, pois são utilizados 4 terminais para a leitura dos 4 sensores LDR e 2 para a leitura da posição dos servos motores no modo de operação manual.

3.1.1.2 Sensores LDR

Figura 11 – Sensor Luminoso LDR (*Light Dependent Resistor*)

O LDR, (Figura 10), é um transdutor de luminosidade. Transdutores, ou sensores, são dispositivos capazes de converterem grandezas do universo físico para grandezas do universo elétrico (DORF, 2014), a chave para o entendimento da operação do LDR está no próprio nome, *light dependent resistor*, um resistor que depende da luz, logo, um resistor que tem sua resistência alterada por diferentes incidências luminosas.

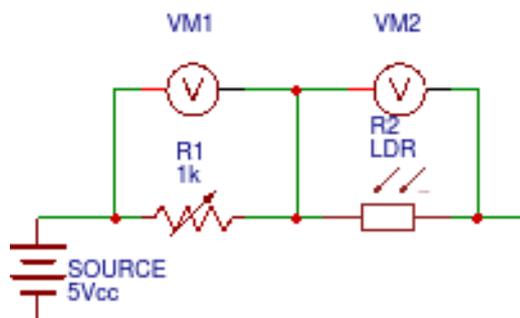


Figura 12 – Circuito de Leitura do LDR

A forma mais convencional de medição da resposta de um LDR, e também a utilizada aqui, é realizada pela leitura da tensão em um circuito de divisor de tensões no LDR ou no segundo resistor (Figura 11), que usualmente é um resistor variável permitindo assim que a leitura dos valores sejam otimizadas.

Para o caso do protótipo, verificou-se por meio de testes com os sensores utilizados, variações médias entre 95Ω e 260Ω ao longo, respectivamente, de períodos de alta e baixa luminosidade (sombreamento no sensor), dessa forma por meio de simulação em Matlab, obtivemos o valor otimizado do segundo resistor em série com o LDR com a finalidade de obtenção do melhor range de leitura de tensões ao longo das situações de baixa e alta luminosidade.

A simulação se deu de maneira simples, conforme pode ser verificado pelo script no ANEXO A, foi baseada na criação das curvas extremas de alta e baixa luminosidade,

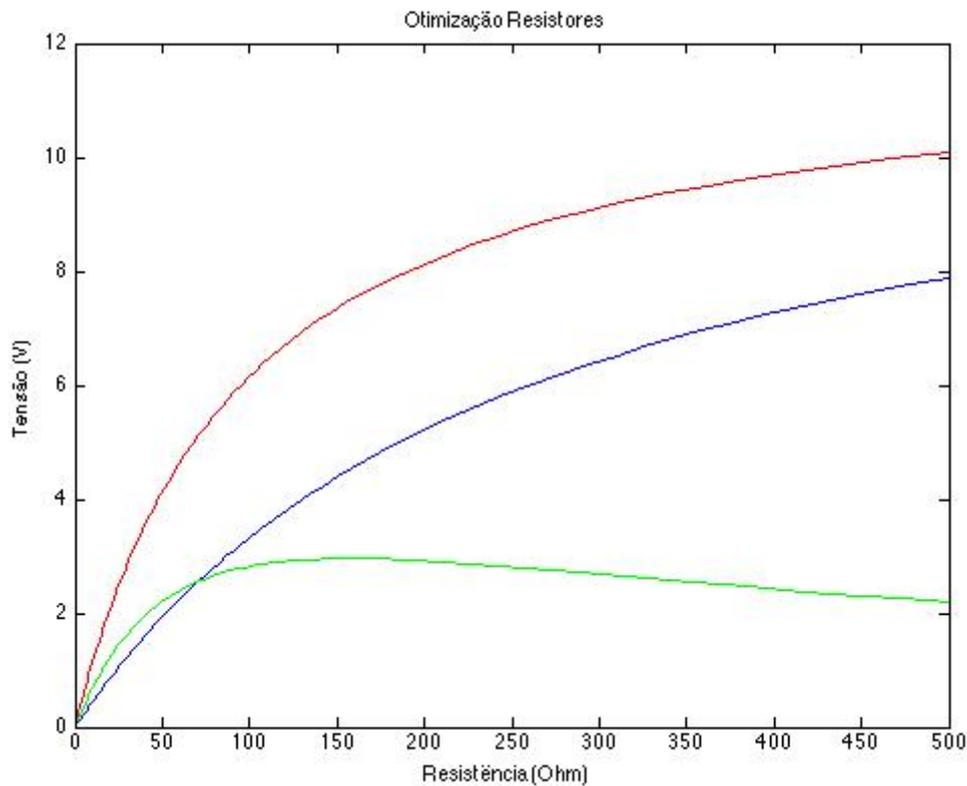


Figura 13 – Simulação Quedas de Tensão, ANEXO A

respectivamente a curva vermelha e a azul (Figura 12), onde se fixou os valores previamente obtidos de 95Ω e 260Ω para o LDR, e foi variado pela função nativa "fplot" do MATLAB o valor de resistência do segundo resistor dentro de um divisor de tensões dado por:

Para o estado de alta luminosidade, curva vermelha:

$$V(x) = 12 * x / (x + 95) \quad (3.1)$$

Para o estado de baixa luminosidade, curva azul:

$$V(x) = 12 * x / (x + 260) \quad (3.2)$$

Em seguida, com o objetivo de verificar o ponto de maior separação entre ambas as curvas, foi subtraída a curva de baixa luminosidade da curva de alta luminosidade.

$$12 * x / (x + 95) - 12 * x / (x + 260) \quad (3.3)$$

Onde ao final, de forma empírica foi possível a verificação do valor de resistência que melhor atenderia ao sistema, 153Ω .

3.1.1.3 Arranjo dos Sensores

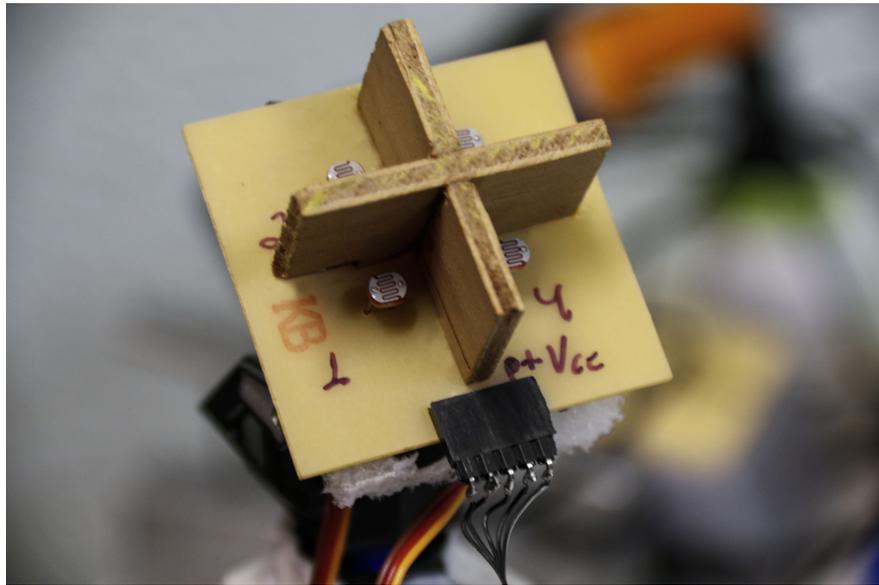


Figura 14 – Arranjo dos sensores LDR

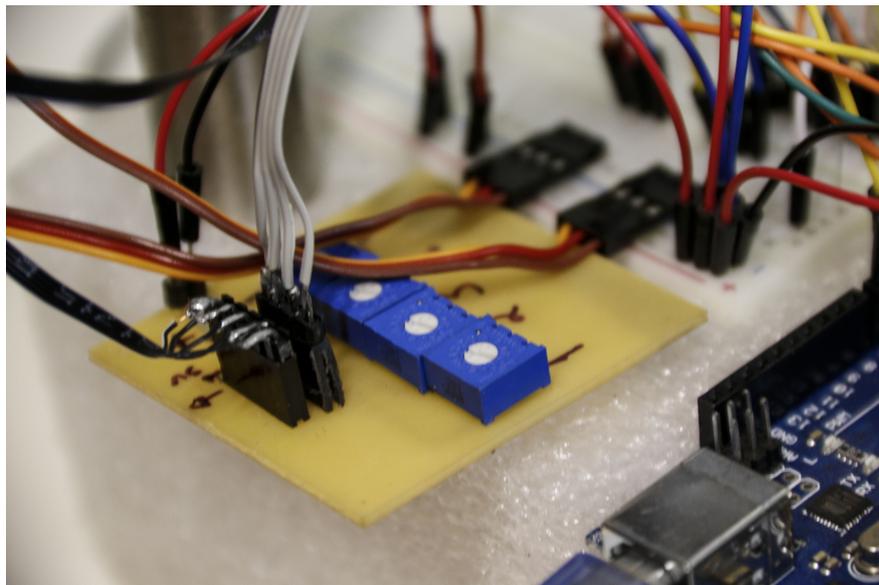


Figura 15 – Resistores de leitura de queda de tensão dos LDRs

Os sensores são arranjados em um esquema de montagem (Figura 13, Figura 14) de quatro LDRs, onde para qualquer angulação diferente da perpendicular ao sol será incidido sombreamento sobre os mesmos devido ao aparato físico posicionado próximo a eles, dessa forma, a resposta diferenciada entre a leitura dos LDRs, resulta na indicação da tendência do avanço a ser realizado pelos servos motores. O arranjo é acoplado sobre a superfície plana do módulo fotovoltaico, de forma que uma vez alcançada a posição desejada, ou seja, a posição onde os sensores estejam livres de sombreamento, o sistema entre em repouso, até que a leitura dos mesmos extrapolem a tolerância especificada

no código fonte e uma nova movimentação seja realizada, a velocidade desse processo é dependente da velocidade do deslocamento da fonte luminosa.

