

Faculdade de Tecnologia de São Paulo

Tecnologia em Eletrônica Industrial

Henrique Tadeu Cardoso de Barros

Isaac Vasconcelos Garcia da Silva

Luã Soares de Moura

**Sistema de movimentação de uma placa solar destinado a
aumentar a incidência solar e coordenar a energia gerada**

São Paulo

2017

Faculdade de Tecnologia de São Paulo

Tecnologia em Eletrônica Industrial

Henrique Tadeu Cardoso de Barros

Isaac Vasconcelos Garcia da Silva

Luã Soares de Moura

**Sistema de movimentação de uma placa solar destinado a
aumentar a incidência solar e coordenar a energia gerada**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado a Faculdade de
Tecnologia de São Paulo.

Curso de Tecnologia em Eletrônica
Industrial

Orientador: Prof. Me. Mauricio Deffert

São Paulo

2017

AUTORIZAMOS A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE
ESTUDO E PESQUISA DESDE QUE CITADA A FONTE.

Barros, Henrique Tadeu Cardoso de
Moura, Luã Soares de
Silva, Isaac Vasconcelos Garcia da

Sistema de movimentação de uma placa solar destinado a
aumentar a incidência solar e coordenar a energia gerada/
Henrique Tadeu Cardoso de Barros; Isaac Vasconcelos Garcia da
Silva; Luã Soares de Moura; orientador Mauricio Deffert. São
Paulo, 2017

Monografia (Graduação em Tecnologia em Eletrônica
Industrial) – Faculdade de tecnologia de São Paulo, 2016

1. Energia Solar. 2. Sistema Fotovoltaico. 3. Movimentação
placa solar. 4. Autonomia em placas solares.
I. Título

Folha de Aprovação

Nomes: Henrique Tadeu Cardoso de Barros, Isaac Vasconcelos Garcia da Silva e Luã Soares de Moura

Título: “Sistema de movimentação de uma placa solar destinado a aumentar a incidência solar e coordenar a energia gerada”

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado
em ____/____/____, pela Comissão Julgadora:

Prof. Me. Maurício Antônio Deffert

Orientador

Prof. Dr. Paulo Jorge Brazão Marcos

Prof. Dr. Leonardo Frois Hernandez

Agradecimentos

Palavras não são suficientes para expressar a gratidão que nós temos por todos aqueles que nos ajudaram, direta e indiretamente, na realização desse projeto.

Porém, para não deixar de mencionar alguns, não desmerecendo aqueles que não foram citados, ficará aqui os nossos mais sinceros agradecimentos.

Antes, um especial agradecimento a cada participante deste grupo que, por sua constância e força de vontade, não deixou de dedicar um bom tempo desse último ano de graduação para a elaboração desse projeto tendo, em diversas vezes, que conciliar as provas finais com o trabalho de conclusão do curso.

Um agradecimento especial também ao nosso orientador, professor Maurício Deffert, que desde o começo nos acompanhou, motivou e ajudou com a ideia desse projeto. E também a todos os professores que sempre tiveram paciência para tirar as nossas dúvidas.

E um último agradecimento também à empresa Aureon, indústria e comércio de equipamentos eletrônicos, que nos doou e emprestou alguns componentes eletrônicos que foram essenciais para esse trabalho.

Sem a ajuda e colaboração de cada um, teríamos muito mais dificuldades para elaborar todo o projeto.

Resumo

Tendo em vista a elevada demanda de energia elétrica no planeta e levando-se em conta as formas convencionais de geração de energia elétrica que não se enquadram no conceito de desenvolvimento sustentável, a busca por fontes de energias alternativas se mostra cada vez mais necessária para superar futuros esgotamentos de recursos energéticos. Uma destas fontes alternativas é a energia solar.

Sendo assim, tomou-se como base nesse trabalho que a eficiência energética é uma estratégia para promover a obtenção de energia por meio de fontes limpas e renováveis, pois a mesma reduz a demanda de eletricidade sem diminuir os bens e serviços fornecidos.

Com isso, o objetivo deste trabalho é desenvolver um sistema móvel para a placa solar à fim de obter-se o melhor ângulo para ter a maior incidência da radiação solar. Paralelamente, este sistema irá monitorar a carga de um banco de baterias, estipulando a carga efetiva, que contribuirá para garantir uma autonomia do projeto. Uma interface homem-máquina, através de um *LCD*, será utilizada para gerenciar a autonomia do sistema, dando prioridade para áreas preestabelecidas pelo usuário.

Baseado nos dados coletados e nos resultados levantados, o sistema móvel da placa solar comparado ao sistema fixo mostrou-se mais eficiente. Desta forma, a energia gerada pela placa pode ser armazenada na bateria e assim distribuída para todo o sistema. Este, por sua vez e por definição prévia do usuário, gerenciou a energia gerada para as respectivas cargas.

Palavras-chaves: energia solar, rastreamento solar, placa solar, sistemas fotovoltaicos, autonomia do sistema.

Abstract

Due to the high demand of energy in our planet and considering the conventional kind of electricity generation that do not fit the inside idea of Sustainable development. The search to energy sources is need to overcome the end of natural resources in the future, one of those alternatives is solar energy.

So, the focus in this job is the energy efficiency is one way to obtain energy by means of cleans sources and renewable, because the final efficiency reduces the demand of electricity without decrease Goods and services provided.

The goal of this job is to develop a mobile system to the solar plate in order to obtain the best angle to have the better radiation solar incident and increase its efficiency. In the same time, this system will monitor the charge Battery bank, Stipulating the effective load, that will ensure autonomy to the Project. Other system along with a man-machine interface, through an *LCD*, will be used to manage the autonomy of the system, giving priority to areas pre-established by the user.

Based on data collected and results obtained, the mobile system of solar plate is more efficient than system fixed. in this way, the energy generated of solar plate can be stored in battery and distributed for all system, by definition the user maneged the energy crated for the respective loads.

Keyword: solar energy, solar tracking, solar plate, Photovoltaic systems, Autonomy of the system

Lista de Figuras

Figura 1. Representação das estações do ano e do movimento da Terra em torno do Sol. Fonte: MAGNOLI, D. (1998).....	3
Figura 2. Ilustração de um sistema residencial de geração fotovoltaico de energia elétrica. Fonte: CRESESB, 2000.....	5
Figura 3. Sistema fotovoltaico de bombeamento de água para irrigação. Fonte: CRESESB, 2000.....	6
Figura 4. Matriz energética do Brasil em 2015. Fonte: Balanço Energético Nacional, 2015.....	6
Figura 5. Média anual de insolação diária no Brasil. Fonte: Balanço Energético Nacional 2016.	7
Figura 6. Ângulos da radiação solar associadas à translação do planeta Terra. Fonte: Pereira, 2012.	9
Figura 7. Variação da altura solar ao longo do ano. Fonte: Pereira, 2012.	10
Figura 8. Resposta espectral da fotocondutividade. Fonte: ResistorGuide.....	11
Figura 9. Elementos componentes de servo-motores. Fonte: Blog FilipeFlop.	12
Figura 10. Constituição de uma bateria Chumbo-Ácida Selada Regulada por Válvula. Fonte: Manual Técnico Unipower.....	14
Figura 11. Curvas e índices de descarga de uma bateria Chumbo-Ácida. Fonte: Manual Técnico Unipower.....	15
Figura 12. Variação da vida útil relativa relacionada a temperatura ambiente. Fonte: Manual Técnico Unipower.....	17
Figura 13. Circuito para controle de carga da bateria. Fonte: dos autores.	18
Figura 14. Circuito com resistor shunt utilizado para descarga da bateria. Fonte: dos autores.....	19
Figura 15. Amplificador e Conversor. Fonte: dos autores.....	20
Figura 16. Circuito identificador de rede. Fonte: dos autores.	20
Figura 17. Circuito com relês e amp op para descarga. Fonte: dos autores.....	21
Figura 18. Conectores de carga/descarga da bateria. Fonte: dos autores.	21
Figura 19. Conectores do LDR posição. Fonte: dos autores.	22
Figura 20. Conector do LDR dia/noite. Fonte: dos autores.....	22
Figura 21. Diagramação das conexões elementares do PIC16F877A. Fonte: dos autores.....	23

Figura 22. Circuito para etapa de regulagem da tensão. Fonte: dos autores.	24
Figura 23. Capacitores de acoplamento e conectores. Fonte: dos autores.	24
Figura 24. Diagramação dos conectores e LCD. Fonte: dos autores.	25
Figura 25. Circuito de botões pull-up. Fonte: dos autores.	26
Figura 26. Fluxograma Menu Main. Fonte: dos autores.	27
Figura 27. Fluxograma Ajuste Corrente. Fonte: dos autores.	28
Figura 28. Fluxograma Capacidade Carga. Fonte: dos autores.	29
Figura 29. Fluxograma Seleção Tempo. Fonte: dos autores.	30
Figura 30. Fluxograma Amostragem Display. Fonte: dos autores.	31
Figura 31. Fluxograma Emergência 01/03. Fonte: dos autores.	32
Figura 32. Fluxograma Emergência 02/03. Fonte: dos autores.	33
Figura 33. Fluxograma Emergência 03/03. Fonte: dos autores.	34
Figura 34. Fluxograma Autonomia Inteligente. Fonte: dos autores.	35
Figura 35. Fluxograma Posicionamento. Fonte: dos autores.	36
Figura 36. Capacidade da bateria enquanto é carregada. Fonte: dos autores.	38
Figura 37. Primeira tela do menu, seleção de L1. Fonte: dos autores.	38
Figura 38. Segunda tela do menu, seleção de L2. Fonte: dos autores.	38
Figura 39. Novos valores de L1, L2 e L3. Fonte: dos autores.	39
Figura 40. Mensagem de erro. Fonte: dos autores.	39
Figura 41. Tempo destinado às cargas L1, L2 e L3. Fonte: dos autores.	39
Figura 42. Menu durante a autonomia. Fonte: dos autores.	40
Figura 43. Configuração diferencial. Fonte: dos autores.	41
Figura 44. Sensor de corrente Obtido por meio de um amplificador diferenciador. Fonte: dos autores.	42
Figura 45. MC33063 Configuração boost. Fonte: dos autores.	43
Figura 46. Determinação da frequência de oscilação, ton e toff por meio de Ct. Fonte: Datasheet MC33063	43
Figura 47. Capacidade remanescente e tensão em circuito aberto. Fonte: Manual Técnico Unipower.	45
Figura 48. Comparação dos dados obtidos dia 25 de junho. Fonte: dos autores.	48
Figura 49. Comparação dos dados obtidos dia 09 de julho. Fonte: dos autores.	49
Figura 50. Comparação dos dados obtidos dia 27 de julho. Fonte: dos autores.	49
Figura 51. Potência média diária comparando a placa fixa e móvel. Fonte: dos autores	50

Lista de Tabelas

Tabela 1. Tensão de corte relacionada ao índice de descarga. Fonte: Manual Técnico Unipower.....	16
Tabela 2. Dados fornecidos pelo distribuidor da placa solar. Fonte: dos autores	40
Tabela 3. Relação Tensão x Bit. Fonte: dos autores	45
Tabela 4. Dados coletados dia 25 de junho. Fonte: dos autores.	47
Tabela 5. Dados coletados dia 09 de julho. Fonte: dos autores.	47
Tabela 6. Dados coletados dia 27 de julho. Fonte: dos autores.	48
Tabela 7. Tabela de orçamento do projeto. Fonte: dos autores	51

Sumário

1.	Introdução.....	1
1.1	Introdução.....	1
1.2	Objetivos.....	1
1.2.1	Objetivos gerais.....	1
1.2.2	Objetivos específicos.....	2
2.	Revisão Bibliográfica.....	3
2.1	Energia Solar.....	3
2.2	Efeito fotovoltaico.....	4
2.3	Potencial solar no Brasil.....	6
2.4	Aspectos ambientais.....	8
2.4.1	Impactos sobre o meio físico.....	8
2.4.2	Impactos sobre o meio biótico.....	8
2.4.3	Impactos sobre o meio socioeconômico.....	9
2.5	Posicionamento solar.....	9
3.	Procedimento experimental.....	11
3.1	Sensores.....	11
3.2	Motor.....	12
3.3	Bateria.....	13
3.3.1	Composição Físico-Química.....	13
3.3.2	Capacidade.....	14
3.3.3	Carga da bateria.....	15
3.3.4	Descarga.....	16
3.3.5	Vida útil.....	16
4.	Descritivo funcional.....	18
4.1	Hardware.....	18
4.2	Software.....	26

4.3	Descritivo geral	37
4.4	Placa Solar.....	40
5.	Cálculos	41
5.1	Amplificador de diferenças	41
5.2	CI MC 33063.....	42
5.3	Determinação da capacidade no instante inicial.....	44
6.	Resultados	46
6.1	Orçamento	50
7.	Conclusão.....	52
8.	Projetos futuros.....	53
	REFERÊNCIAS	54
	Anexo – Programação em C.....	56

1. Introdução

1.1 Introdução

O crescimento contínuo da população e o aumento da demanda energética mundial, tendo em vista a escassez e finitude de combustíveis fósseis e a poluição gerada por sua queima, faz com que a sociedade, especialmente a comunidade científica, coloque em questão o atual modelo energético e busque desenvolver novas fontes alternativas de energia menos poluentes, renováveis e que produzam pouco impacto ambiental.

Segundo Salomani (2004), o aumento do consumo de energia elétrica, decorrente do progresso tecnológico e do avanço no desenvolvimento humano, torna-se um dos motivos para as alterações climáticas e ambientais observadas nos últimos anos.

Dentro desse contexto, uma das fontes renováveis mais promissoras de geração de energia é a energia solar, inesgotável na escala terrestre de tempo.

A energia solar traz muitos benefícios, principalmente a longo prazo, com a sua utilização. Proporciona o desenvolvimento de regiões remotas onde o custo da energia elétrica fornecida pela rede convencional é demasiadamente alta com relação ao retorno financeiro do investimento, regula a oferta de energia em períodos de estiagem, diminui a emissão de gases poluentes na atmosfera e a degradação da fauna e flora advindos de métodos de geração rudimentares.

Entre suas várias aplicações, tem-se como objetivo o estudo da conversão direta da energia solar em energia elétrica decorrido pelos efeitos de radiação (calor e luz) sobre uma célula solar, buscando o melhor ângulo de incidência solar.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos gerais

O presente trabalho tem por objetivo alcançar o melhor aproveitamento energético em uma célula solar através de sua movimentação buscando, continuamente, a melhor incidência de radiação solar e aumentando, dessa forma, a energia gerada durante o dia. A energia elétrica será armazenada em um banco de baterias onde haverá um sistema destinado a gerenciar a forma mais adequada de carga, com o intuito de trazer grande longevidade à bateria, mensurar e informar a

carga útil obtida no dia em questão e fornecer energia durante a noite às cargas (luminárias LED) respeitando uma prévia orientação de quais cargas serão prioritárias.

1.2.2 Objetivos específicos

- Ser uma estrutura móvel para acompanhar o movimento de rotação e translação da Terra em volta do Sol, buscando sempre o melhor posicionamento;
- Ter sensores posicionados da melhor maneira possível a fim de captar precisamente a radiação solar;
- Controlar precisamente os dados obtidos pelos sensores através de um microcontrolador a fim de movimentar corretamente a placa;
- Ter baixo consumo energético para haver melhor aproveitamento da energia gerada;
- Controlar a energia gerada para não haver desperdícios ou perdas no sistema;
- Carregar um banco de baterias a fim de armazenar a energia elétrica gerada;
- Monitorar a carga do banco de baterias garantindo que a mesma seja feita de forma a prolongar a vida útil destas;
- Criar uma interface homem-máquina através de um LCD (display de cristal líquido) que informe ao operador parâmetros do sistema;
- Ser um sistema autossuficiente, não necessitando de fonte de energia externa.