3.1.1.4 Servos Motores



Figura 16 – Micro Servo Motor Tower Pro 90g

Em razão da utilização do protótipo se dar em ambiente controlado, julgou-se suficiente a utilização de servos motores eletrônicos de baixo custo. A opção para o projeto foi um par de Tower Pro 90g, ilustrado da Figura 15. Eles atuam com torque suficientes para operar as pequenas células acopladas no sistema, contam com boa precisão de resposta mecânica e são facilmente encontrados para possíveis reposições.

3.1.1.5 Adaptadores Pan/Tilt para Servos Motores



Figura 17 – Adaptador Pan/Tilt Para Micro Servos 90g

O adaptador pan/tilt (Figura 16) representa uma função vital para a correta operação do protótipo, uma vez que através dele é realizado o engastamento do módulo FV com o sistema mecânico dos servos, a fotografia ilustra o adaptador com os respectivos servos já montados.

3.1.2 Operação Manual

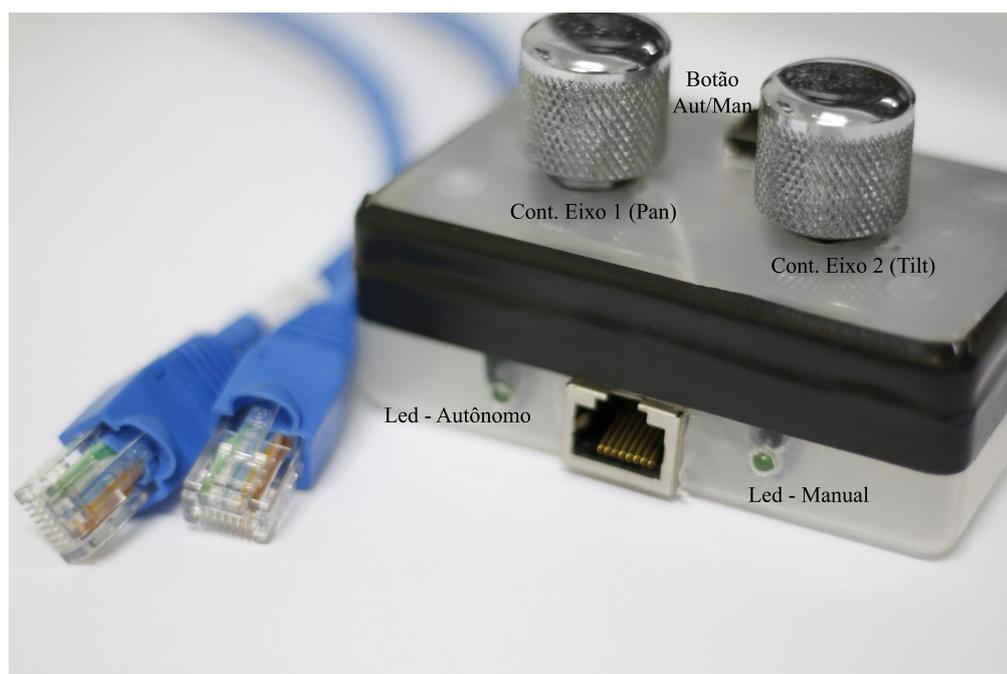


Figura 18 – Controle de Operação Manual

Quando selecionada a função de operação manual no controle remoto do protótipo (botão Aut/Man, Figura 17), o programa deve ser capaz de alternar as entradas das variáveis que regem o posicionamento dos servos motores, antes indicada pelas saídas dos sensores (funcionamento autônomo), indo para a resposta da leitura analógica dos dois potenciômetros presentes no controle do sistema, um para cada respectivo servo motor, possibilitando que o rastreador possa ser controlado em seus dois eixos de forma livre e simultânea.

A opção de utilizar o cabo UTP com conectores CAT 5a, ou como é popularmente conhecido, cabo de rede com conectores RJ45, foi eleita por algumas facilidades empregadas, a primeira e principal delas está no fato do controle não necessitar estar a uma distância fixa do protótipo, uma vez que os cabos podem ser confeccionados ou obtidos de varias formas, assim agregando ao projeto a possibilidade de ser operado a distâncias maiores, a exemplo, o telhado do laboratório ou um local de sombra. A segunda razão está na satisfatoriedade do número de vias do cabo em questão, que é plenamente capaz de preencher as necessidades do projeto, e a terceira está na possibilidade de fácil substituição em ocorrência de danos.

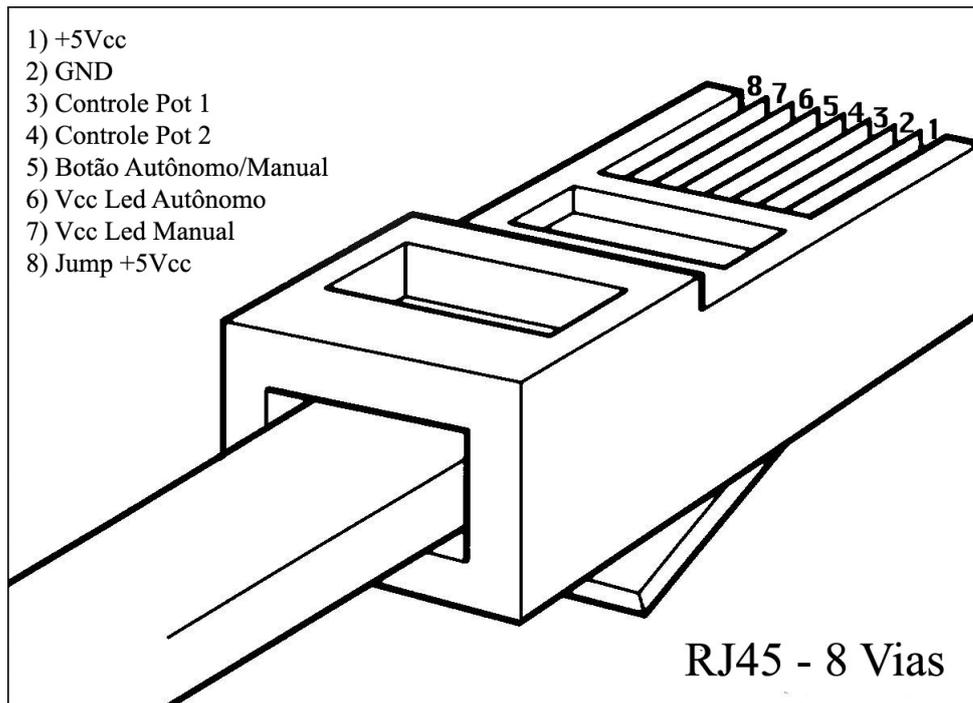


Figura 19 – Pinos de Comando do Controle

Observando a Figura 18, temos as conexões estabelecidas no controle o qual a sua alimentação ocorre pelas vias 1 (+5Vcc) e 2 (GND), as vias 3 e 4 são dedicadas a entrega das quedas de tensão dos potenciômetros 1 e 2 (Figura 17), a via 5 fornece a tensão de 5V para a leitura do pressionamento do botão aut/man (Figura 17), as vias 6 e 7 representam as vias de acionamento dos leds que indicam os modos de operação autônomo e manual respectivamente. A via número 8 é jumpeada para o pino 1 (+5Vcc) no interior do controle, de forma que quando conectado, o processador seja capaz de identificar a sua presença.

3.2 Paradigmas da Operação do Sistema

3.2.1 Operação autônoma

Inicialmente, os sensores foram rotulados segundo suas posições:

Posição	Número	Variável de Entrada	Input Analógico
Down Left	1	ldrld	0
Top Left	2	ldrft	1
Top Right	3	ldrrt	2
Down Right	4	ldrrd	3

Tabela 1 – Rotulação dos sensores LDR

O princípio de funcionamento que rege o código fonte do sistema autônomo está na comparação horizontal e vertical do sistema de sensores, de forma que a diferença entre os sensores superiores e inferiores, tal qual os sensores da esquerda e da direita indicam o posicionamento da fonte luminosa. Para viabilizar tal comparação, foram estabelecidos valores absoluto dos setores inferior, superior, da esquerda e da direita por meio da média aritmética dos elementos dos mesmos:

```
int avt = (lt + rt) / 2; // average value top
int avd = (ld + rd) / 2; // average value down
int avl = (lt + ld) / 2; // average value left
int avr = (rt + rd) / 2; // average value right
```

em seguida, são assimiladas às variáveis "dvert" e "dhoriz", respectivamente a diferença entre os valores absolutos superiores/inferiores e esquerda/direita:

```
int dvert = avt - avd; // Diferença entre a parte superior e inferior
int dhoriz = avl - avr; // Diferença entre a esquerda e a direita
```

de forma que se torna possível indicar aos servos o sentido de progressão através de uma estrutura condicional, onde a variável "tol" é previamente inicializada, denotando uma tolerância para a diferenciação entre os quadrantes do sensor. Para servo vertical (Tilt):

```
if (-1*tol > dvert || dvert > tol)
{
if (avt > avd) / servov = -servov; if (servov > 180){ servov = 180;}}
else if (avt < avd){ servov = ++servov; if (servov < 0){ servov = 0;}}
vertical.write(servov);
}
```

Para o servo horizontal:

```
if (-1*tol > dhoriz || dhoriz > tol)
{
```

```
if (avl > avr){ servoh = -servoh; if (servoh < 0){ servoh = 0;}}
else if (avl < avr){ servoh = ++servoh; if (servoh > 169){ servoh = 169;}}
else if (avl == avr){ } //Stop
horizontal.write(servoh);
}
```

3.2.2 Operação Manual

Diferentemente do caso autônomo, a operação manual ignora a leitura dos valores dos LDRs, considerando apenas a posição de dois potenciômetros presentes no controle. Para o servo horizontal, pan:

```
val1 = analogRead(potpan); // realiza a leitura do potenciômetro (0 a 1023)
val1 = map(val1, 0, 1023, 0, 179); //condiciona a escala do potenciômetro ao servo
horizontal.write(val1); // indica o posicionamento do servo em função do seu ângulo.
delay(15); // força um intervalo de 15ms
```

Para o servo vertical, tilt:

```
val2 = analogRead(pottilt); // realiza a leitura do potenciômetro (0 a 1023)
val2 = map(val2, 0, 1023, 0, 179); //condiciona a escala do potenciômetro ao servo
vertical.write(val2); // indica o posicionamento do servo em função do seu ângulo.
delay(15); // força um intervalo de 15ms
```

3.2.3 Controle Remoto do Protótipo

O controle remoto, conforme mencionado em seu tópico dedicado, conta com os potenciômetros de controle de posicionamento, leds de status, e um botão que alterna entre as duas funções básicas do protótipo, operação autônoma e manual.