2. Revisão Bibliográfica

2.1 Energia Solar

Cada vez é mais perceptível o elevado crescimento e incentivo pelo uso de energias renováveis devido ao futuro esgotamento dos combustíveis fósseis. Com isso, nota-se que diariamente muita energia chega ao nosso planeta de forma limpa e gratuita através dos raios solares. Esses, por sua vez, podem ser aproveitados para a geração de energia, tanto na forma de calor quanto na de eletricidade, porém o uso da energia solar é pouco satisfatório no Brasil, considerando que este é um dos países com maior quantidade de insolação solar durante o ano (ALDABÓ, 2002).

De acordo com Blue Sol Energia (2011), a luz solar é constituída de pequenas partículas denominadas fótons. Parte desses fótons são absorvidos pela célula fotovoltaica quando atingem sua superfície. A célula fotovoltaica, ou um arranjo de células denominado painel solar, converte esses fótons em eletricidade.

Esta célula é constituída principalmente de materiais semicondutores, sendo o silício o mais utilizado. Por ser o segundo elemento mais abundante da face da terra, não há limites com relação à matéria prima (ALDABÓ, 2002). Esses fótons excitam os elétrons contidos no material semicondutor gerando uma diferença de potencial entre os terminais da célula e, assim, energia elétrica.

A quantidade de radiação solar na Terra está relacionada ao seu movimento de rotação sobre o próprio eixo e o movimento de translação ao redor do Sol, conforme ilustrado na Figura 1. A radiação solar que chega na superfície terrestre depende da latitude local e da posição no tempo (hora do dia e dia do ano), e também das condições climáticas e atmosféricas.



Figura 1. Representação das estações do ano e do movimento da Terra em torno do Sol. Fonte: MAGNOLI, D. (1998)

Somente parte da radiação solar atinge a superfície terrestre, devido à reflexão e absorção dos raios solares pela atmosfera. Mesmo assim, estima-se que a energia solar incidente sobre a superfície terrestre seja da ordem de 10 mil vezes o consumo energético mundial (CRESESB, 2000).

De acordo com Aldabó (2002), pode-se fazer algumas observações a respeito da energia solar:

- A energia solar incidente sobre a Terra a cada dia é equivalente a toda energia consumida no mundo por 27 anos;
- A quantidade de radiação solar incidente sobre a Terra a cada período de três dias é equivalente à energia armazenada em todas as fontes conhecidas de energia fóssil (petróleo, carvão, gás natural);
- Em condições de céu claro e ausência de nuvens, a radiação máxima observada ao meio-dia num local situado ao nível do mar é de $1kW/m^2$.

O processo de conversão dessa energia solar em energia elétrica tem o nome de efeito fotovoltaico.

2.2 Efeito fotovoltaico

O efeito fotovoltaico é um termo formado a partir de duas palavras: *foto*, que vem do grego para luz, e *voltaica*, que vem da palavra volt da unidade no SI para tensão elétrica.

Este efeito foi descoberto pelo físico Edmund Becquerel, em 1839, e teve sua primeira aplicação prática realizada pelo Bell Laboratories só no início da década de 1950 (ALDABÓ, 2002). Devido à busca por fontes de energia para equipamentos em locais remotos e ao avanço da Guerra Fria para a indústria espacial outras empresas investiram na implementação do efeito fotovoltaico (BRAGA, 2008).

Como já discutido antes, a radiação solar pode ser convertida diretamente para energia elétrica devido aos efeitos causados em materiais semicondutores quando expostos à radiação. Este efeito decorre da excitação dos elétrons destes materiais na presença dos fótons que implica no aparecimento de uma diferença de potencial nos terminais da célula.

A eficiência de uma célula solar é medida pela quantidade de radiação que ela recebe sobre a quantidade de energia elétrica que é convertida. Mede-se, também,

pela relação de incidência solar pela área da placa. Atualmente, grande parte das células solares possuem uma eficiência de 15% (BRAGA, 2008).

Um sistema fotovoltaico pode ser considerado como “sistema isolado” (*off-grid*) ou “sistema conectado à rede” (*on-grid*). Neste estudo trabalharemos baseados no sistema isolado (Figura 2 e 3).

O sistema isolado (*off-grid*) é caracterizado por sua utilização em locais remotos ou isolados, onde não é possível a conexão à rede elétrica.

Pequenos projetos de sistemas fotovoltaicos desenvolveram-se no Brasil principalmente para geração de energia em comunidade rurais no Norte e Nordeste. Esses projetos são criados geralmente para quatro tipos de sistemas:

- Bombeamento de água, abastecimento doméstico, irrigação e piscicultura (Figura 3);
- Iluminação pública;
- Sistemas de uso coletivo, tais como eletrificação de escolas, postos de saúde e centros comunitários;
- Atendimento domiciliar;

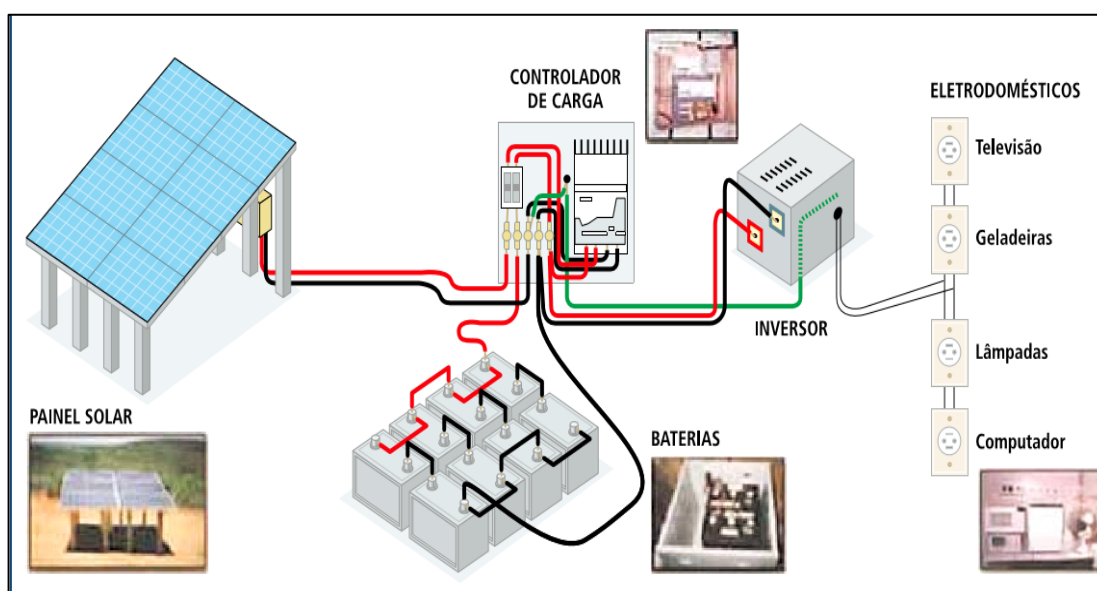


Figura 2. Ilustração de um sistema residencial de geração fotovoltaica de energia elétrica. Fonte: CRESESB, 2000



Figura 3. Sistema fotovoltaico de bombeamento de água para irrigação. Fonte: CRESESB, 2000.

2.3 Potencial solar no Brasil

A matriz elétrica brasileira, representada pela Figura 4, e extraída do relatório Balanço Energético Nacional (2015) da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), demonstra forte engajamento do país com fontes renováveis de energia, com mais de 60% de energia do Brasil proveniente de hidroelétricas. Porém, é indiscutivelmente notável a baixíssima inexpressividade da energia solar fotovoltaica, atingindo apenas 0,01%.

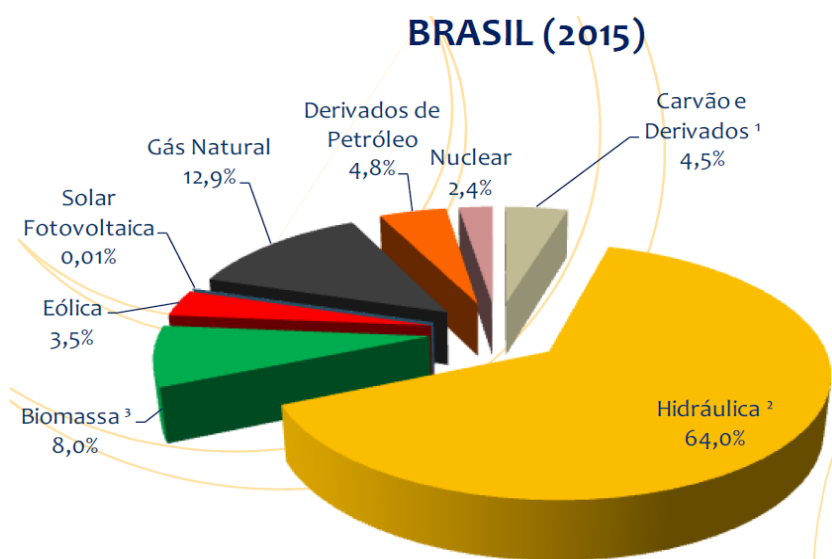


Figura 4. Matriz energética do Brasil em 2015. Fonte: Balanço Energético Nacional, 2015.

O Brasil possui um ótimo índice de radiação solar, principalmente o Nordeste. Na região do semiárido estão os melhores índices, variando entre $1752kWh/m^2$ a $2190kWh/m^2$ por ano (Braga, 2008). Para comparação, segundo Aldabó (2002), a França recebe uma radiação solar entre $1000kWh/m^2$ e $1500kWh/m^2$ por ano. O deserto do Saara recebe em torno de $2600kWh/m^2$ por ano.

Na Figura 5, a maior parte do território brasileiro está localizada relativamente próximo da linha do Equador, de forma que não se observam grandes variações na duração da luz solar do dia.

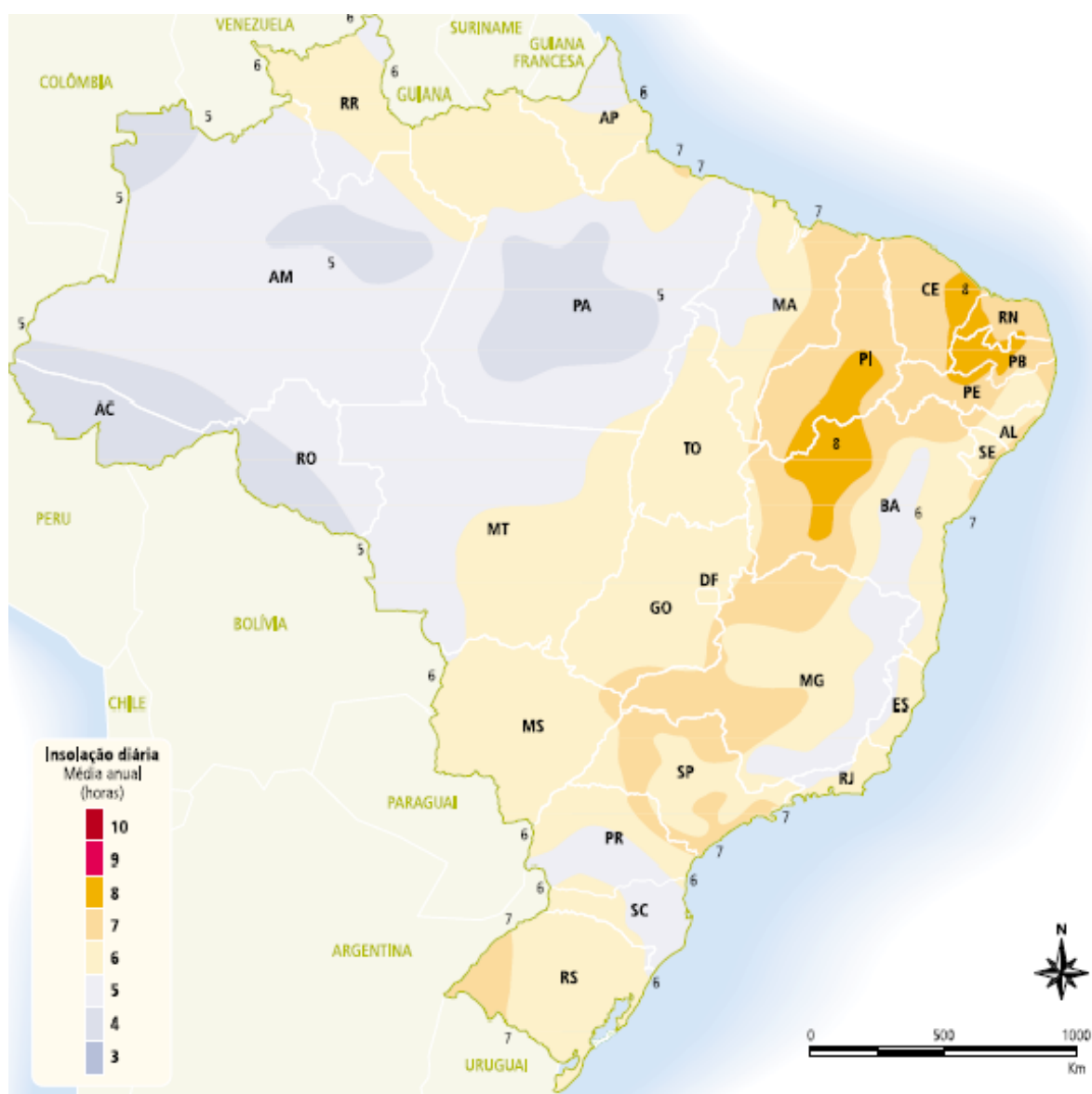


Figura 5. Média anual de insolação diária no Brasil. Fonte: Balanço Energético Nacional 2016.

Com isso, para maximizar o aproveitamento da radiação solar, este projeto tem o intuito de movimentar a placa solar de acordo com o movimento da Terra em relação ao seu eixo longitudinal e em volta do Sol.

2.4 Aspectos ambientais

Pensando em uma implantação de grande escala, como por exemplo uma usina, qualquer sistema que busque a geração de energia causa um impacto ambiental e, a geração de energia solar, também pode causar impactos no ambiente principalmente na implantação e operação dos sistemas fotovoltaicos. Os impactos causados pela geração de energia solar estão relacionados à localização do sistema, características físico-climáticas e as características dos ecossistemas locais. Porém, os impactos negativos são muito reduzidos se comparados aos benefícios e impactos positivos da geração de energia solar. Pode-se fazer um estudo dos impactos ambientais de três modos:

- Impactos sobre o meio físico;
- Impactos sobre o meio biótico;
- Impactos sobre o meio socioeconômico;

2.4.1 Impactos sobre o meio físico

Segundo Filho (2015), o ambiente físico sofre severas modificações com a instalação de uma usina solar fotovoltaica. Geralmente, ocorre modificação da paisagem e bastante movimentação de maquinário. A geração de resíduos sólidos causada pelas ações humanas pode ser uma fonte de contaminação. Há também o manuseio de produtos químicos como óleos e graxas e materiais de limpeza e um risco de potencial contaminação do solo por vazamento ou acondicionamento inadequado e ineficiente desses materiais.

2.4.2 Impactos sobre o meio biótico

O meio biótico também sofre com a instalação de uma usina solar fotovoltaica modificando o ciclo da fauna e da flora local durante a construção e permanência da usina. A perda da cobertura vegetal é um dos impactos no ambiente a ser considerado; a chuva e vento sobre o solo destampado pode aumentar o processo de assoreamento. Pode ocorrer ainda a destruição de alguns locais de abrigo natural para a fauna local e até a eliminação de grupos inteiros da microfauna, devido tanto à

remoção da vegetação quanto pelo revolvimento das camadas mais superficiais do solo (FILHO, 2015).

2.4.3 Impactos sobre o meio socioeconômico

Geração de emprego e renda neste tipo de empreendimento é importante e a busca por contratação de mão-de-obra local ou regional possibilita melhorias na qualidade de vida das comunidades próximas e em populações da região. Há também o crescimento da economia local e aumento da arrecadação tributária.