Por utilizar um botão único para alternar entre as funções de operação autônoma e manual, as funções são chamadas segundo o resultado de uma comparação lógica true and false.

Função	Variável de Entrada	Input
Potenciômetro Pan	potpan	A4
Potenciômetro Tilt	pottilt	A5
Botão Aut/Man	pushbot	D4
Led Manual	ledman	D5
Led Autônomo	ledaut	D6
Retorno +5Vcc	stat	D7

Tabela 2 – Funções e variáveis do controle remoto

```

if(digitalRead(stat)){           //Condição de acoplamento do controle
  if(digitalRead(pushbot)){     //Condição de pressionamento do botão
    if(++count == 5){
      aut = aut ? false : true;
      count = 0;
    }
  }
}
else
  aut = true;

if(aut){
  digitalWrite(ledaut, HIGH);   //Chama a função autônoma
  digitalWrite(ledman, LOW);
  autonomo();
}
else {
  digitalWrite(ledaut, LOW);    //Chama a função manual
  digitalWrite(ledman, HIGH);
  manual();
}

delay (30);
}

```

O resultado da primeira condicional, indicando o acoplamento do controle ao sistema, inicia uma segunda condição, que faz alternar a variável count entre 1 e 0 logo que a leitura do botão pressionado é realizada. Para a condição em que o controle não está presente, ou é desacoplado durante a operação, a igualdade da variável "aut" com o estado true, garante que segundo a condicional seguinte, a função autônoma se mantenha

operante. Dessa forma, para a situação em que o controle está acoplado, as condicionais do final do trecho operam normalmente, alternando-se entre si conforme o botão é pressionado. Nota-se que juntamente ao chamado da função, as condicionais realizam a indicação visual pelos LEDs do controle por meio dos comandos `digitalWrite()`.

O anexo C ao final do trabalho traz o código fonte de forma integral, onde inclui a inicialização das bibliotecas, variáveis, objetos dos servos, bem como todos os detalhes que tornam coerentes os trechos aqui introduzidos.

3.2.4 Materiais

Quantidade	Item	Valor de Referência
1	Arduino Uno	NA
2	Placa Fenolite	5x5cm
4	LDR	NA
4	Tripot	200 Ω
2	Servo Motor	MG995
1	Fonte DC	6 a 20V
2	Potenciômetro	20K Ω
1	Push Boton	NA
1	Cabo com RJ45	Projeto
2	LED	NA
3	Resistor	330 Ω

Tabela 3 – Materiais Utilizados

Parte IV

Protótipo II - Materiais e Métodos

4 Protótipo II - Materiais e Métodos

4.1 Protótipo II - Rastreador de Dois Eixos

Com um carácter definitivo de construção e operacionalidade, a versão II do protótipo proposto vem como uma forma evoluída da primeira etapa, de forma que o conceito antes desenvolvido, testado e aprovado se tornou um produto final.



Figura 20 – Protótipo Final

4.1.1 Envoltória e Construção

O circuito antes concebido de forma externa, se encontra agora envolvido por uma carcaça reaproveitada de uma câmara de segurança com os mesmos graus de liberdade

especificados no projeto do rastreador, permitindo assim uma montagem intuitiva, onde apenas algumas adaptações foram realizadas para o perfeito desempenho e usabilidade do protótipo

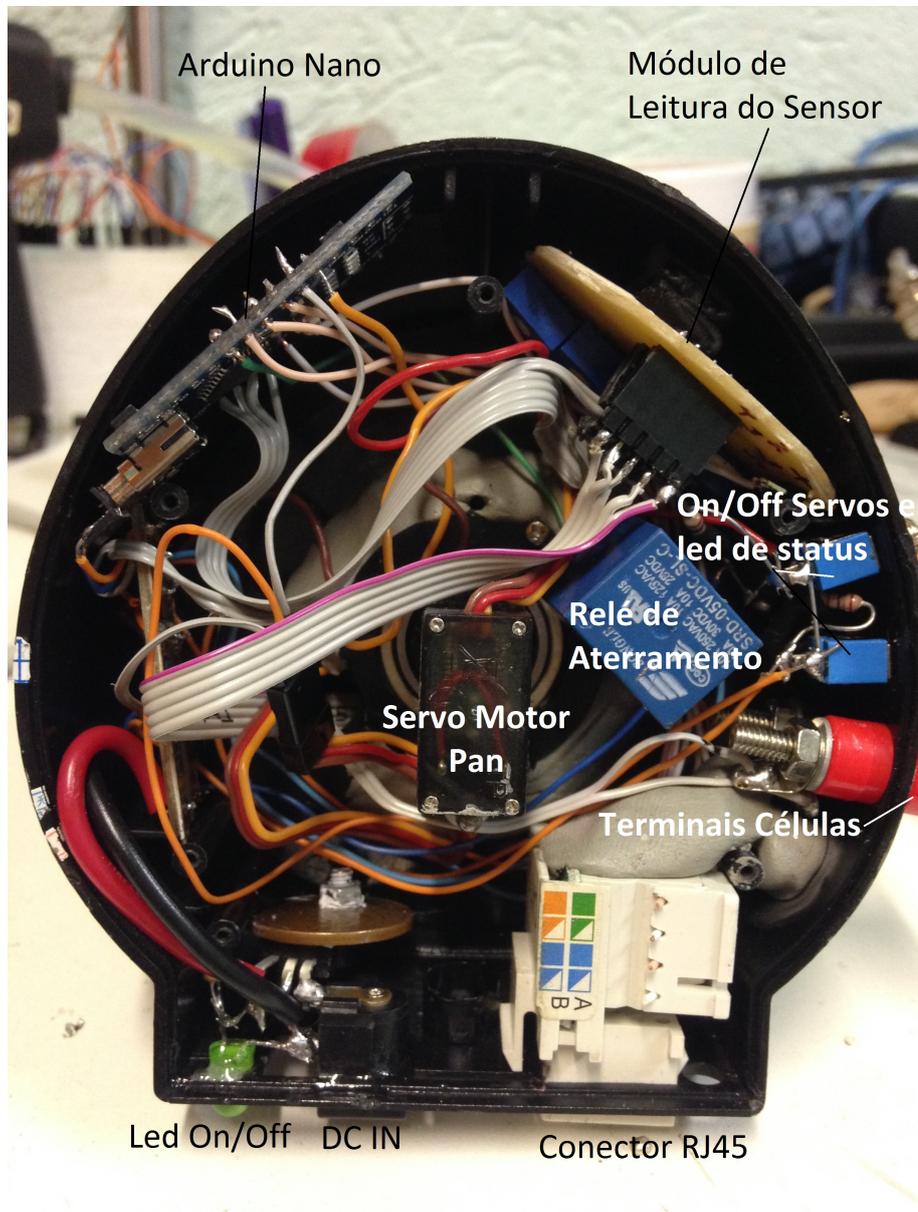


Figura 21 – Circuito do Sistema

Adaptação de eixos

Foram adaptados servos motores aos eixos de rotações que antes utilizavam motores de passo acoplados em engrenagens de redução, a estrutura passou a operar diretamente engastada nos servos do projeto (Figura 22), tanto para a movimentação vertical como para a horizontal. Utilizou-se braços plásticos com encaixe próprio dos servos com auxílio de resinas epóxi para garantir confiabilidade na fixação.