O volume de trabalhadores empregados no empreendimento tende a movimentar as operações comerciais locais e regionais, justamente pelo aumento da renda e do poder de compra dos grupos familiares, gerando certo dinamismo no mercado local, devido à maior circulação de moeda. Há ainda uma série de operações comerciais derivadas das necessidades do próprio empreendimento. Com o crescimento do comércio, espera-se aumento de arrecadação tributária. Porém, há um aumento dos riscos de acidente de trabalho. Estes riscos se acentuam com o uso de máquinas pesadas, ferramentas de corte e o aumento do fluxo de veículos. (Filho, 2015)

2.5 Posicionamento solar

Os movimentos que o planeta Terra descreve ao redor do Sol podem ser traduzidos em dois eixos de movimentação do Sol, um conceito falso ao se tratar do sistema Solar, já que o planeta Terra que se movimenta ao redor do Sol. Conforme Trevellin (2014), o movimento de rotação da Terra é observado como o movimento do Sol no eixo leste-oeste, caracterizado pelo ângulo azimutal (Ψ_s), visto na Figura 6.

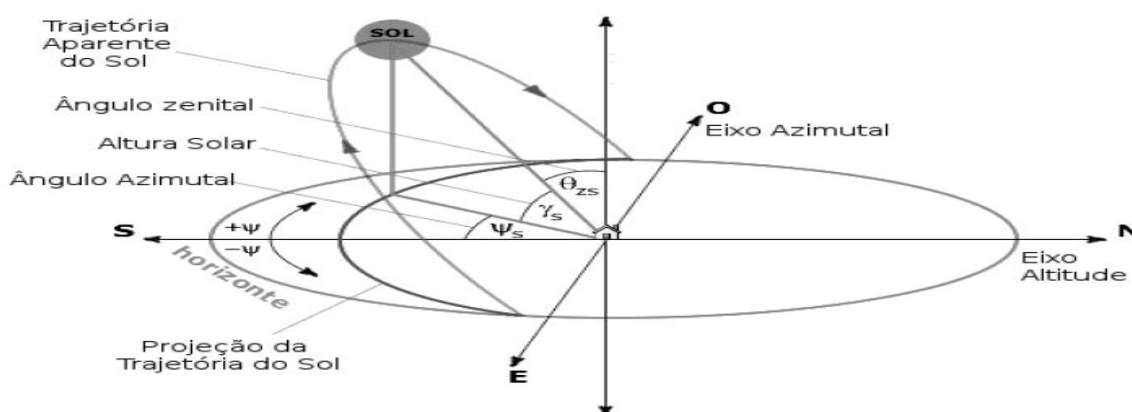


Figura 6. Ângulos da radiação solar associadas à translação do planeta Terra. Fonte: Pereira, 2012.

Já o movimento de translação da Terra ao redor do Sol, é adotado como a movimentação Solar no eixo norte-sul, conforme o ângulo de altitude (γ_s). Para melhor compreensão, podemos considerar também essa movimentação solar a partir das estações do ano. O eixo azimuthal (leste-oeste) é observado com as estações primavera – outono. Já o eixo de altitude (norte-sul), são as estações verão – inverno.

Considerando este modelo de “movimentação do Sol”, o período do Sol durante o dia é de aproximadamente 12h durante sua transição de 360° no eixo azimuthal (leste-oeste). Tomando em consideração o efeito do horizonte, essa variação observada cai para 150° no ano. Já no eixo de altitude (norte-sul), o ângulo apresenta apenas uma variação de 46° ao ano entre a posição mais baixa (inverno) e a mais alta (verão), conforme Figura 7 (Pereira, 2012).

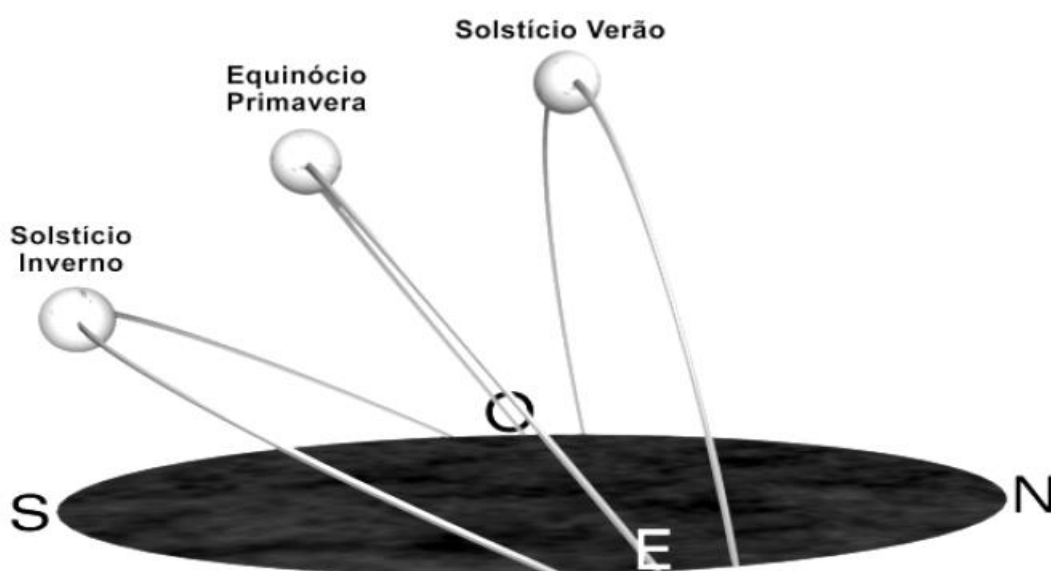


Figura 7. Variação da altura solar ao longo do ano. Fonte: Pereira, 2012.

Essa variação de ângulos causa perdas na conversão de energia de um painel fotovoltaico. O desalinhamento do mesmo com o Sol traz menor incidência do que a possível naquele horário, que se traduz em perdas para o sistema (TREVELIN, 2014). Assim, surge a necessidade de uma movimentação da placa em busca da melhor incidência solar para aumentar a coleta de energia.

3. Procedimento experimental

3.1 Sensores

Também chamado de resistor dependente de luz (*Light Dependent Resistor*), o LDR é um dispositivo não linear que frequentemente é usado para indicar a presença ou ausência de luz ou para mensurar a intensidade de luz. No escuro, sua resistência alcança valores elevados, próximos de $10^6 \Omega$, mas quando o LDR é exposto à luz, sua resistência cai drasticamente chegando em torno de $10^1 \Omega$, dependendo da intensidade de luz (ResistorGuide, 2016). A sensibilidade do LDR varia com o comprimento de onda da luz aplicada. A Figura 8 representa a resposta espectral da fotocondutividade detectada por diferentes materiais (temperatura de operação expressa em Kelvin e escrita entre parênteses). Materiais diferentes tem diferentes curvas espectrais ao analisar o comprimento de onda por sensibilidade. O LDR de material extrínseco é geralmente projetado para responder a comprimentos de onda maiores, tendendo ao infravermelho. Quando o LDR está trabalhando no intervalo de infravermelho, cuidados devem ser tomados para evitar o acúmulo calor, que pode afetar a medição da mudança de resistência do dispositivo devido a efeitos térmicos.

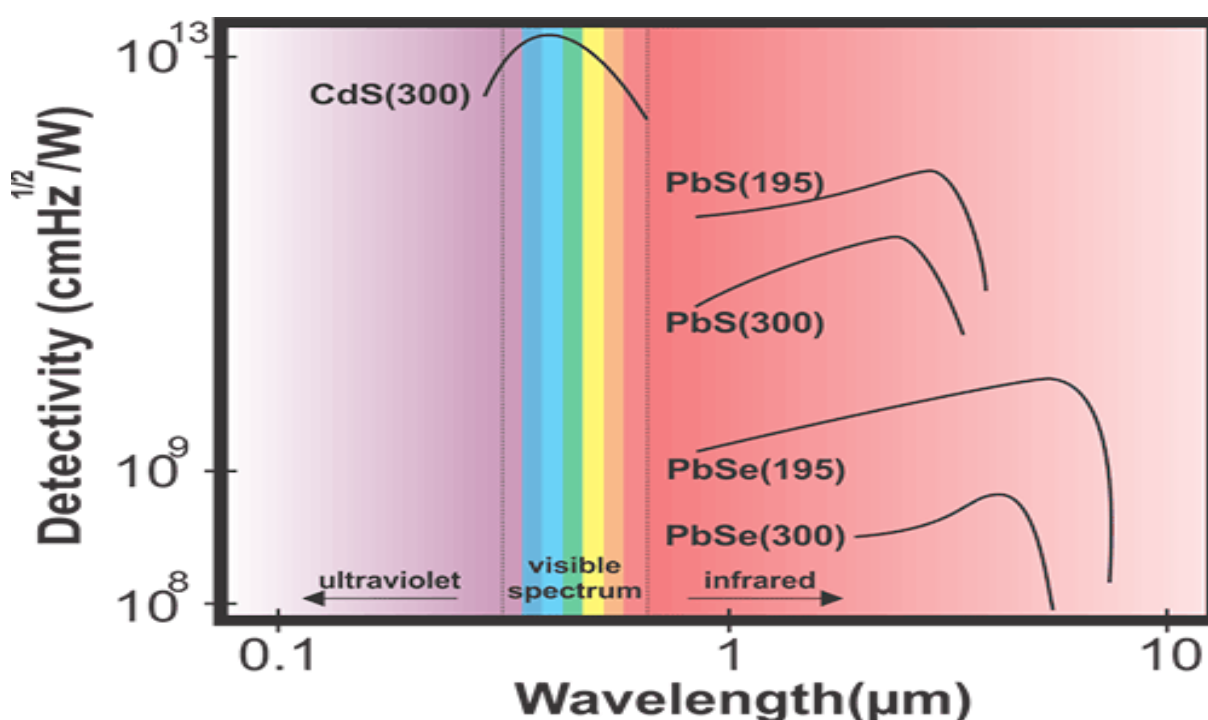


Figura 8. Resposta espectral da fotocondutividade. Fonte: ResistorGuide.

O LDR é usado em muitas aplicações, porém com o passar dos anos tornou-se um pouco obsoleto com a chegada dos *fotodiodos* e *fototransistores*. Alguns países proibiram LDR's feitos de chumbo ou cádmio devido a preocupações de segurança ambiental (RESISTORGUIDE, 2016).

Para que a demonstração do projeto fique mais interessante nos estudos e na apresentação, utilizar-se-á LDR's para a movimentação da placa. Fica aqui exposto que, para uma aplicação com maior precisão em uma situação real da placa solar, utilizar-se-ia um sensor ultravioleta para garantir uma melhor eficiência em dias com pouca incidência de raios solares.

3.2 Motor

O servo motor é um dispositivo eletromecânico retroalimentado, ou seja, através de um sinal com determinada largura de pulso recebido em seu pino de controle é possível determinar a posição que o rotor deste motor estará, isso graças a um resistor variável acoplado ao rotor que fornece uma tensão ao sistema de controle proporcional à posição deste. Assim, se necessário, o sistema efetuará a correção a fim de obter a ação solicitada.

Eles são muito precisos quanto ao seu posicionamento trabalhando dentro de um intervalo de aproximadamente 180°. Outra característica importante é o fato de serem pequenos, porém com um torque elevado. Um exemplo é o MG995 que iremos utilizar e que possui um torque de 8.5 kg.f/cm.

Na Figura 9 podemos ver as partes que compõem um servo motor, são elas:

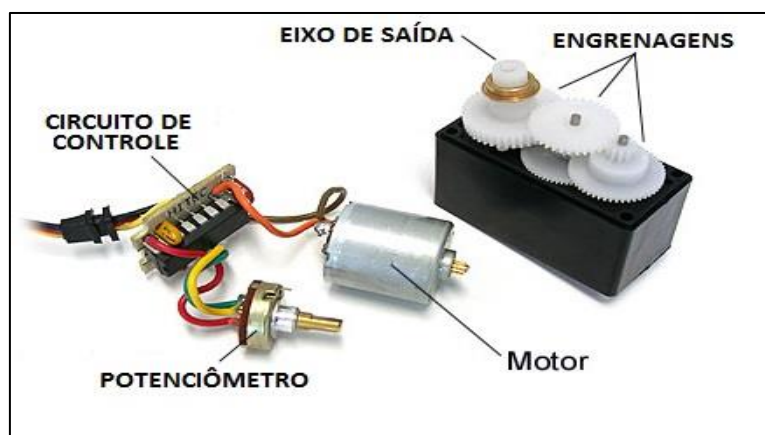


Figura 9. Elementos componentes de servo-motores. Fonte: Blog FilipeFlop.

1. Circuito de Controle: É responsável por receber os sinais, monitorar a posição do potenciômetro e controlar o motor de acordo com o sinal recebido e a posição do potenciômetro.
2. Potenciômetro: É o sensor do servo motor, ou seja, o valor de sua resistência elétrica indica a posição angular em que se encontra o eixo.
3. Motor: Responsável por movimentar as engrenagens e o eixo principal do servo motor.
4. Engrenagens: Utilizadas para transferir mais força ao eixo principal de saída e movimentam o potenciômetro junto com o eixo.

3.3 Bateria

Por optarmos em trabalhar com um sistema *off-grid*, a energia obtida por meio da placa solar é armazenada em um banco de baterias para que possa ser utilizada posteriormente na aplicação desejada. Dentre os inúmeros tipos de bateria disponíveis no mercado, optamos em utilizar uma bateria Chumbo-Ácida Selada Regulada por Válvula, devido à facilidade de obtenção deste modelo, além da melhor relação custo x capacidade encontrada. Por tratar-se de uma bateria recarregável, é de extrema importância salientar que os parâmetros de utilização relacionados à carga, descarga, armazenamento e aplicação devem ser criteriosamente respeitados com intuito de garantir longevidade de um dos principais componentes do sistema. Parâmetros esses que serão descritos a seguir (MANUAL TÉCNICO UNIPOWER).

3.3.1 Composição Físico-Química

As baterias chumbo ácida são compostas por pilhas, denominadas como elementos/células, que são ligadas em série a fim de se obter a tensão desejada nos terminais da bateria onde, cada elemento possui tensão nominal de dois volts, formando, assim, um monobloco conforme observado na Figura 10.

1. Tampa
2. Vaso
3. Terminal
4. Válvulas de Segurança
5. Placa Negativa
6. Separador
7. Placa Positiva



Figura 10. Constituição de uma bateria Chumbo-Ácida Selada Regulada por Válvula.
Fonte: Manual Técnico Unipower.

Cada elemento é composto por duas placas de chumbo-cálcio, que representam os pólos desta pilha, imersas em uma solução ácida. As reações relacionadas ao ânodo (placa negativa) e ao cátodo (placa positiva) são reversíveis, sugerindo que a reação química responsável por liberar elétrons durante a descarga é revertida no processo de carga armazenando-os durante o ciclo de carga ou descarga da bateria há geração de gases advindos das reações químicas presentes nesses processos, por maior que seja a eficiência da recombinação dos mesmos nessas situações. Como este modelo de bateria não permite a reposição da solução ácida, ou seja, não existe um duto que conecte o meio externo às placas, a solução para expelir esses gases são válvulas de segurança que se abrem e fecham automaticamente de acordo com a pressão exercida sobre elas (MANUAL TÉCNICO UNIPOWER).

Para proteger mecanicamente e garantir uma vedação hermética entre a composição química da bateria e o meio externo são utilizados o vaso e a tampa.

3.3.2 Capacidade

A capacidade de armazenamento de energia de uma bateria é medida através da multiplicação da corrente de descarga pelo tempo de autonomia, sendo dado em Ampére-hora (Ah) (MANUAL TÉCNICO UNIPOWER).

Sendo assim, em alguns casos, é possível considerar uma relação linear entre a corrente de consumo e a capacidade a fim de se determinar o valor aproximado da autonomia esperada nessas condições. Ex.: se uma bateria de 50Ah é submetida a uma corrente de descarga de 2,5A a autonomia esperada será de 20 horas. Mas esta consideração deve ser utilizada com cautela, pois quão maior for a corrente de descarga, considerando uma mesma capacidade, a autonomia decresce de forma exponencial (MANUAL TÉCNICO UNIPOWER).

A Figura 11 representa as curvas e os índices de descarga de uma bateria Chumbo-Ácida. Os dados foram obtidos à temperatura ambiente (25°C) onde “C” representa a capacidade nominal da bateria e o número que se encontra ao lado deste é o índice de descarga que representa a relação entre corrente de descarga e a capacidade nominal. Ex.: se a capacidade nominal de uma bateria é 10Ah, e sua descarga equivale a 0,4C, então a efetiva corrente de descarga equivale a 4A.

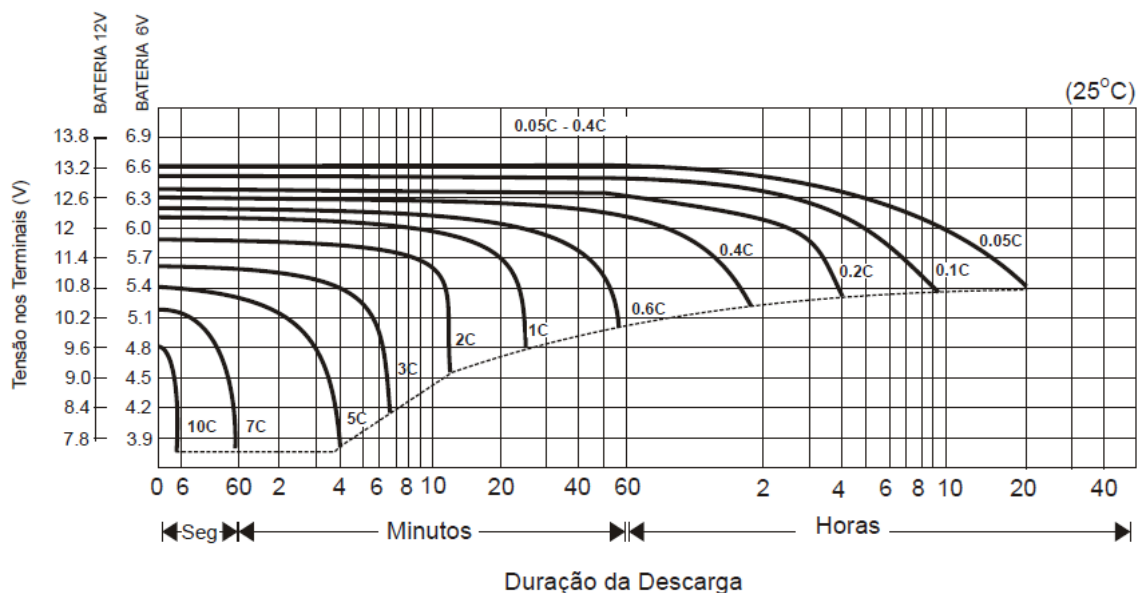


Figura 11. Curvas e índices de descarga de uma bateria Chumbo-Ácida. Fonte: Manual Técnico Unipower.

3.3.3 Carga da bateria

A carga de uma bateria pode ser efetuada em alguns modos distintos que são os seguintes: Carga por Tensão Constante, Carga por Corrente Constante, Carga por Retificadores e Carga por Tensão Constante em Dois Estágios. Cada modo possui sua particularidade, oferecendo vantagens e desvantagens, sendo crucial para selecionar o método mais adequado, a aplicação de cada a bateria. O método escolhido influenciará diretamente na vida útil da bateria do sistema (MANUAL TÉCNICO UNIPOWER).

O método mais adequado para efetuar a carga da bateria, e também o escolhido, é o modo que opera em Tensão Constante, garantindo que não ocorra sobrecarga da bateria durante todo esse ciclo, que funciona com temperatura reduzida e previne que a corrosão das placas ocorra prematuramente (MANUAL TÉCNICO UNIPOWER).

Alguns parâmetros da carga por tensão constante a ser considerados são:

- Flutuação em Standby: 2,25 a 2,30 V/elemento a 25°C.
- Flutuação em aplicações cíclicas: 2,40 a 2,45 V/elemento a 25°C.
- Corrente inicial limitada de 0,1 a 0,25C.

3.3.4 Descarga

As baterias chumbo-ácidas seladas reguladas por válvula em geral perdem a sua capacidade nominal e vida útil quando descarregadas abaixo do valor recomendado da tensão de corte conforme Tabela 1. Se a bateria for descarregada até 0V/elemento e permanecer por um período longo de tempo sem carga, a bateria sofrerá sulfatação e terá um aumento de sua resistência interna. Em alguns casos, a bateria poderá não mais aceitar carga (MANUAL TÉCNICO UNIPOWER).

C	Descarga (A)	Tensão de Corte / elemento (V)
3	21	1,30
1	7,2	1,30
0,55	3,85	1,55
0,1	0,70	1,75
0,05	0,35	1,75

Tabela 1. Tensão de corte relacionada ao índice de descarga. Fonte: Manual Técnico Unipower

3.3.5 Vida útil

O fim da vida útil de uma bateria é determinado pela redução acentuada ou ausência da capacidade da mesma de armazenar energia e podem ser provocadas por um curto-circuito interno, corrosão e sulfatação das placas ou danos ocorridos no vaso e tampa (MANUAL TÉCNICO UNIPOWER).

A sulfatação das placas é um fenômeno relacionado à descarga da bateria onde, quão mais avançado for, menor será a capacidade nominal da mesma, ocorrendo principalmente quando a profundidade de descarga extrapola os valores máximos (violação da tensão de corte). Ao descarregar completamente a bateria é necessário carregá-la o mais rápido possível, pois sua permanência nessa condição, novamente, acarretará na sulfatação das placas.

A perda da capacidade elétrica advinda da corrosão dos eletrodos ocorre no processo de carga da bateria, onde o gás gerado dentro das baterias é recombinado

com as placas negativas e devolvido em forma de água para a do eletrólito. Este processo é acelerado por elevada temperatura ambiente ou por tensão de flutuação elevada. Para casos onde há constantes variações da temperatura ambiente, é necessário compensar a tensão de flutuação a fim de reduzir os efeitos da temperatura sobre a vida útil da mesma, conforme Figura 12 (MANUAL TÉCNICO UNIPOWER).

“O aumento da temperatura ambiente aumenta a reação eletroquímica dentro do vaso. Neste caso a tensão de carga deve ser reduzida para prevenir a sobrecarga da bateria. Inversamente quando a temperatura diminui, a tensão de carga deve ser aumentada para evitar baixa carga. Para otimizar a vida útil da bateria, recomenda-se usar carregadores com compensação de temperatura. O fator de compensação recomendado para as baterias UP é de -3mV/C/e para flutuação e -4mV/C/e para aplicações cíclicas, a referência sendo 20°C . No caso de intervalos breves de variação de temperatura entre 5° a 40°C , a compensação de temperatura não se faz absolutamente necessária. Porém, deve-se ajustar a tensão do carregador o mais próximo possível das temperaturas ambientes médias encontradas ao longo da vida útil da bateria conforme o gráfico da figura abaixo. O sensor de temperatura deverá monitorar somente a temperatura da bateria sem interferência de outros possíveis geradores de calor do sistema” (MANUAL TÉCNICO UNIPOWER, p.10).

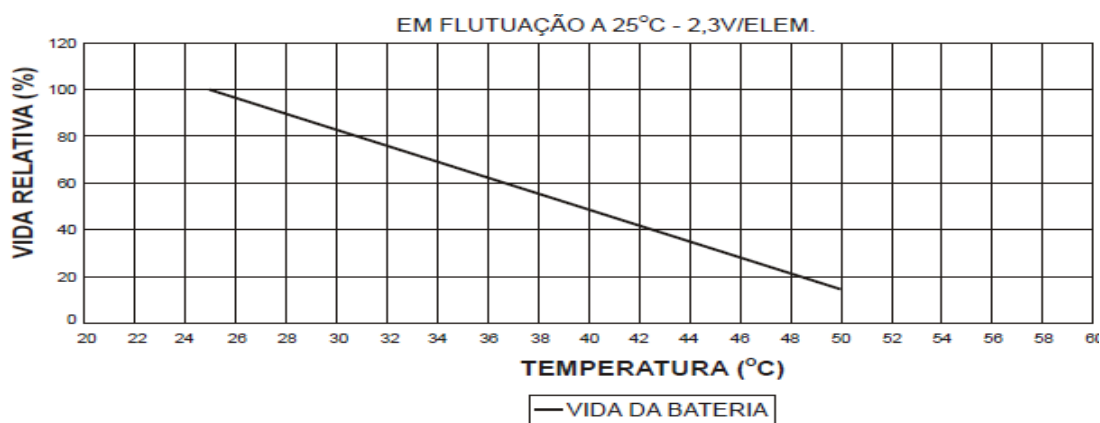


Figura 12. Variação da vida útil relativa relacionada a temperatura ambiente. Fonte: Manual Técnico Unipower.

No projeto aqui descrito a bateria será carregada e descarregada diariamente, constatando assim uma aplicação cíclica. Existem alguns fatores que se relacionam diretamente à vida útil da bateria nesses tipos de aplicação que são a temperatura de operação, índice de descarga, profundidade de descarga e a forma de carga, sendo o mais importante a profundidade de descarga. A capacidade máxima de descarga é atingida após os 50 ciclos iniciais (MANUAL TÉCNICO UNIPOWER).

A Figura 13 realiza a carga da bateria, composto por alguns componentes com funções específicas.

Temos um divisor de tensão, R7 e R8, com a finalidade de reduzir a tensão para 5v ajustando a tensão da placa solar para a tensão de trabalho do microcontrolador (pino analógico AN1).

O Q1 é um dispositivo de potência que regula a tensão e a corrente de carga da bateria para que não ocorra uma sobrecarga. Ele é controlado através do Q2 por meio de um sinal PWM que procede do microcontrolador.

Por meio do R4 (resistor shunt para carga da bateria) são obtidos os dados advindos da bateria para o microcontrolador como, por exemplo, a corrente de carga da bateria. No divisor de tensão R5 e R6 que, da mesma forma na placa solar, ajusta a tensão de saída da bateria para uma tensão TTL de 5V que será direcionada para o microcontrolador (pino analógico AN3).

Resistores shunt Descarga da bateria

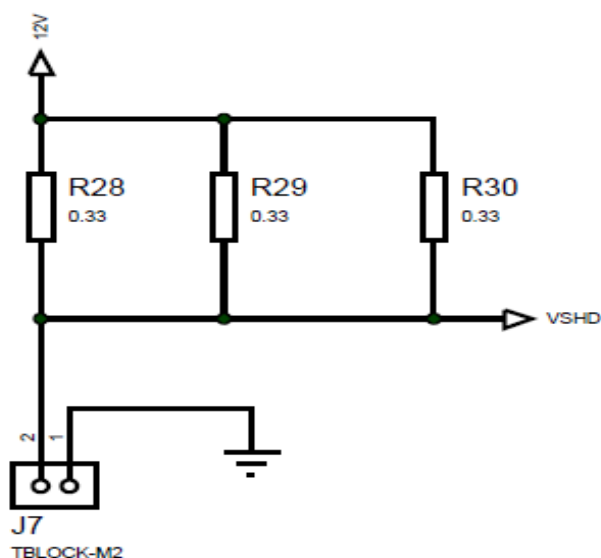


Figura 14. Circuito com resistor shunt utilizado para descarga da bateria. Fonte: dos autores.

De acordo com a Figura 14, por meio dos resistores R28, R29 e R30 obtemos a corrente de descarga e, com isso, possibilitou-se gerar a autonomia do sistema.

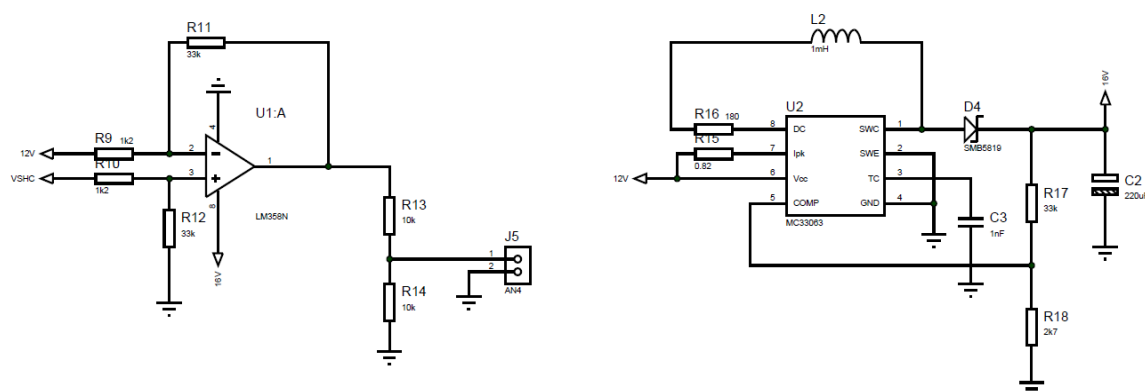


Figura 15. Amplificador e Conversor. Fonte: dos autores.

Na Figura 15, o dispositivo U1:A, Amplificador Operacional LM358N, configurado como amplificador de diferenças recebe a queda de tensão do resistor R4 (referente à corrente de carga da bateria), amplifica e envia esse sinal para o microcontrolador através da porta analógica (AN4).

Já o dispositivo U2, CI MC33963, converte 12V para 16V para que seja possível alimentar o amplificador operacional da mesma imagem evitando a saturação do mesmo.

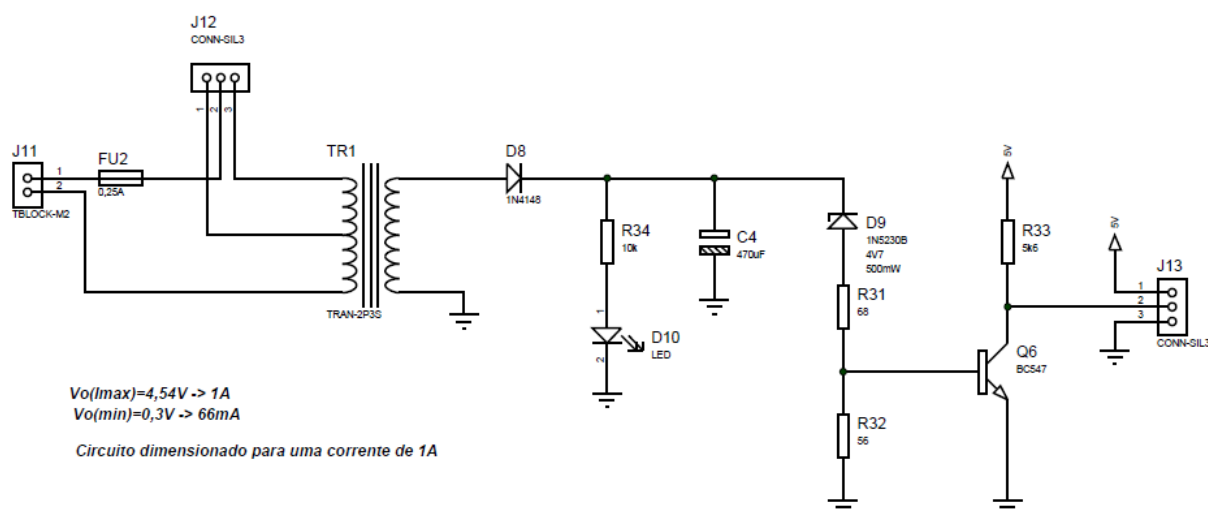


Figura 16. Circuito identificador de rede. Fonte: dos autores.

O circuito representado na Figura 16 identifica se há ou não rede. É composto por um transformador retificador de meia onda e um transistor configurado para que, quando houver rede, envie nível lógico 0 para o microcontrolador.