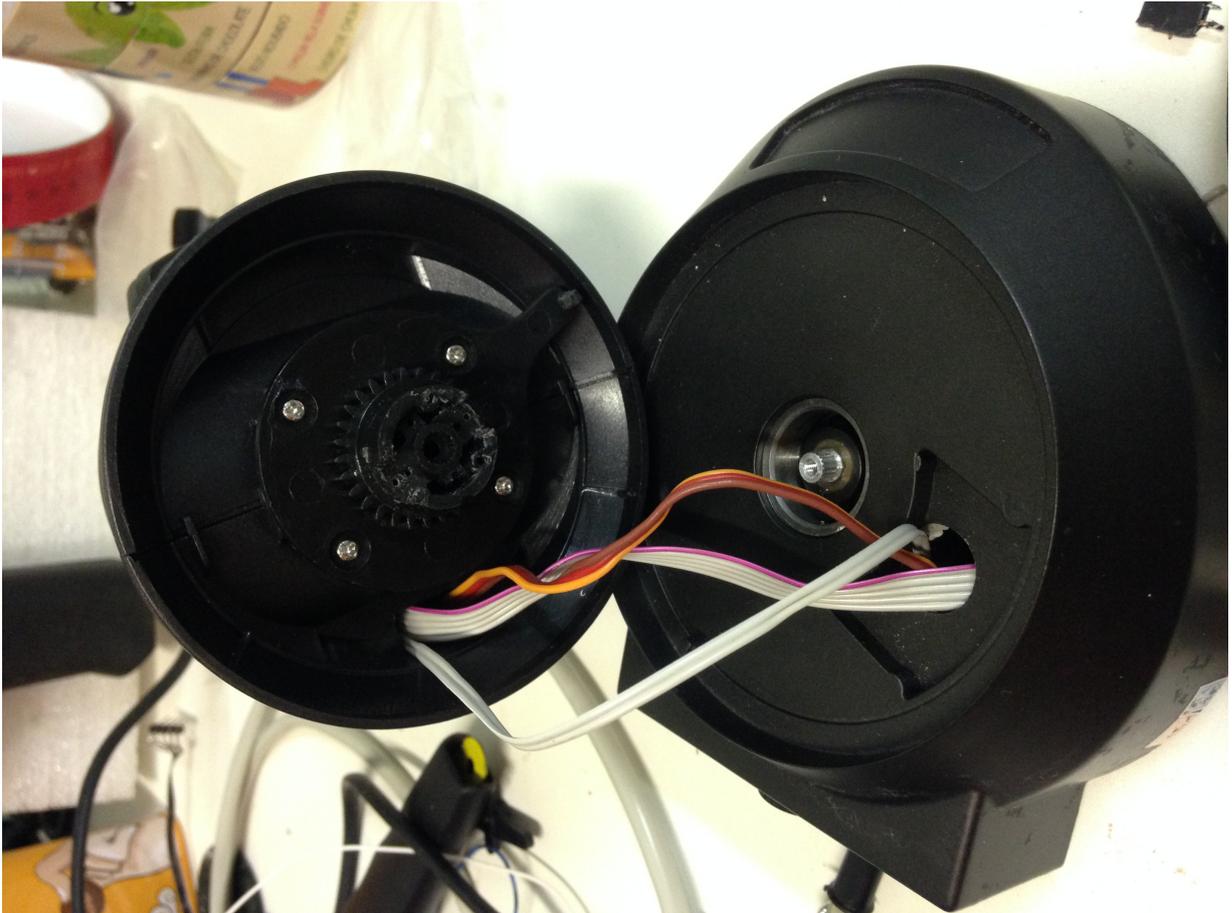


Figura 22 – Adaptação de Eixos

Aberturas para terminais

Pela necessidade da utilização de terminais como alimentação DC, controle remoto e medições das células, foram adaptados furações na carcaça do protótipo, as aberturas para o jack DC e o RJ45 foram adequadas aos tamanhos dos conectores, pois já existiam previamente. Já para os conectores banana foram realizadas furações para os mesmos, igualmente para as chaves liga/desliga para os servos e os leds de status.

4.1.2 Micro Controlador

A prototipagem final se deu baseada na plataforma Arduino Nano, que foi adotado por restrições espaciais da envoltória escolhida, o que não acarretou qualquer tipo de prejuízo pois os paradigmas e sintaxes tanto para o Arduino Mega como o Nano são rigorosamente análogas, e uma vez que foram respeitadas as numerações e identificadores das portas analógicas e digitais, o processo se baseou apenas na reescrita do código na plataforma e a reconexão do circuito. No entanto, para a segunda versão os terminais foram soldados, garantindo assim melhor condutividade e mais confiabilidade.

Diferindo-se da versão Mega, o Arduino nano não conta com regulador de tensão

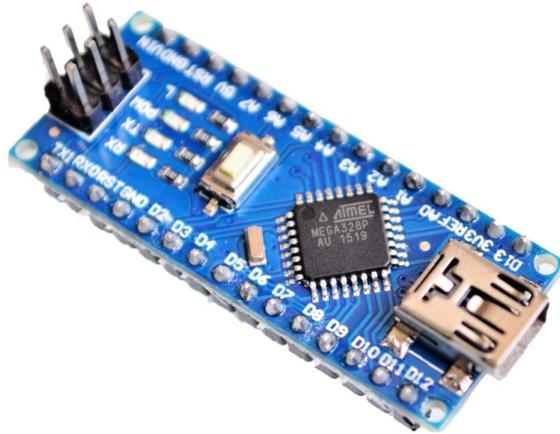


Figura 23 – Plataforma Arduino Nano
([ARDUINO, 2016](#))

no seu layout, estando preparado apenas para a tensão de 5V de fontes USB. Dessa forma se fez necessário a inclusão de um regulador de tensão L7805 que entrega no seu terminal de output a tensão de 5V para entradas entre 7 e 18V.

4.1.3 Sensoreamento

Em conformidade com o capítulo anterior onde foram detalhadas as questões envolvidas com o sistema de sensoreamento, a lógica de leitura e resposta permanecem inalteradas, bem como a construção do transdutor que ganhou a cor preta para garantir uniformidade de cor do protótipo e reflexibilidade igualitária no corpo do sensor, como pode ser visto na Figura 20 da abertura desse capítulo.

Houve a necessidade da criação de uma solução para fixação e conexão eletrônica dos sensores na estrutura móvel. Para tal, utilizou-se uma estrutura de parafusos colada ao corpo de fenolito do sensor, concêntrica a uma chapa metálica presa na parte frontal interna da cabeça móvel para a fixação. A solução de conexão se deu através um cabo flat flexível de 5 vias que percorre o caminho dos sensores até o módulo de leitura analógica. Esse conjunto de cabos flexíveis que compõem o cabo flat apresentam menor grau de fadiga em relação ao fio rígido, e cria mínima resistência ao movimento do sistema, garantindo maior precisão de operação e otimização na vida útil dos servos motores.

4.1.4 Células Fotovoltaicas Embarcadas

Acopladas ao corpo do sensor foram fixadas um grupo de 4 células fotovoltaicas, interligadas em série e de forma perpendicular ao posicionamento esférico dos servos. Os terminais do grupo de células foram estendidos aos terminais banana fêmea presentes no corpo do protótipo para fins de facilitação na obtenção de resultados dos testes propostos. Os terminais e cabos banana são tradicionalmente encontrados nas bancadas de eletrônica, bem como nos instrumentações portáteis, o que viabiliza os ensaios sem esforços para obtenção de materiais e em locais variados.

4.2 Controle Manual e Autônomo

A estrutura lógica dos comandos manuais e autônomos não foram modificadas na sua idealização, seguem em conformidade com o que foi decorrido apartir da sessão 3.1.2 no capítulo anterior. Foi realizada apenas o acoplamento de um relê de 5v interfaceando o pino 8 (Figura 19) de forma que o terminal digital 7, responsável por informar a presença ou ausência do controle remoto esteja sempre conectado ao terra nos casos de ausência do mesmo. Isso se deve ao problema de ambiguidade na leitura que criam desordens no sistema, pois por vezes surgem pequenas tensões inesperadas que são confundidas com comandos eletrotônicos, problemas esses que não existem com o terminal devidamente aterrado.

Modificações nos Limites dos Servos

Em decorrência da adoção de uma envoltória com liberdades de movimentos definidas e inferiores aos dos servos adotados, o que não ocorria na versão I, pois se utilizava suportes genéricos, se fez necessário a modificação dos limites de atuação diretamente no código fonte do sistema, pois não é desejada a exposição dos servos a esforços de bloqueio, uma vez que essa natureza de problema cria sobrecorrentes que podem danificar o circuito, esforços nas junções móveis que podem se quebrar e desgaste prematuro dos motores dos servos. As modificações valem apenas para a movimentação vertical. O recorte do código da sessão de controle autônomo e o recorte da sessão de controle manual indicam de forma explícita na estrutura lógica do programa as modificações, mais detalhes do código no Anexo E ao final do documento.

4.2.1 Modificações Controle Autônomo

Controle Autônomo

```

if (-1*tol > dvert || dvert > tol) // verifica se a diferença esta na tolerancia
{
    if (avt > avd){ servov = --servov; if (servov < 80){ servov = 80;}} //Avança o servo

    else if (avt < avd){ servov= ++servov; if (servov > 170){ servov = 170;}} //Avança o

vertical.write(servov);

}

```

A modificação permite que o servo apenas se mova da posição de 80° a 170°.

Controle Manual

```

void manual()
{

int  val1 = analogRead(potpan);           // Leitura do potenciômetro (0 a 1023)
  val1 = map(val1, 0, 1000, 0, 179);      // Adaptação do potenciômetro ao servo
  horizontal.write(val1);                 // Posiciona o servo
  //delay(15);                            // Garante o tempo de ação do servo

int  val2 = analogRead(pottilt);         // Leitura do potenciômetro (0 a 1023)
  val2 = map(val2, 0, 1023, 80, 170);    // Adaptação do potenciômetro ao servo
  vertical.write(val2);                   // Garante o tempo de ação do servo
  //delay(15);

}

```

Analogamente, a atuação do servo fica limitada aos ângulos de 80° a 170°.

Dessa forma, o sistema de controle garante que os servos vão estar sempre na zona atuação segura, bem como as células fotovoltaicas que de outra forma poderiam se chocar com o corpo do protótipo em ângulos extremos.

Para o servo responsável pela rotação horizontal (pan) as configurações continuam semelhantes, pois os limites de atuação da carcaça não criam interferências ao funcionamento ótimo.

4.3 Materiais Protótipo II

Abaixo segue o compilado definitivo dos materiais que foram empregados para a concepção do protótipo, a tabela 4 exclui as ferramentas necessárias à integração adequada das partes, bem como os insumos utilizados para o mesmo fim como lubrificantes, resinas e colas.