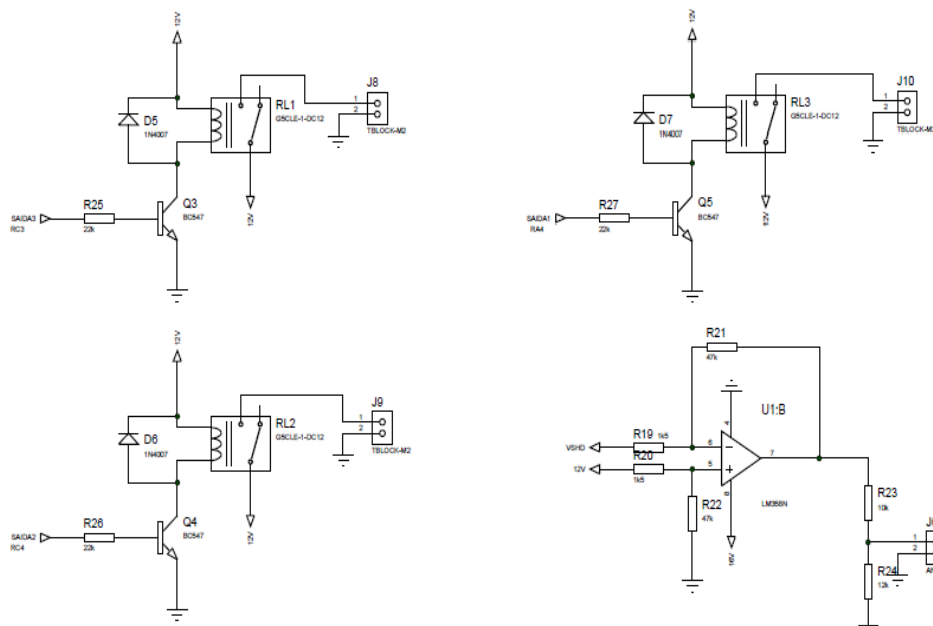


Figura 17. Circuito com relês e amp op para descarga. Fonte: dos autores.

Na Figura 17 também se inclui um circuito composto por relês para simular os cômodos (barra de leds) que serão iluminados pela energia armazenada na bateria. Uma saída digital do microcontrolador é aplicada na base dos transistores que, por sua vez, irão acionar o relé. Em paralelo com cada bobina do relé terá um diodo retificador que serve para extinguir o efeito *free wiling* (uma corrente reversa gerada pelo campo magnético do relé que danificaria o transistor).

Da mesma forma que para a corrente de carga, para corrente de descarga também há um amplificador operacional configurado como diferenciador. Ele amplifica a queda de tensão nos resistores shunt para descarga convertendo para um sinal digital para o microcontrolador. Obtendo, assim, de forma linear, a corrente de descarga da bateria.

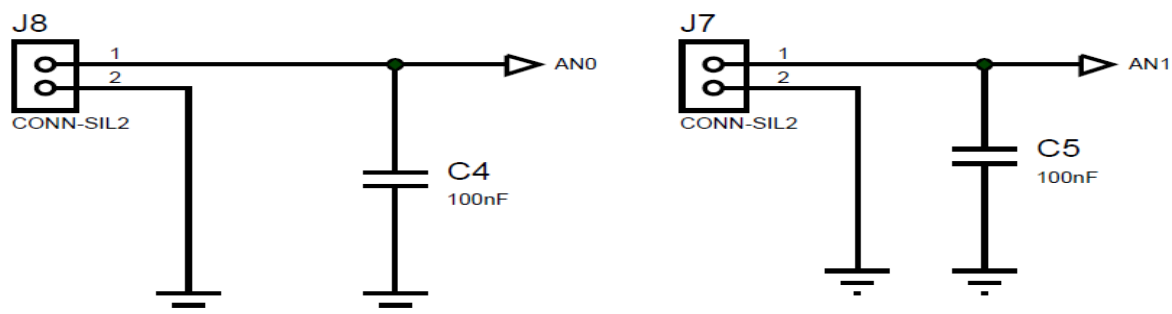


Figura 18. Conectores de carga/descarga da bateria. Fonte: dos autores.

Na Figura 18 trata-se da placa onde se encontra o microcontrolador e seus conectores. Os conectores J7 e J8 são referentes às entradas analógicas onde serão enviados os dados com os valores da tensão/corrente da carga/descarga da bateria.

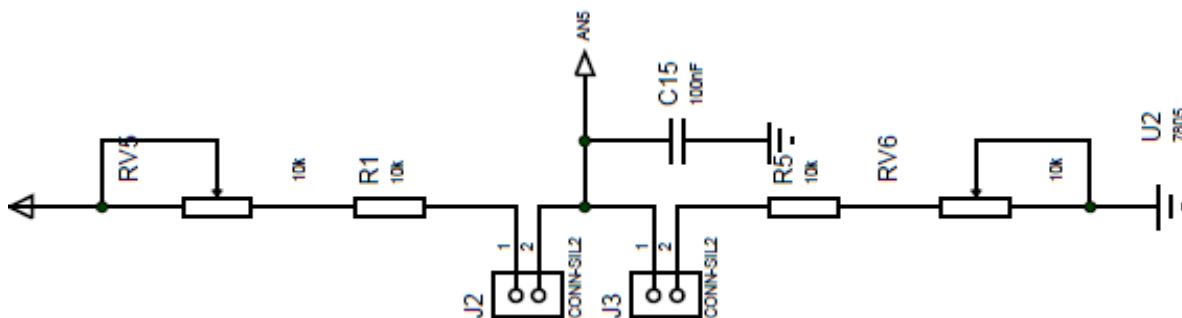


Figura 19. Conectores do LDR posição. Fonte: dos autores.

Os conectores J2 e J3, ilustrados na Figura 19, que correspondem à saída AN6, são advindos dos dois sensores de luz, LDR's, que estão conectados à placa solar. Tem a finalidade de identificar o posicionamento da placa.

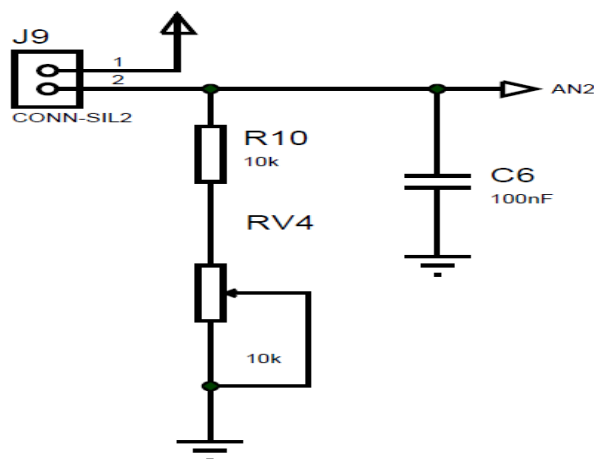


Figura 20. Conector do LDR dia/noite. Fonte: dos autores.

O conector J9, descrito na Figura 20, também corresponde a um LDR na placa solar. Este, porém, tem por função identificar se há luz ou não no ambiente que, dentro da programação, dirá se é dia ou noite. Com isso, poder-se-á iniciar a autonomia do sistema e a carga da bateria.

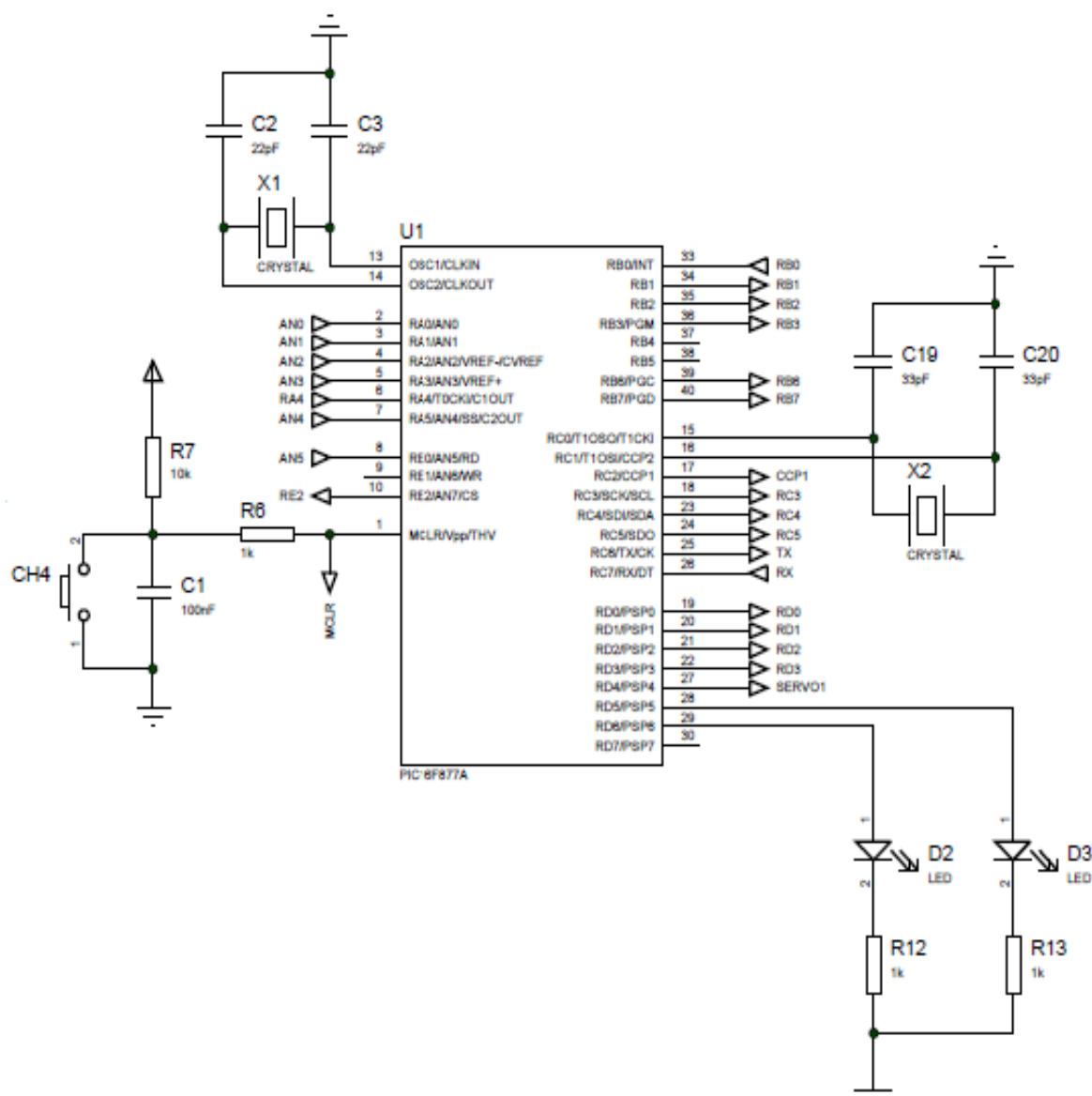


Figura 21. Diagramação das conexões elementares do PIC16F877A. Fonte: dos autores.

A Figura 21 retrata o circuito correspondente ao microcontrolador PIC16F877A. Nos pinos 13 e 14 tem-se os capacitores C2 e C3 junto com o cristal X1 que define a frequência de operação do MCU. Já no pino 01 há o circuito de reset aplicado ao botão CH4. Na saída 28 e 29 temos dois LED's com função específica dentro da programação. E nos pinos 15 e 16 há dois capacitores, C19 e C20, que juntos com o cristal X2 determinam o *clock* de, aproximadamente, um segundo.

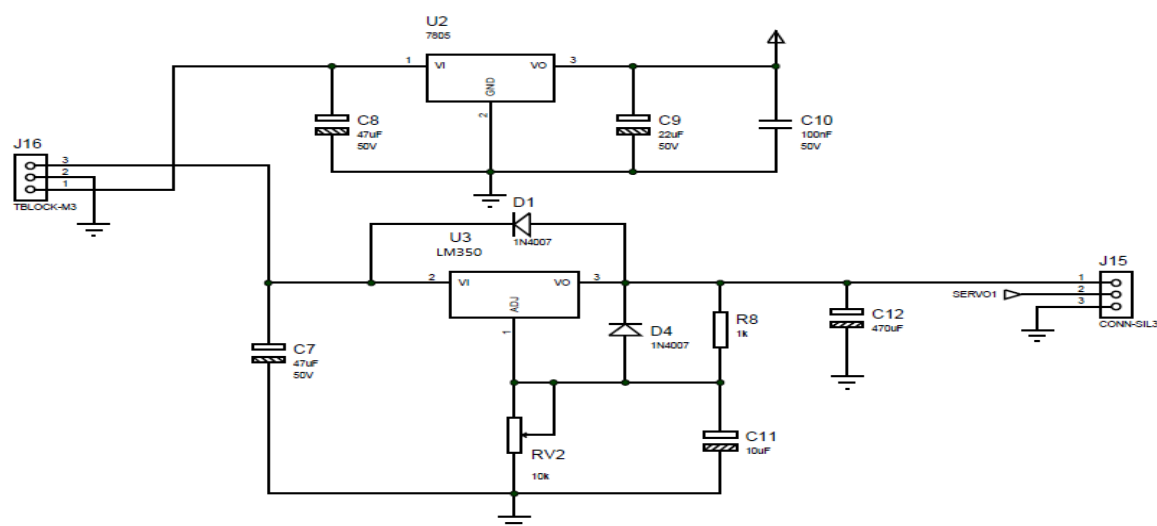


Figura 22. Circuito para etapa de regulagem da tensão. Fonte: dos autores.

O circuito exibido na Figura 22 é responsável pela regulagem da tensão que é realizada para alimentar a parte lógica do circuito e o servo motor.

O componente U2, 7805, regula a tensão de 12V que provém da bateria para 5V que alimentará todo o sistema do microcontrolador.

O componente U3, LM350, é um regulador ajustável que tem na saída uma corrente relativamente alta para alimentar o servo motor.

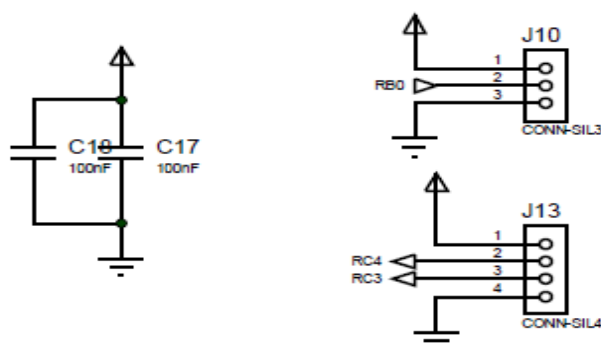


Figura 23. Capacitores de acoplamento e conectores. Fonte: dos autores.

Os capacitores de acoplamento, C17 e C18, representados na Figura 23, são conectados na alimentação e bem próximos aos pinos do microcontrolador com intuito de filtrar ruídos de alta frequência para não influenciar no funcionamento habitual.

O conector J13 é utilizado para acionamento dos relés. No conector J10, o RB0 é utilizado para identificar se há rede ou não no transformador.

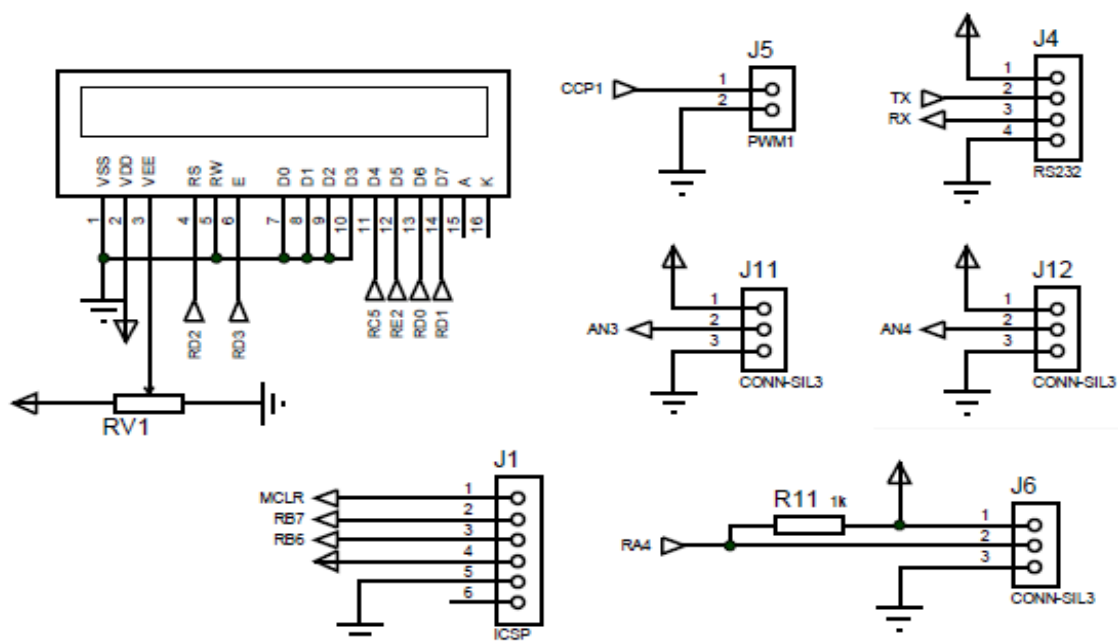


Figura 24. Diagramação dos conectores e LCD. Fonte: dos autores.