Quantidade	Item	Valor de Referência
	Arduino Nano	1 NA
	Carcça Câmera 2 Eixos	1 NA
	Placa Fenolite	2 5x5cm
	LDR	4 NA
	Tripot	4 200 Ω
	Servo Motor	2 MG90S
	Fonte DC	1 6 a 20V
	Potenciômetro	2 20K Ω B
	Push Boton	1 NA
	Cabo com RJ45	1 NA
	LED	6 NA
	Resistor	7 330 Ω
	Relé	1 5V
	Con. Fêm RJ45	1 NA
	Bot. On/off	2 NA
	Cabo Flat Flexível	1 5 Vias
	Células FV	4 2V

Tabela 4 – Materiais Utilizados - Protótipo II

Parte V

Resultados

5 Resultados

5.1 Operacionalidade

A concepção do projeto buscou um modelo de operação simples e intuitivo ao usuário, uma vez que variados perfis de estudantes e professores irão potencialmente fazer uso do produto final, característica essas que se tornam importantes uma vez os resultados das análises obtidas por meio do protótipo devem vir em prioridade superior ao conceito do próprio protótipo, que não deve impor desafios ao usuário. Veja abaixo a lista de procedimentos para a correta utilização

5.1.1 Utilização do protótipo

O protótipo é colocado em funcionamento seguindo os seguintes passos.

1. Realizar a conexão de uma fonte DC de 7 a 18V ao terminal de alimentação
2. Verifique o led verde próximo ao conector DC, ele deve acender no momento da energização.
3. Caso deseje, conecte o controle remoto ao terminal RJ45 (opcional).
4. Ative o funcionamento dos eixos pelas chaves na lateral do protótipo, o led próximo a chave indica seu status.
5. Caso esteja utilizando o controle, selecione o modo de operação autônoma ou manual pelo botão central do controle, o modo autônomo é a configuração padrão.

5.2 Aplicações Didáticas

O propósito da utilização didática do protótipo deve explorar todas as suas possibilidades como rastreador solar, além de demonstrar uma das possibilidades de construção do dispositivo de dois eixos.

Serão aqui sugeridos algumas exemplos que exploram o projeto de forma efetiva e que refletirão em aprendizado prático acerca dos ganhos de rastreadores solares.

Observações prévias

Medições de tensão de circuito aberto: Quando configurado para medir tensões, os multímetros utilizam um circuito de alta impedância, de forma que deve ser

observada a escala de tensão superior mais próxima da realidade das células.

Medições de corrente de curto-circuito: Quando configurado para medir correntes, os multímetros utilizam um circuito de baixa impedância de forma a permitir a total passagem de corrente entre seus terminais causando mínima interferência. Para a medição da corrente de curto-circuito, os terminais das células são curto circuitadas no interior do instrumento. Esse procedimento somente é possível pela baixa corrente das pequenas células adotadas no protótipo. Para casos de módulos maiores esse procedimento pode ser arriscado, necessitando assim de análise prévia.

Parâmetro de tempo nos testes de bancada : Para a maior parte dos testes realizados em bancada, o parâmetro de tempo se torna um complicador para os resultados dos ensaios. Para os parâmetros instantâneos como tensão, corrente e potência, não existe qualquer implicação. Já para o cálculo de energia, que é diretamente relacionado a um intervalo temporal, é desejável compreender o ensaio em um intervalo de tempo arbitrário fixado para as diversas etapas do experimento de forma que as escalas de ângulo de incidência e de tempo sejam concêntricas, ou seja, o ângulo de 90° deve coincidir com a metade do tempo estipulado. Dessa forma as comparações de energia são viabilizadas pois o resultado de interesse não é a energia produzida, mas as comparações de produção entre as etapas dos testes. Veja no exemplo arbitrário abaixo da figura 24.

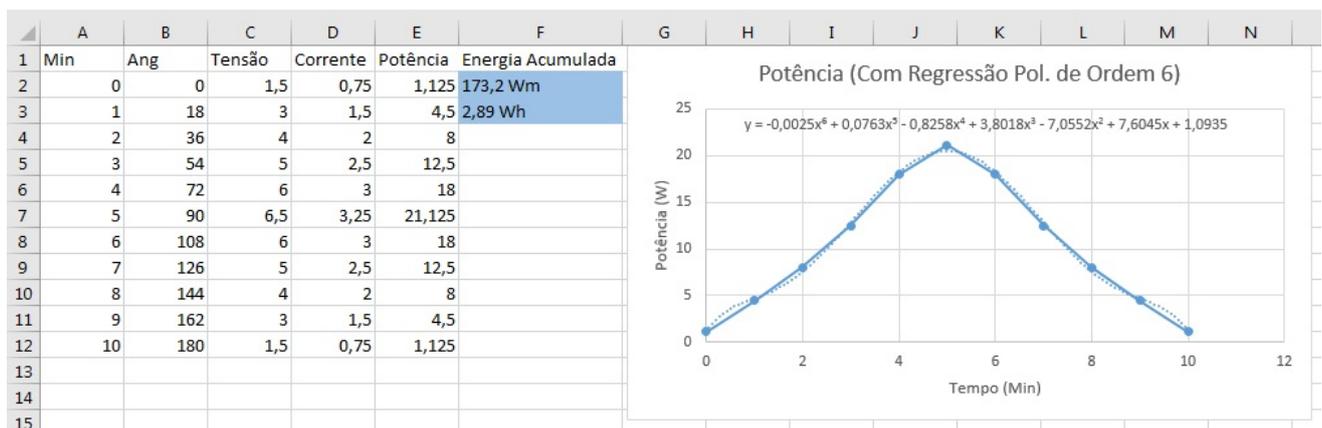


Figura 24 – Gráfico Potência

Foi estabelecido um tempo de 10 minutos para o ensaio sobre células fixas, de forma a variar a angulação de uma determinada fonte luminosa em torno da células. Na coluna A da figura está indicado o tempo, na coluna B o ângulo de incidência, na coluna C as medições de tensão, na coluna D as medições de corrente de curto-circuito, na coluna E a potência calculada. Para os valores de energia da coluna F, foi obtido por regressão polinomial de sexta ordem a função polinomial que representa a curva de potência do

teste, em seguida por meio da integração da função em relação ao tempo, se chegou ao valor da energia produzida nos 10 minutos.

A premissa da arbitragem do tempo só é válida para casos em que não existe o amplo controle do tempo próprio do ensaio, para o caso de testes em céu aberto, é fortemente recomendado que se estabeleça parâmetros precisos

Comutação entre leitura de tensão e corrente de curto-circuito: Devem ser avaliados os parâmetros de tensão e corrente em pequenos intervalos de tempo, onde se faz a aproximação da leitura simultânea dos dois parâmetros. Em alguns casos os terminais para tensão e corrente do multímetros são diferentes, de forma que se faz necessário a desconexão do cabo de medição antes da comutação da função de leitura do instrumento. No entanto, para qualquer caso o procedimento mais seguro é o de desconectar de qualquer forma o terminal antes de comutar a função do multímetro.

5.3 Roteiros de Trabalho

Os experimentos apresentados a seguir devem elucidar de forma prática e teórica os conhecimentos a respeito da tecnologia dos rastreadores, para tal os roteiros devem ser estudados na íntegra, bem como as instruções e considerações prévias desse capítulo que informam os procedimentos seguros e métodos de trabalho recomendados para a potencialização do aprendizado.

5.3.1 Teste de Ganho Pelo Rastreador em relação a Módulos Fixos

O teste consiste na comparação de valores de tensão/corrente, potência e energia gerada entre uma posição fixa e posicionamento móvel de um ou dois eixos.

Materiais Utilizados

Item	Quantidade
Protótipo de Rastreamento	1
Células FV do Protótipo	4
Multímetro	1
Cabo de Conexão	2

Tabela 5 – Materiais Experimento 1

Procedimento Experimental

Para a perfeita realização do experimento os seguintes cuidados devem ser tomados: Para ensaios a céu aberto, faça a seleção de um local livre de tráfego de pessoas ou automóveis, busque realizar o experimento em dia ensolarado sem possibilidade de chuva e busque manter os instrumentos de leitura livre da incidência solar direta. Para testes em ambientes controlados, verifique a tensão de entrada e saída da fonte de alimentação. Os seguintes passos de montagem deverão ser seguidos:

1. Realize a inicialização do protótipo segundo a lista de procedimentos do subitem anterior.
2. Conecte os terminais de teste das células ao multímetro.
3. Pela função manual, posicione as células na angulação fixa desejada. Ao comutar para a função autônoma, a posição adotada manualmente se mantém salva, de forma que ao retornar para a função manual os servos se dirigem instantaneamente para a posição anterior.
4. Inicie o teste com a fonte luminosa na posição inicial ou com a angulação atual do sol, tome nota dos valores de tensão de circuito aberto e corrente de curto circuito para a posição fixa no modo manual e para a posição rastreada pela função autônoma. Para tal, basta comutar as funções no botão central do controle e seguir os procedimentos das observações prévias.
5. Crie uma curva de tensão, corrente, potência e em seguida realize o cálculo da energia gerada tanto para os valores da angulação fixa como para a angulação variada.

6. Crie gráficos sobrepostos entre os dois casos da: tensão, corrente e potência. Compare os parâmetros e regiões mais relevantes.
7. Comparar os resultados entre os casos.

Alguns detalhes devem ser observados, a ligação em série dos módulos aos multímetros obriga a passagem total da corrente gerada nos módulos pelos circuitos do multímetro, de forma que deve ser assegurado que a corrente nominal de curto circuito não ultrapasse os limites de operação do instrumento, bem como a tensão gerada, tendo em vista as melhores escalas do instrumento.

Resultados e Análises

O teste deve ser desempenhado segundo um intervalo conhecido de tempo, preferencialmente centrado ao meio dia no caso de testes a céu aberto, por exemplo das 9:00 às 15:00, isso em razão de produzir uma curva clara do funcionamento do sistema FV em função da sua geração ao longo do dia. Para testes de bancada essa observação não se faz necessária, o parâmetro tempo pode ser adotado arbitrariamente conforme exemplificado nas observações prévias.

Sugere-se a utilização de regressão linear para a análise dos dados obtidos, uma vez que dessa forma se tornam mais simples e rápidas as operações necessárias para as análises, seja por via de utilização do MATLAB, Excel ou linguagem C.

É desejado a obtenção de valores entre 15% a 30% de ganho de produção quando comparada a energia total produzida.