Na Figura 24 há os demais conectores utilizados tanto no funcionamento quanto na gravação do microcontrolador.

O conector J5 é a saída de PWM que modula o transistor de carga da bateria. Modulando o sinal PWM, ele limita a tensão máxima da bateria. Controla de forma menos abrupta e mais precisa a carga da mesma.

Os conectores J11 e J12 são conectados aos pinos analógicos do MCU. Um deles é utilizado para a leitura da corrente de descarga da bateria.

O J6 é utilizado para acionamento de relé. O resistor, R11, de 1K Ω evita o *tristate* que ocorria na saída do pino RA4. Quando estiver em *tristate* o resistor força o nível lógico 1.

O J4 é o conector responsável pela conexão serial e o J1 é destinado à gravação *in-circuit* do MCU. Pode-se verificar também as conexões do LCD.

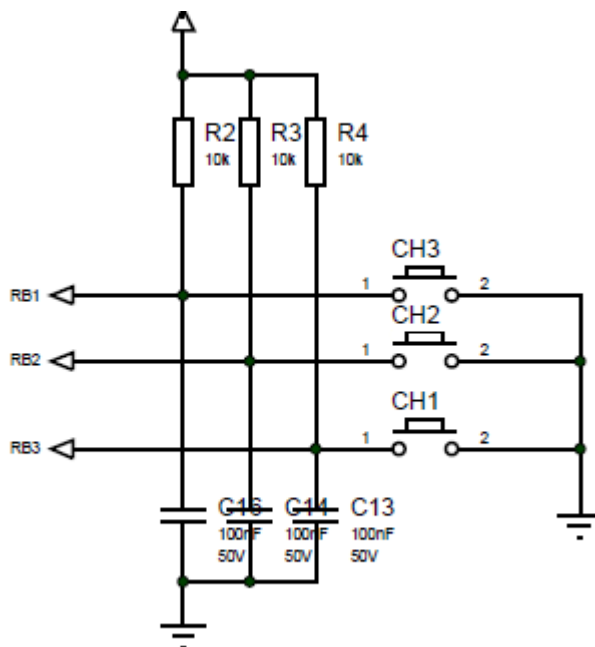


Figura 25. Circuito de botões pull-up. Fonte: dos autores.

O circuito de botões *pull-up*, retratado na Figura 25, são utilizados para fazer simulações e testes, principalmente com os LDRs, para efeito de cálculo e verificação do funcionamento do sistema e placa.

4.2 Software

Tendo em vista a complexidade e o tamanho da programação para o presente projeto e visando a busca pela melhor compreensão, o software será explicado através de fluxogramas, que representarão a função principal (“Main”) e as sub-rotinas que o compõe. Vale ressaltar que, nos fluxogramas seguintes, ao término de cada sub-rotina o termo “fim” representa o retorno para o menu principal (“Main”). Pode-se verificar a programação completa utilizada no anexo do trabalho.

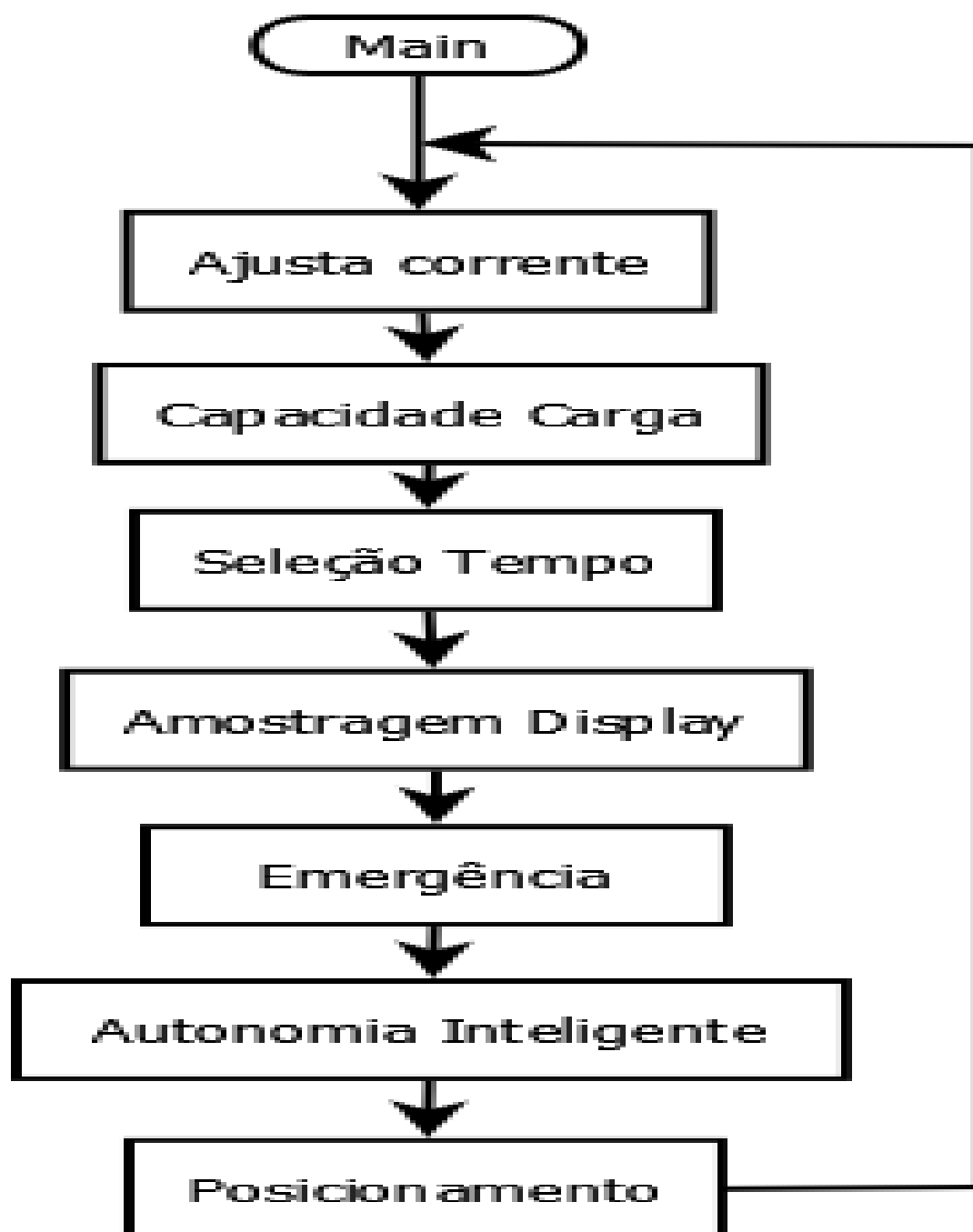


Figura 26. Fluxograma Menu Main. Fonte: dos autores.

Esta é a função principal, conhecida também como Main, obrigatoriamente executada pelo microcontrolador logo após sua energização, sendo o local onde as instruções a serem exercidas são dispostas. Na Figura 26 é possível visualizar o fluxograma que as representa, onde cada retângulo simboliza a execução de uma sub-rotina. Estas também são funções, assim como o Main, porém são executadas apenas quando chamadas.

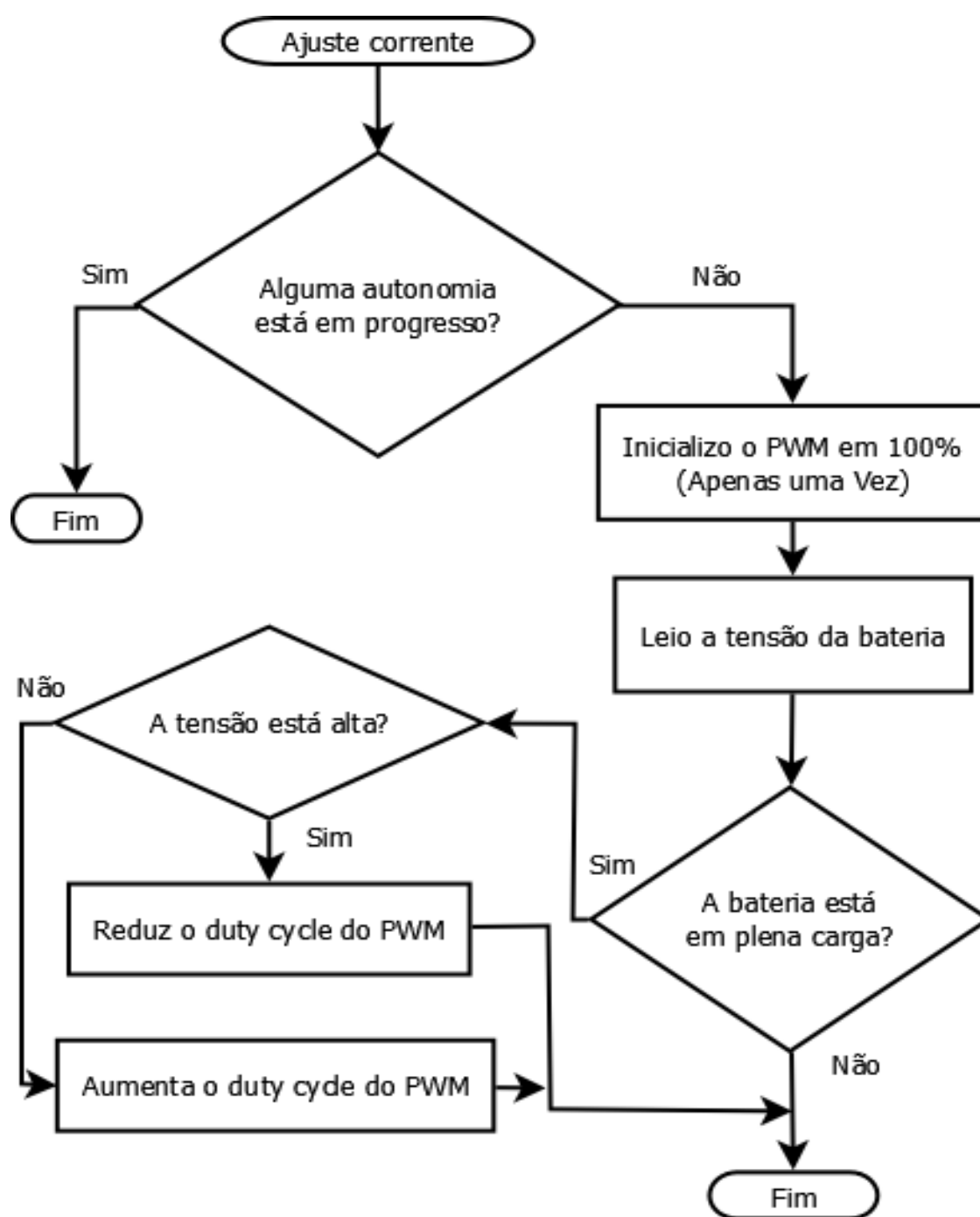


Figura 27. Fluxograma Ajuste Corrente. Fonte: dos autores.

A função “Ajuste Corrente”, mostrada na Figura 27, destina-se ao controle dos parâmetros de carga da bateria, como tensão de flutuação. Para isso, o processo é feito em duas etapas: a) no primeiro, toda a energia gerada pela placa solar é direcionada para a bateria, aproveitando ao máximo esta energia; b) já na segunda, há a limitação da quantidade de energia direcionada para a bateria, garantindo, assim, que a mesma trabalhe para prolongar sua vida útil.

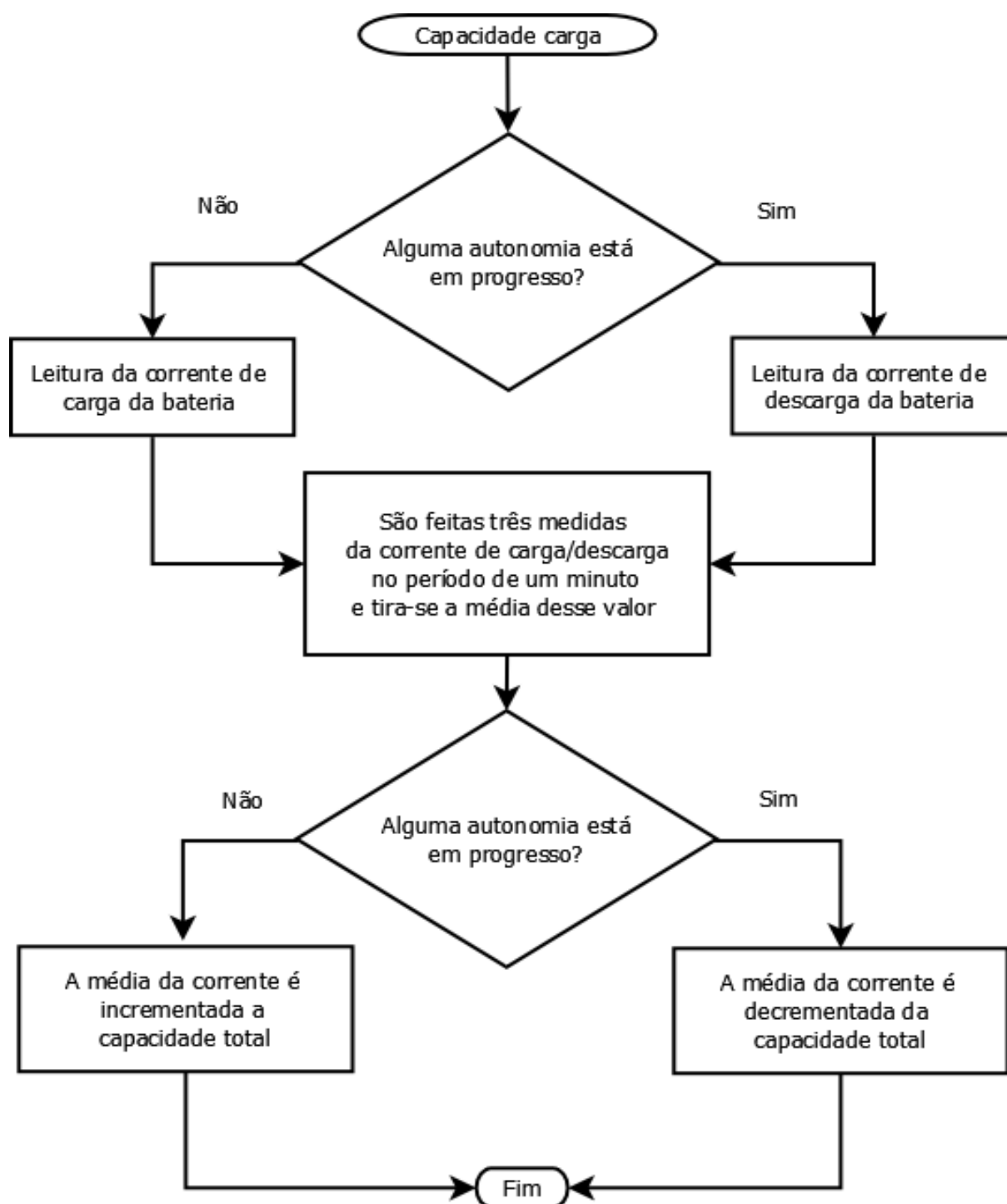


Figura 28. Fluxograma Capacidade Carga. Fonte: dos autores.