5.3.2 Ganho de Produção em Função do Ângulo Zenital

O presente teste busca a resposta de um sistema FV frente a diferentes posições do ângulo zenital das células FV orientadas para o norte por meio da utilização do modo de operação manual.

Materiais Utilizados

Item	Quantidade
Protótipo de Rastreamento	1
Células FV do Protótipo	4
Multímetro	1
Cabo de Conexão	2

Tabela 6 – Materiais Experimento 2

Procedimento Experimental

Para a perfeita realização do experimento os seguintes cuidados devem ser tomados: Para ensaios a céu aberto, faça a seleção de um local livre de tráfego de pessoas ou automóveis, busque realizar o experimento em dia ensolarado sem possibilidade de chuva e busque manter os instrumentos de leitura livre da incidência solar direta. Para testes em ambientes controlados, verifique a tensão de entrada e saída da fonte de alimentação. Os seguintes passos de montagem deverão ser seguidos:

1. Realize a inicialização do protótipo segundo a lista de procedimentos do subitem anterior.
2. Conecte os terminais de teste das células ao multímetro.
3. Se certifique que a frente do protótipo esteja orientada ao norte, ou para casos com fontes artificiais, a movimentação se de de forma análoga leste-oeste.
4. Por meio da função manual, posicione as células a zenit igual a zero, ou seja, paralelo ao solo. Realize as medições de tensão e corrente em função da angulação.
5. Ao final do passo anterior, altere a angulação para 100° ou adote a progressão mais adequada, e repita o procedimento até que se chegue no ângulo de 90° , ou seja, as células perpendiculares ao chão.
6. Para fins de comparação a fonte luminosa deve percorrer o mesmo trajeto para todos os ângulos analisados.

7. Crie a curva de tensão, corrente, potência.
8. Realize o cálculo da energia gerada segundo um tempo arbitrado, é importante que o tempo seja igual para todos os ângulos. Faça de produção versus ângulo, estabeleça o ângulo ótimo de produção.
9. Crie gráficos sobrepostos entre os ângulos analisados de: tensão, corrente e potência. Compare os parâmetros e regiões mais relevantes.
10. Comparar os resultados entre os casos.

Resultados e Análises

Deseja-se ao desempenhar o experimento, que fique nítido o decaimento de produção proporcional ao aumento do ângulo entre a normal do módulo e a direção do percurso solar ou da fonte luminosa. para tal recomenda-se a escolha de um local com a menor taxa de reflexividade geral possível, pois com a interferência de reflexões os valores carregam consideráveis cargas de erro.

Sugere-se a utilização de regressão linear para a análise dos dados obtidos, uma vez que dessa forma se tornam mais simples e rápidas as operações necessárias para as análises, seja por via de utilização do MATLAB, Excel ou linguagem C.

Os ângulos de maior produção devem ser os ângulos que se aproximam da direção percorrida pela fonte luminosa.

5.3.3 Teste de Comparação Entre Rastreadores de Dois e Um Eixo

O teste consiste na comparação entre duas tecnologias de rastreadores simuladas pelo protótipo, as rastreadores de um e de dois eixos, para tal serão coletados dados de tensão de circuito aberto e corrente de curto circuito.

Materiais Utilizados

Item	Quantidade
Protótipo de Rastreamento	1
Células FV do Protótipo	4
Multímetro	1
Cabo de Conexão Banana	2

Tabela 7 – Materiais Experimento 1

Procedimento Experimental

Para a perfeita realização do experimento os seguintes cuidados devem ser tomados: Para ensaios a céu aberto, faça a seleção de um local livre de tráfego de pessoas ou automóveis, busque realizar o experimento em dia ensolarado sem possibilidade de chuva e busque manter os instrumentos de leitura livre da incidência solar direta. Para testes em ambientes controlados, verifique a tensão de entrada e saída da fonte de alimentação. Os seguintes passos de montagem deverão ser seguidos:

1. Realizar a inicialização do protótipo segundo a lista de procedimentos do subitem anterior.
2. Conecte os terminais de teste das células ao multímetro.
3. Se certifique que o protótipo esteja operando pela função autônoma e que ambos os eixos estejam ativos.
4. Inicie o teste a partir da angulação inicial e registre os valores de tensão de circuito aberto e corrente de curto-circuito ao longo ângulos de incidência. Repita o teste para diferentes ângulos de altura solar para a fonte luminosa variando entre 0° e 90° .
5. Em seguida adote pelo modo manual, uma angulação zenital arbitrária que estará fixa para as células ao longo da segunda etapa do experimento. Desligue a chave do

eixo vertical (tilt), de forma que o protótipo apenas possa rotacionar sobre o eixo horizontal.

6. Repita o procedimento do item 4 sob as novas condições, utilizando as mesmas angulações de altura solar da primeira parte.
7. Para cada ângulo de altura solar ensaiado, crie a curva de: tensão, corrente e potência, para o ensaio de dois e um eixo.
8. Sobreponha os gráficos do item anterior e analise os parâmetros e regiões de maior influência.
9. Calcule a energia produzida segundo um tempo arbitrado, fixo para todos os casos. Compare para cada ângulo de altura solar ensaiado a diferença entre os dois casos.
10. Compare os resultados entre os casos.

Alguns detalhes devem ser observados, a ligação em série dos módulos aos multímetros, obriga a passagem total da corrente gerada nos módulos pelos circuitos dos multímetros, de forma que deve ser assegurado que a corrente nominal de curto circuito não ultrapasse os limites de operação do instrumento, bem como a tensão gerada, tendo em vista sempre as melhores escalas do instrumento.

Resultados e Análises

Os testes em bancada oferecem resultados mais rápidos, uma vez que para testes de exposição solar, as mudanças efetivas aos cálculos levam algumas horas e as variações devem ser feitas em dias subsequentes. No entanto, caso seja feita a opção por testes a céu aberto, observe as seguintes considerações.

O teste deve ser desempenhado segundo um intervalo conhecido de tempo, preferencialmente centrado ao meio dia, por exemplo das 9:00 às 15:00, isso em razão de permitir a visualização de uma curva clara do funcionamento do sistema FV em função da sua geração ao longo do dia.

Sugere-se utilizar de regressão linear para a análise dos dados obtidos, uma vez que dessa forma se tornam mais simples e rápidas as operações necessárias para as análises, seja por via de utilização do MATLAB, Excel ou linguagem C.

Deseja-se obter valores médios entre 10% e 20% de ganho de produção do sistema de dois eixos em relação ao de um eixo.

Parte VI

Conclusão

6 Conclusão

6.1 Conclusão

Visto as possibilidades de aplicação do protótipo, segundo o capítulo 3.2, para com as dadas funções didáticas, espera-se do projeto um legado de contribuição, mesmo que pontual, aos estudantes das próximas turmas. A possibilidade de se produzir uma conceituação palpável dos sistemas mecânicos de rastreamento, juntamente aos ganhos associados em uma forma prática e real, deve expandir os pensamentos dos envolvidos, fomentando futuras pesquisas e desenvolvimentos visando tornar a energia FV mais competitiva e eficiente do ponto de vista econômico e tecnológico através dos futuros engenheiros.

O principal incentivo para a adesão ao projeto de desenvolvimento do protótipo se deu em razão da obtenção de ganhos consideráveis com uma estruturação relativamente descomplicada, acessível, tecnologicamente viável e que seria capaz de somar ganhos de até 40% dependendo, obviamente, da natureza do projeto, localização geográfica, microclima, dentre outros fatores, mas sendo indiscutível o fato de estar entre as soluções potencialmente mais promissoras para o avançamento dos sistemas de produção FV.

Curiosamente, a produção comercial de sistemas de rastreadores no Brasil engatinha vagarosamente, o que é incoerente, pois anualmente são gastas altas cifras em recursos para pesquisas que alcançam, normalmente, baixos progressos em percentual de rendimento das células FV. O que dado todas as vantagens já conhecidas de um sistema de rastreamento, juntamente ao crescimento vertiginoso da energia FV, deve elevar o setor de produção para um cenário mais promissor, o que reflete em inúmeras vantagens para a forma de geração FV e conseqüentemente para toda a sociedade.

6.2 Trabalhos Futuros

O atual estado do projeto remete ainda a uma prototipagem frágil e de certa complexidade a um possível usuário, uma vez que está constituído sobre uma protoboard interconectada por jumpers móveis. O script de trabalho principal para a parte 2 da disciplina de graduação "Trabalho de Conclusão de Curso 2" tem o foco principal para a construção de uma estrutura com maior robustez, que proteja e garanta durabilidade ao sistema como um todo.

Para além do presente projeto, o trabalho carrega a possibilidade ser objeto de futuros estudos, implementações, bem como futuros trabalhos acadêmicos dentro e fora da instituição, servindo dessa forma aos próximos estudantes e contemplando, assim, o

conceito colaborativo da construção do conhecimento.

Uma vez aqui tendo sido desenvolvido a codificação, estrutura lógica e projeto físico de um sistema de rastreamento, o conceito pode ser estendido a sistemas maiores, inclusive com módulos comerciais. Considerando o curso de Engenharia de Energia da Universidade de Brasília, caberia uma sequência de trabalhos para elaboração de uma estação de pesquisa continuada dentro do *campus* para estudos ao longo de períodos maiores de tempo. Estação essa que serviria para diversos testes além dos propostos aqui e somaria ainda mais ao processo de aprendizagem dos estudantes.