Na Figura 28 temos a função “Capacidade Carga”, onde os valores da corrente de carga ou descarga são lidos e processados por meio de cálculos, com o intuito de atualizar a capacidade percentual da bateria no banco de dados do microcontrolador.

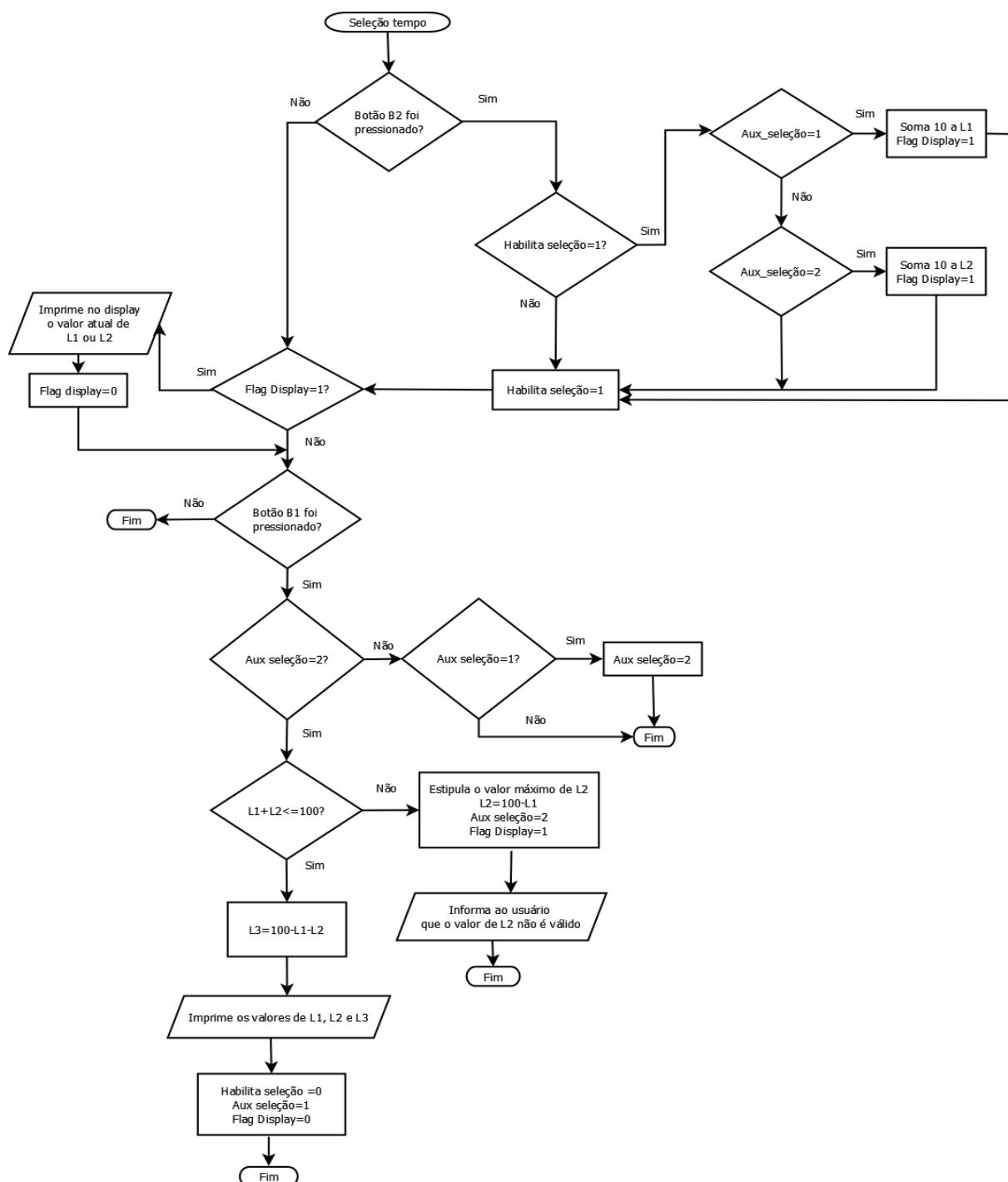


Figura 29. Fluxograma Seleção Tempo. Fonte: dos autores.

A sub-rotina destinada a realizar a interface entre o homem e a máquina é denominada como “Seleção Tempo” representado na Figura 29. Esta interface é destinada a seleção de parâmetros relacionados a prioridade de fornecimento de energia para determinados setores. Assim, o sistema gerenciará a energia armazenada na bateria conforme a necessidade da aplicação.

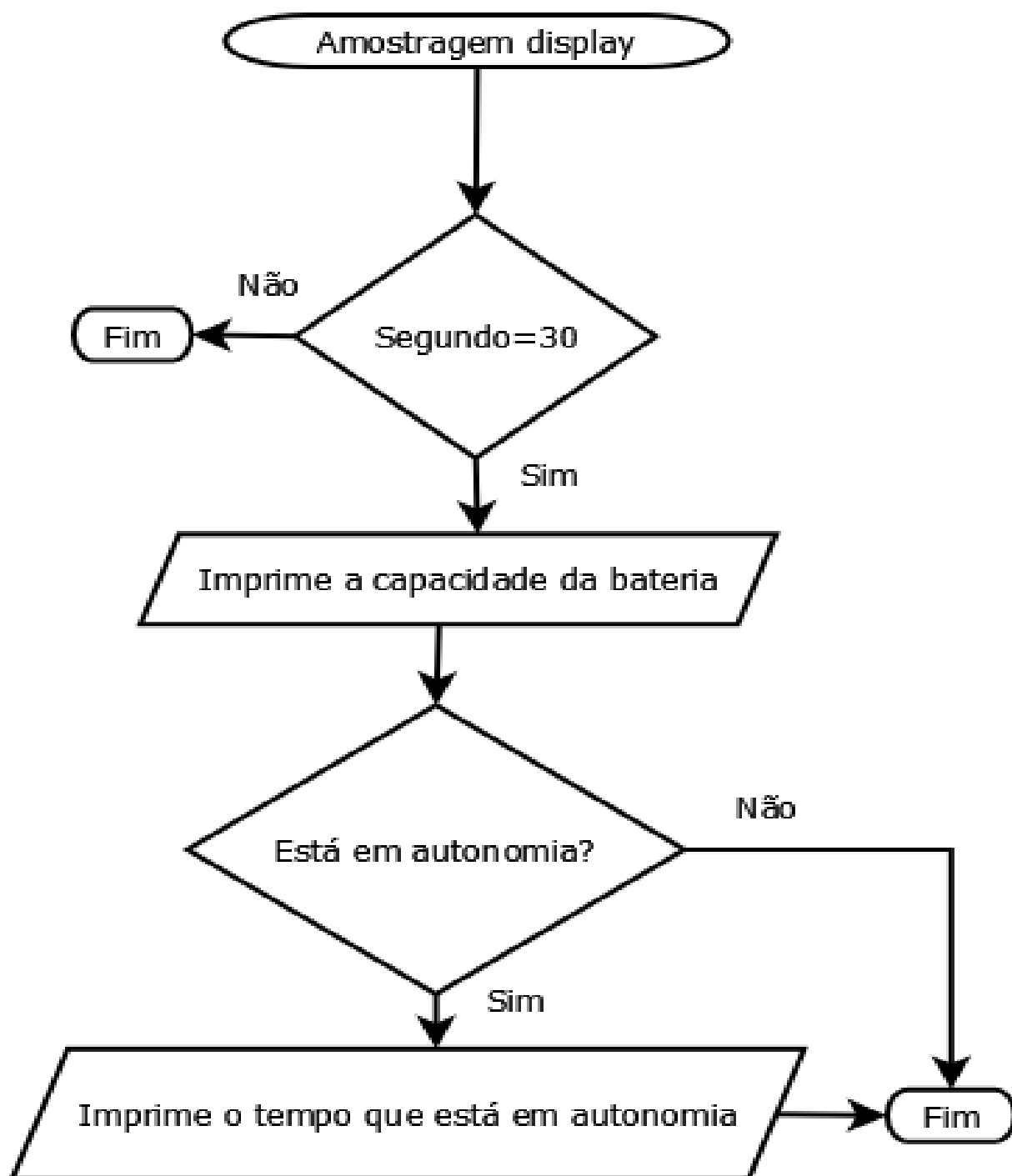


Figura 30. Fluxograma Amostragem Display. Fonte: dos autores.

A função descrita na Figura 30, denominada como “Amostragem Display”, é destinada a atualizar os dados a serem impressos no display de acordo com o atual estado do sistema.

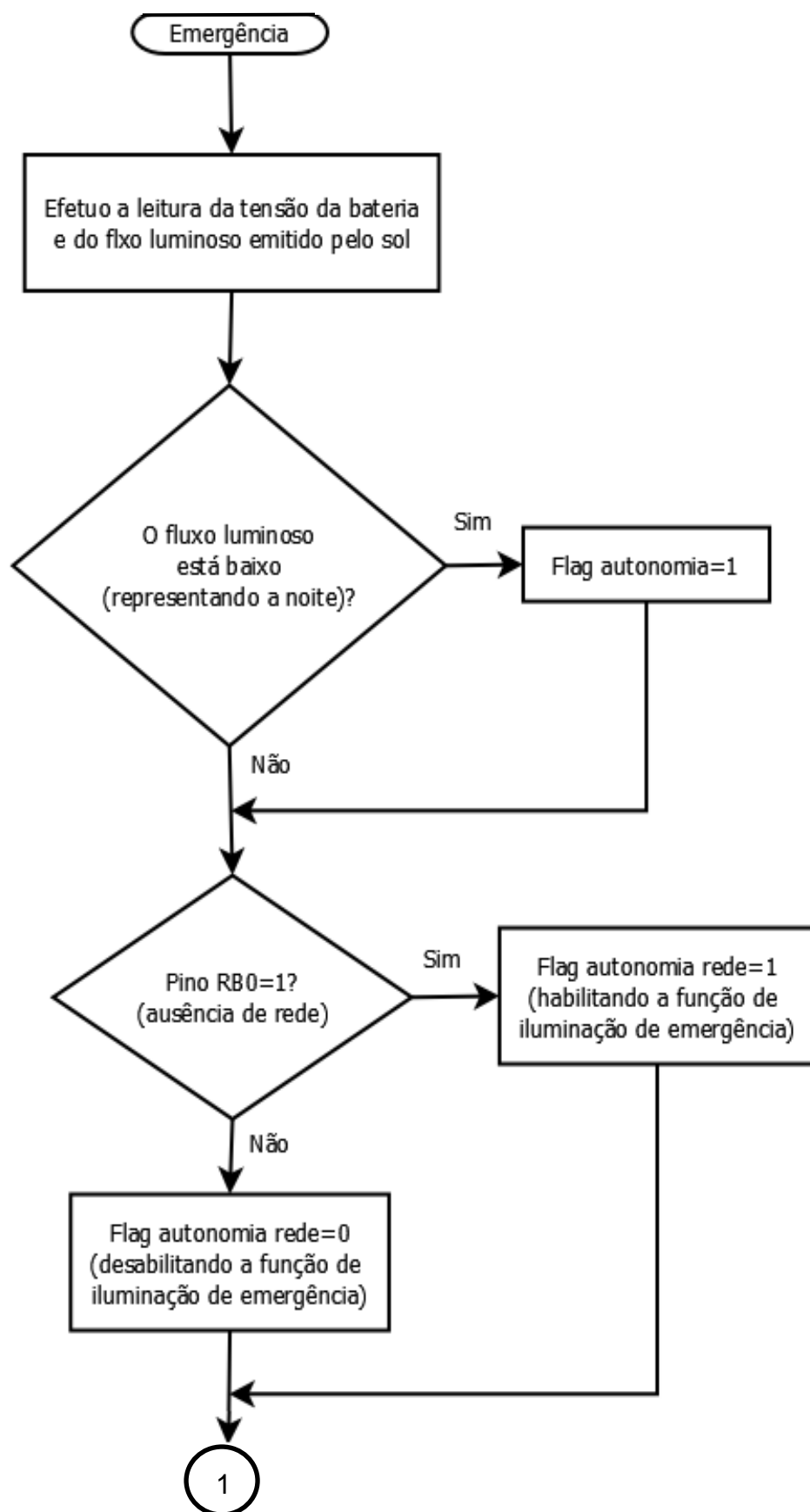


Figura 31. Fluxograma Emergência 01/03. Fonte: dos autores.

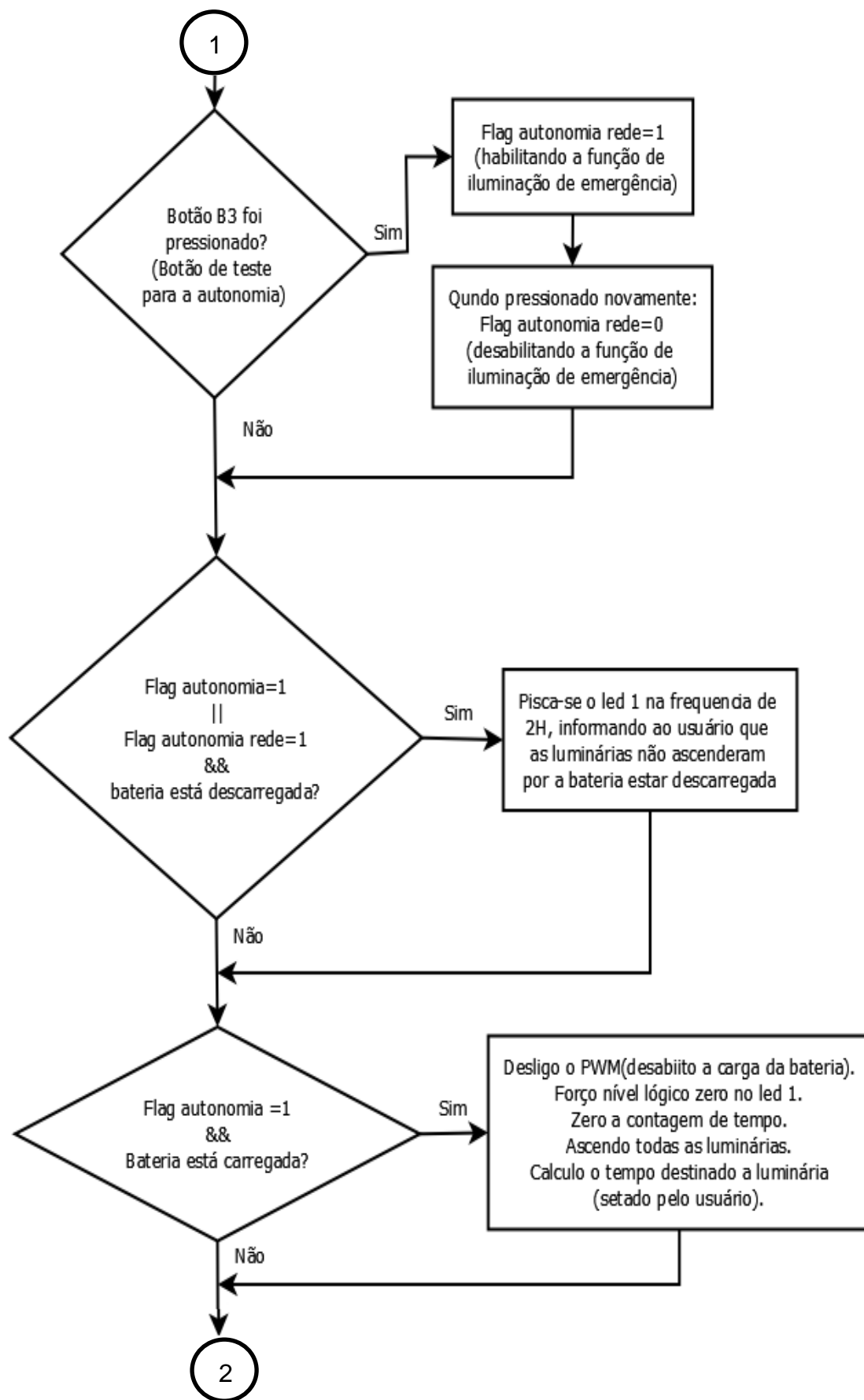


Figura 32. Fluxograma Emergência 02/03. Fonte: dos autores.