Referências

- ABB. *Web Site ABB, Inversores Fotovoltaicos*. 2016. Disponível em: <<http://www.abb.com.br/industries/pt/9AAC166916.aspx>>. Citado na página 31.
- APPLEYARD, D. Solar trackers: Facing the sun. 2009. Disponível em: <<http://www.renewableenergyworld.com/articles/print/volume-12/issue-3/solar-energy/solar-trackers-facing-the-sun.html>>. Citado 2 vezes nas páginas 33 e 35.
- ARDUINO. *Website Arduino Arduino*. 2016. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Main/Products>>. Citado 2 vezes nas páginas 44 e 60.
- CHIVELET, N. M. *Técnicas de Vedação Fotovoltaicas na Arquitetura*. Salvaterra. - Porto Alegre: Bookman, 2010.: [s.n.], 2010. 194 p. ISBN 978-85-7780-581-5. Citado na página 29.
- DORF, R. C. *Introdução aos Circuitos Elétricos*. Rio de Janeiro: LTC, 2014: [s.n.], 2014. 120 p. ISBN 978-85-216-2116-4. Citado na página 45.
- DUERR, F.; MEURET, Y.; THIENPONT, H. Tailored free-form optics with movement to integrate tracking in concentrating photovoltaics. *Opt. Express*, OSA, v. 21, n. S3, p. A401–A411, May 2013. Disponível em: <<http://www.opticsexpress.org/abstract.cfm?URI=oe-21-103-A401>>. Citado na página 34.
- EPSOLAR. Controlador de carga vs24bn. 2016. Disponível em: <http://www.epsolarpv.com/en/index.php/Product/pro_content/id/166/am_id/136>. Citado na página 31.
- LOPEZ, R. A. *Energia Solar Para Produção de Eletricidade*. São Paulo, Artliber Editora: [s.n.], 2012. 224 p. ISBN 978-85-88098-65-7. Citado na página 31.
- PANASONIC. Website panasonic. 2016. Disponível em: <<https://eu-solar.panasonic.net/en/solar-panel-vbhn325sj47-vbhn330sj47.htm#product-description-Downloads>>. Citado na página 30.
- PEREIRA, F. *Manutenção de Instalações de Instalações Fotovoltaicas*. Publindústria: [s.n.], 2012. 120 p. ISBN 9789897230189. Citado na página 33.
- TREVELIN, F. C. Estudo comparativo entre métodos de rastreamento solar aplicados a sistemas fotovoltaicos (graduação). 2014. Disponível em: <<http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180450/tce-02092014-093245/?&lang=br>>. Citado na página 33.
- USP. *Painéis Solares Fotovoltaico, instalados na Biblioteca Brasileira Guita e José Mindlin. George Campos / USP*. 2016. Disponível em: <<http://www.imagens.usp.br/?p=22471>>. Citado na página 34.
- VILLALVA, M. G. *Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações*. São Paulo, Brasil: [s.n.], 2012. 224 p. ISBN 978-85-365-0416-2. Citado na página 30.

Anexos

ANEXO A – Código em Matlab de Otimização do LDR

```
fplot('12*x/(x+95)',[0,500],'r'); %Traço vermelho, alta luminosidade
hold on
fplot('12*x/(x+260)',[0,500],'b'); %Traço azul, luminosidade reduzida
hold on
fplot('12*x*((1/(x+95))-(1/(x+260)))',[0,500],'g'); %Diferença entre os divisores de ten-
são

title ('Otimização Resistores');
xlabel ('Resistência (Ohm)');
ylabel ('Tensão (V)');

hold off
```


ANEXO B – Esquemático de Ligações Protótipo I

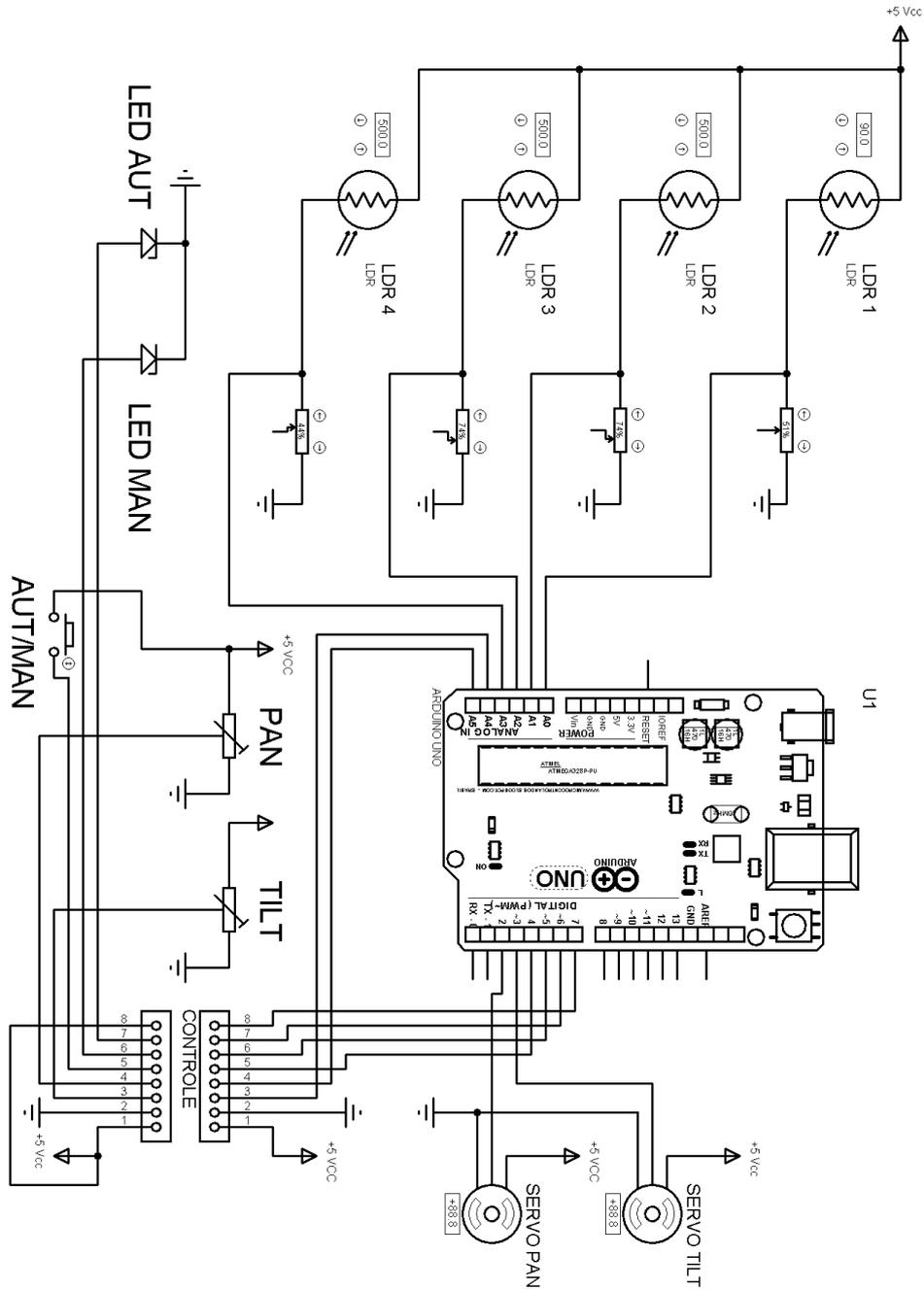


Figura 25 – Esquemático Geral de Ligações Protótipo I

ANEXO C – Código Fonte

```
#include <Servo.h> //Biblioteca de operação de servos

//-----Variáveis Servos Motores-----

Servo horizontal; // Objeto do servo pan
int servoh = 90;
//
Servo vertical; // Objeto do servo tilt
int servov = 90;

//-----Variáveis dos Sensores LDRs-----

int ldrld = A0; //LDR down left
int ldrlt = A1; //LDR top left
int ldr rt = A2; //LDR top right
int ldrrd = A3; //LDR down right

//-----Variáveis do Controle-----

int potpan = A4; // Potenciômetro do controle (pan)
int pottilt = A5; // Potenciômetro do controle (tilt)

int pushbot = 4; //Botão aut/man
int ledman = 5; //Led Manual
int ledaut = 6; //Led autônomo
int stat = 7; //Status do Controle

int count = 0; //contador do botão aut/man

boolean aut = true;
```

```
//-----Void Setup-----

void setup(){

pinMode(pushbot, INPUT); //Modo dos pinos digitais
pinMode(ledaut, OUTPUT);
pinMode(ledman, OUTPUT);
pinMode(stat, INPUT);

vertical.attach(3); // Conexões dos servos
horizontal.attach(2); //name.attacht(pin);

Serial.begin(9600);
}

//-----Void Loop-----

void loop(){

//-----DEBUG no Monitor Serial
Serial.print("\n\nstat: \t");
Serial.println(digitalRead(stat));
Serial.print("pushbot: \t");
Serial.println(digitalRead(pushbot));
Serial.print("aut: \t");
Serial.println(aut);
Serial.print("count: \t");
Serial.println(count);
// -----

if(digitalRead(stat)){ //Condição de acoplamento do controle
  if(digitalRead(pushbot)){ //Condição de pressionamento do botão
    if(++count == 5){
      aut = aut ? false : true;
    }
  }
}
```

```
        count = 0;
    }
}
else
    aut = true;

if(aut){
    digitalWrite(ledaut, HIGH); //Chama a função autônoma
    digitalWrite(ledman, LOW);
    autonomo();
}
else {
    digitalWrite(ledaut, LOW); //Chama a função manual
    digitalWrite(ledman, HIGH);
    manual();
}

delay (30);
}

//-----Função Autônoma Pelos LDRs-----

void autonomo()
{
    int lt = analogRead(ldrlt); // Leitura top left
    int rt = analogRead(ldrrt); // Leitura top right
    int ld = analogRead(ldrld); // Leitura down left
    int rd = analogRead(ldrrd); // Leitura down right

    int tol = 5; // Tolerância

    //Valores Absolutos:

    int avt = (lt + rt) / 2; // Valor top
    int avd = (ld + rd) / 2; // Valor down
    int avl = (lt + ld) / 2; // Valor left
```

```
int avr = (rt + rd) / 2; // Valor right

//Diferença entre os setores opostos do sensor

int dvert = avt - avd; // Diferença entre a parte superior e inferior
int dhoriz = avl - avr; // Diferença entre a esquerda e a direita

//-----Operação do Servo Vertical (Tilt)-----

if (-1*tol > dvert || dvert > tol) // verifica se a diferença esta na tolerancia
{
    if (avt > avd){ servov = --servov; if (servov > 180){ servov = 180;}} //Avança o ser

    else if (avt < avd){ servov= ++servov; if (servov < 0){ servov = 0;}} //Avança o ser

vertical.write(servov);

}

//-----Operação do Servo Horizontal (Pan) -----

if (-1*tol > dhoriz || dhoriz > tol) // verifica se a diferença esta na tolerancia
{
    if (avl > avr){ servoh = --servoh; if (servoh < 0){ servoh = 0;}} //Avança o servo

    else if (avl < avr){ servoh = ++servoh; if (servoh > 169){ servoh = 169;}} //Avança

    else if (avl == avr){ } // Repousa o sistema.

    horizontal.write(servoh);
//delay(15);
}
delay(20);
}
```


D Esquemático de Ligações Protótipo II

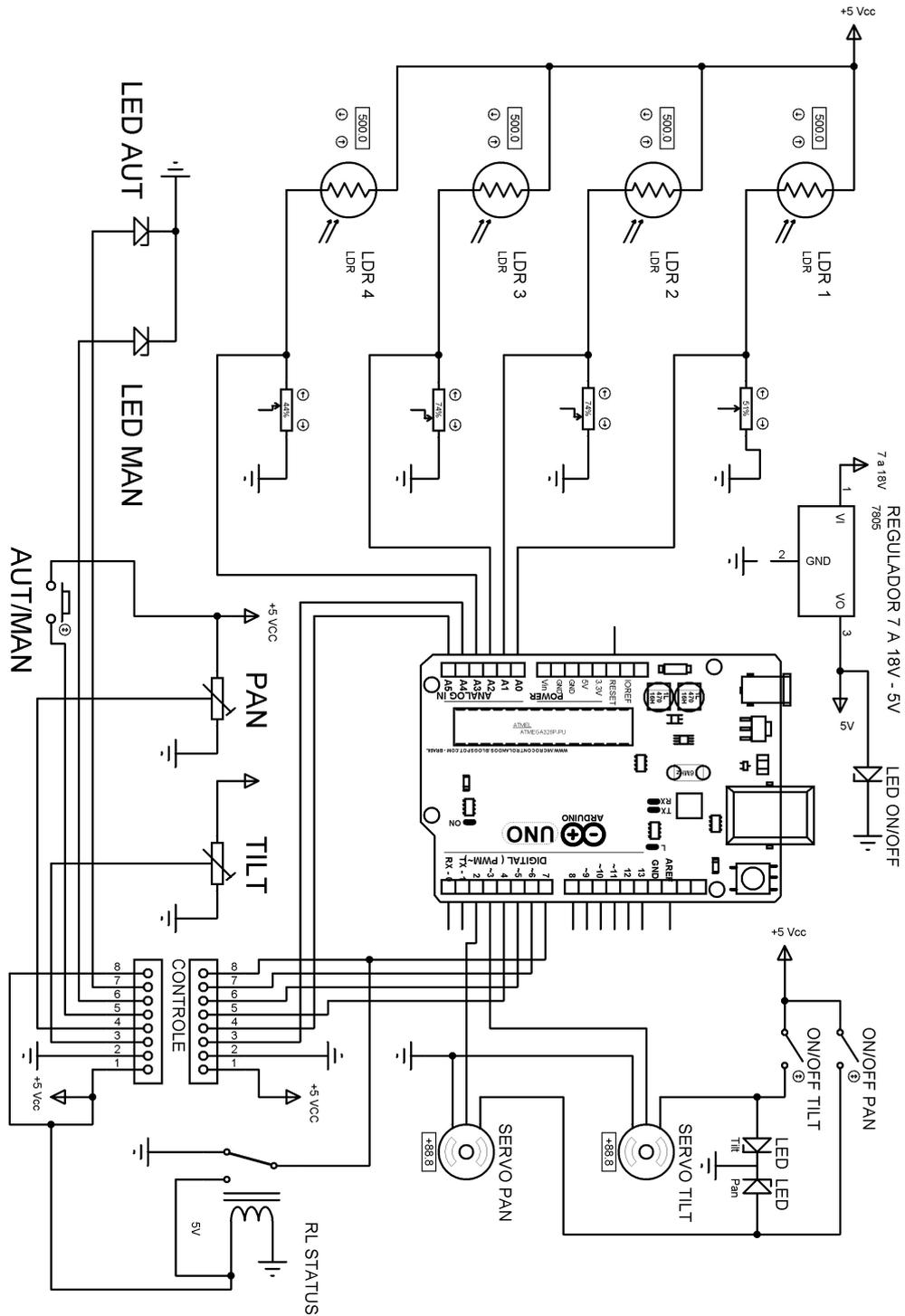


Figura 26 – Esquemático Geral de Ligações Protótipo II

E Código Fonte Protótipo II

```
#include <Servo.h> //Biblioteca de operação de servos
```

```
//-----Variáveis Servos Motores-----
```

```
Servo horizontal; // Objeto do servo pan
```

```
int servoh = 90;
```

```
//
```

```
Servo vertical; // objeto do servo tilt
```

```
int servov = 90;
```

```
//-----Variáveis dos Sensores LDRs-----
```

```
int ldrld = A0; //LDR down left
```

```
int ldrlt = A1; //LDR top left
```

```
int ldr rt = A2; //LDR top right
```

```
int ldrrd = A3; //LDR down right
```

```
//-----Variáveis do Controle-----
```

```
int potpan = A4; // Potenciômetro do controle (pan)
```

```
int pottilt = A5; // Potenciômetro do controle (tilt)
```

```
int pushbot = 4; //Botão aut/man
```

```
int ledman = 5; //Led Manual
```

```
int ledaut = 6; //Led autônomo
```

```
int stat = 7; //Status do Controle
```

```
int count = 0; //contador do botão aut/man
```

```
boolean aut = true;
```

```
//-----Void Setup-----
```

```
void setup(){
```

```
pinMode(pushbot, INPUT); //Modo dos pinos digitais
```

```
pinMode(ledaut, OUTPUT);
pinMode(ledman, OUTPUT);
pinMode(stat, INPUT);

vertical.attach(3); // Conexões dos servos
horizontal.attach(2); //name.attacht(pin);

Serial.begin(9600);
}

//-----Void Loop-----

void loop(){

//DEBUG ----- Monitor Serial
// Serial.print("\n\nstat: \t");
// Serial.println(digitalRead(stat));
// Serial.print("pushbot: \t");
// Serial.println(digitalRead(pushbot));
// Serial.print("aut: \t");
// Serial.println(aut);
// Serial.print("count: \t");
// Serial.println(count);
// -----

if(digitalRead(stat)){ //Condição de acoplamento do controle
  if(digitalRead(pushbot)){ //Condição de pressionamento do botão
    if(++count == 5){
      aut = aut ? false : true;
      count = 0;
    }
  }
}
else
  aut = true;

if(aut){
  digitalWrite(ledaut, HIGH); //Chama a função autônoma
  digitalWrite(ledman, LOW);
```

```
    autonomo();
}
else {
    digitalWrite(ledaut, LOW);    //Chama a função manual
    digitalWrite(ledman, HIGH);
    manual();
}

delay (30);
}

//-----Função Autônoma pelos LDRs-----
void autonomo()
{

    int lt = analogRead(ldr1t); // Leitura top left
    int rt = analogRead(ldr1r); // Leitura top right
    int ld = analogRead(ldr2l); // Leitura down left
    int rd = analogRead(ldr2r); // Leitura down right

    int tol = 5; // Tolerância

    //Valores Absolutos:

    int avt = (lt + rt) / 2; // Valor top
    int avd = (ld + rd) / 2; // Valor down
    int avl = (lt + ld) / 2; // Valor left
    int avr = (rt + rd) / 2; // Valor right

    //Diferença entre os setores opostos do sensor

    int dvert = avt - avd; // Diferença entre a parte superior e inferior
    int dhoriz = avl - avr; // Diferença entre a esquerda e a direita

    //-----Operação do servo vertical (Tilt)-----

    if (-1*tol > dvert || dvert > tol) // verifica se a diferença esta na tolerancia
    {
```

```

    if (avt > avd){ servov = --servov; if (servov < 80){ servov = 80;}} //Avança o servo

    else if (avt < avd){ servov= ++servov; if (servov > 170){ servov = 170;}} //Avança o

vertical.write(servov);

}

//-----Operação do servo horizontal (Pan) -----

if (-1*tol > dhoriz || dhoriz > tol) // verifica se a diferença esta na tolerancia
{
    if (avl > avr){ servoh = --servoh; if (servoh < 1){ servoh = 1;}} //Avança o servo

    else if (avl < avr){ servoh = ++servoh; if (servoh > 179){ servoh = 179;}} //Avança

    else if (avl == avr){ } // Repousa o sistema.

    horizontal.write(servoh);
//delay(15);
}
    delay(20);
}
//-----Função Manual pelos potenciômetros-----

void manual()
{
int  val1 = analogRead(potpan);           // Leitura do potenciômetro (0 a 1000)
    val1 = map(val1, 0, 1000, 0, 179);    // Adaptação do potenciômetro ao servo
    horizontal.write(val1);               // Posiciona o servo
    //delay(15);                           // Garante o tempo de ação do servo

int  val2 = analogRead(pottilt);         // Leitura do potenciômetro (0 a 1000)
    val2 = map(val2, 0, 1023, 80, 170);   // Adaptação do potenciômetro ao servo
    vertical.write(val2);                  // Garante o tempo de ação do servo
    //delay(15);
}

```