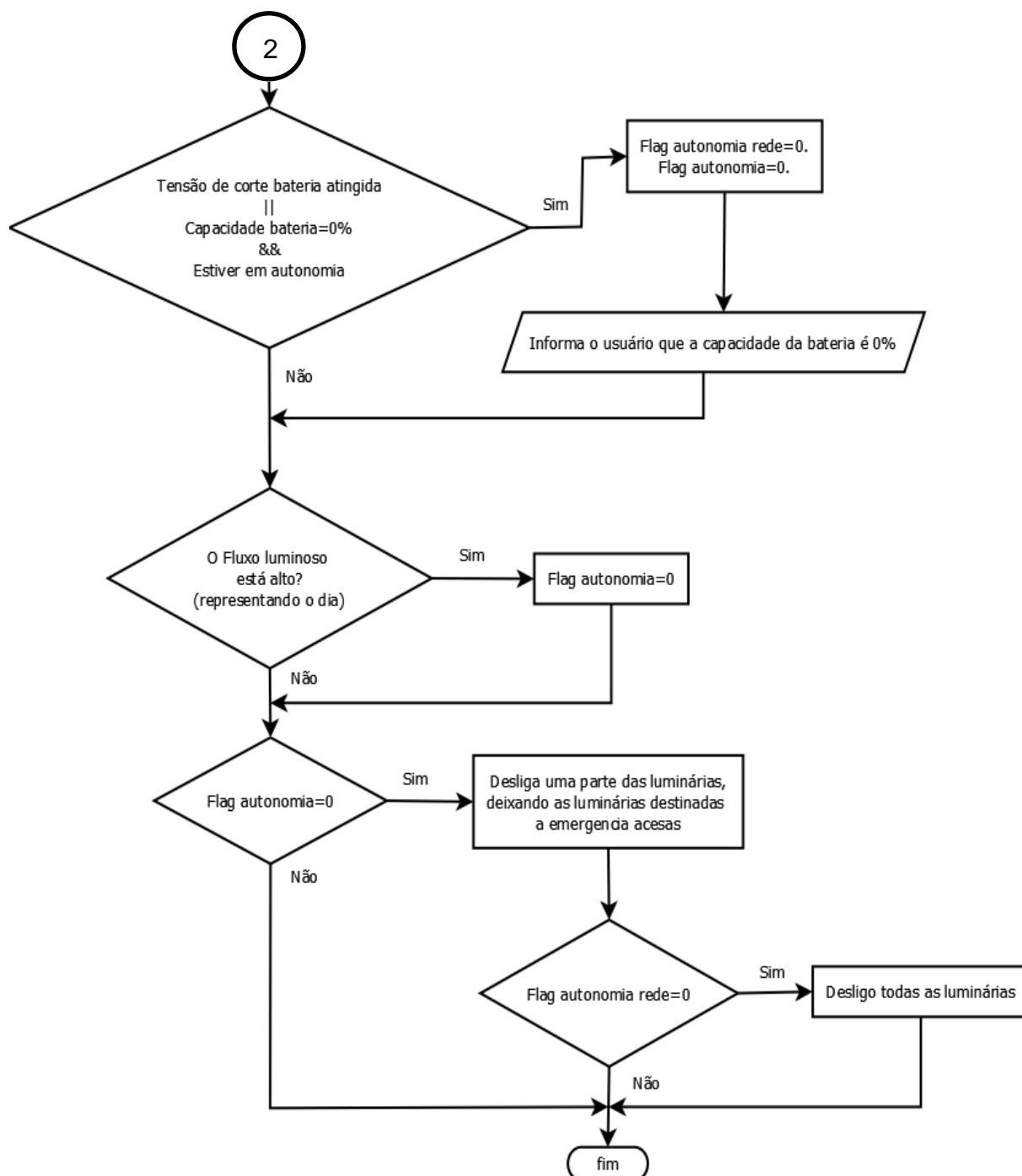


Figura 33. Fluxograma Emergência 03/03. Fonte: dos autores.

As Figuras 31, 32 e 33 compõem o mesmo fluxograma, que tem por função representar a sub-rotina “Emergência”. Esta é destinada a analisar os dados do sistema para detectar se há necessidade de fornecer energia para determinados setores. Quando fornecida, indica o instante mais adequado para cessar o fornecimento.

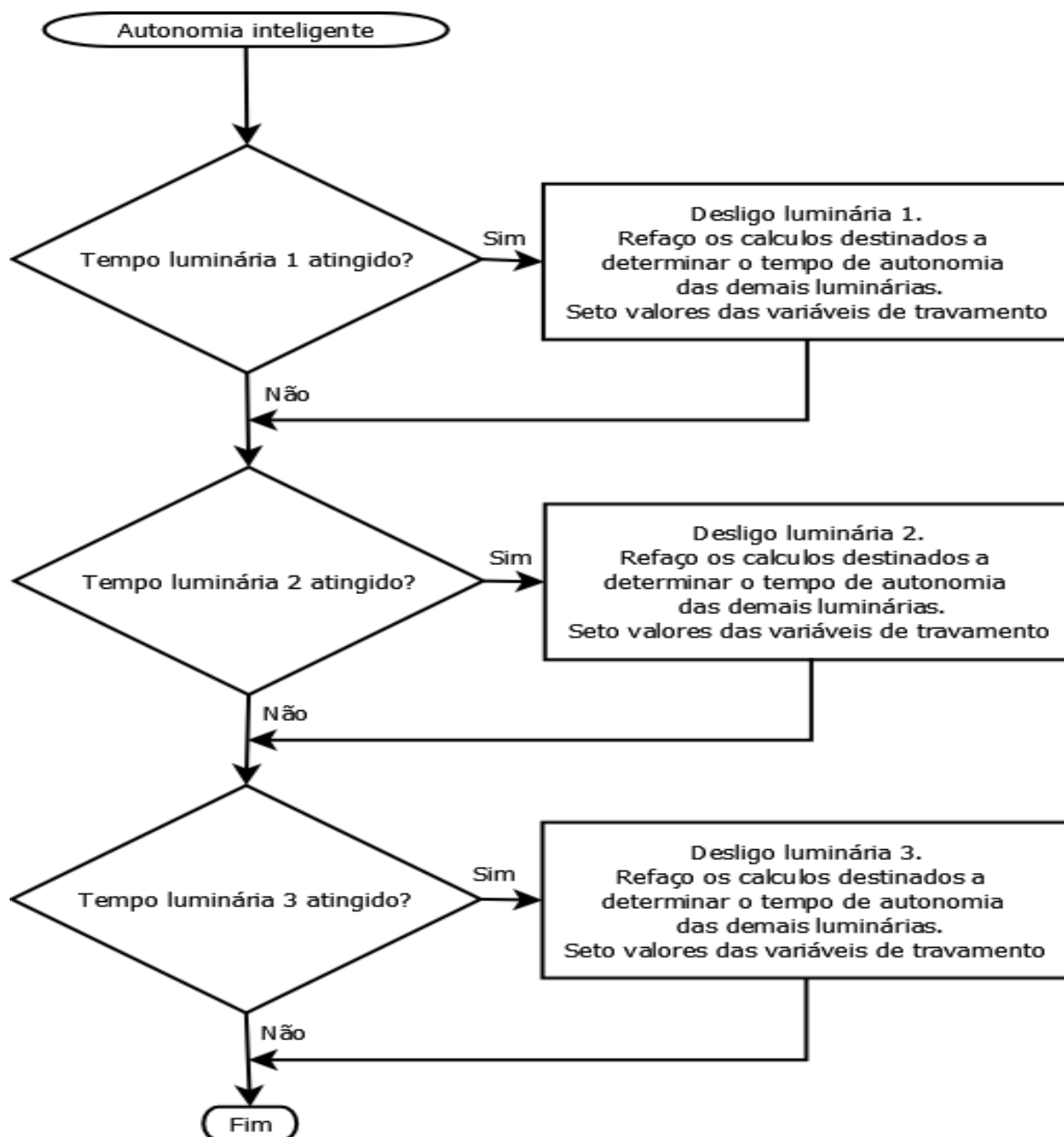


Figura 34. Fluxograma Autonomia Inteligente. Fonte: dos autores.

É por meio da função “Autonomia Inteligente”, disposta em forma de fluxograma na Figura 34, que o sistema efetua o gerenciamento da descarga da bateria, setorizando o fornecimento de energia e atendendo as necessidades da aplicação.

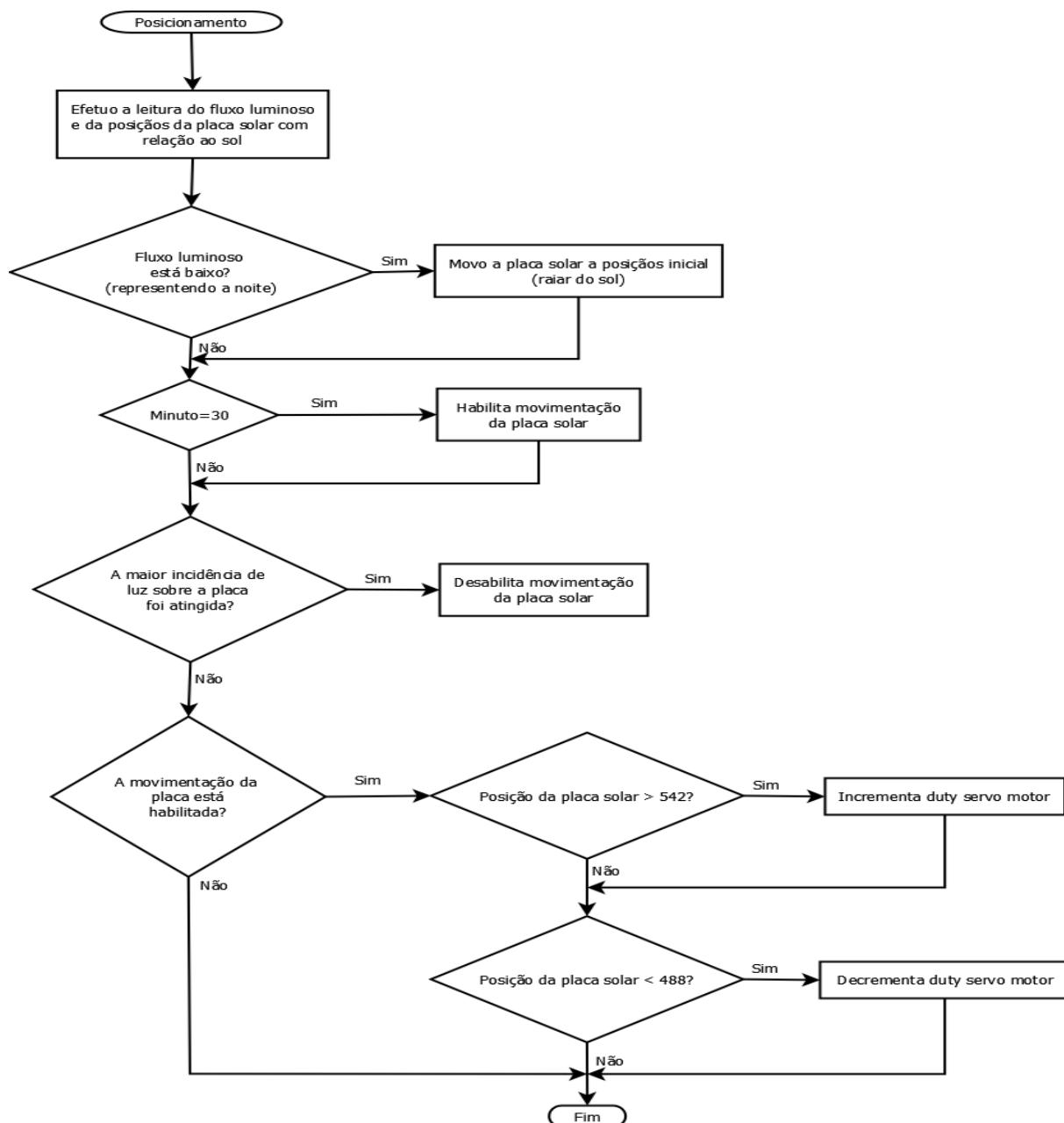


Figura 35. Fluxograma Posicionamento. Fonte: dos autores.

Na Figura 35 é possível visualizar o fluxograma que representa a sub-rotina “Posicionamento”. É por meio dela que é feita a correção da inclinação da placa fotovoltaica, a fim de obter a posição de melhor incidência solar.

4.3 Descritivo geral

O sistema aqui desenvolvido tem como principal função movimentar uma placa solar com intuito de aumentar a quantidade de energia captada por ela durante o dia, mas também foram atribuídas outras funções ao sistema que serão descritas a seguir.

A energia captada pela placa solar é direcionada a uma bateria, isso por tratar-se um sistema *off-grid*, onde posteriormente esta energia será utilizada. Contudo, muitos parâmetros relacionados aos ciclos de carga e descarga da bateria devem ser cuidadosamente monitorados e controlados a fim de garantir a longevidade da mesma. Durante o período de carga da bateria, parâmetros como corrente máxima de carga e tensão de flutuação são cuidadosamente controlados, já durante a descarga, a tensão de corte é o parâmetro monitorado com rigor.

Durante a descarga da bateria, isso no período da noite, há um algoritmo destinado a gerenciar a quantidade de energia direcionada para cada uma das cargas. Pois caso alguma delas necessite receber a energia proveniente da bateria por um período de tempo maior, isso será atendido de forma pontual, obedecendo os parâmetros fornecidos ao sistema.

O fornecimento de energia para as cargas ocorre em duas situações distintas durante a noite, como citado anteriormente, e em uma ocasional “queda da energia” provinda da concessionária. Essa condição foi implementada como medida de segurança, onde apenas algumas luminárias serão acionadas, estas que estarão posicionadas em locais estratégicos onde não há iluminação natural como escadarias, por exemplo. Assim, esta é uma ação que independe do horário e prioridade sob quais quer outra condição.

Para determinar a quantidade de energia direcionada a cada carga há uma interface entre o usuário e o sistema, onde por meio desta é possível informar qual o percentual da energia armazenada na bateria será direcionado para cada uma das cargas. Esta interface é composta por três botões, B1: destinado a simular a emergência do sistema, mesmo que durante o dia, a fim de testar a esta função e os dispositivos associados a ela; B2: Este botão possui duas funções, a primeira é entrar no menu de seleção da capacidade quando o sistema estiver em funcionamento normal, após realizada desta ação o menu aparecerá no display e o botão assumirá a segunda função que é incrementar as variáveis que alteram o tempo que cada uma das cargas ficará acionada durante a autonomia; B3: este botão é habilitado apenas

durante a exibição do menu e funciona como uma tecla “enter”, possibilitando a navegação entre as várias subseções do mesmo. As mensagens impressas no display estão dispostas a seguir.

A mensagem descrita na Figura 36 é impressa durante o dia, enquanto a bateria é carregada, informando ao usuário a capacidade armazenada na mesma.

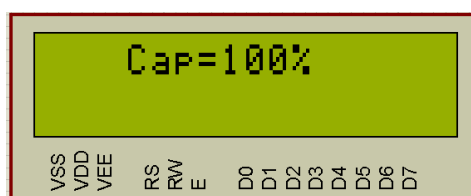


Figura 36. Capacidade da bateria enquanto é carregada. Fonte: dos autores.

Após B2 ser pressionado, a primeira tela do menu aparecerá conforme exemplificado na Figura 37. Esta tela é destinada a selecionar o valor percentual da carga da bateria que será direcionado para a carga L1, neste caso 30% da energia será destinada a carga. As ações são autoexplicativas por meio das informações mostradas no display onde, ao pressionar B2, L1 terá um incremento de 10 e, ao atingir o valor desejado, basta pressionar B3 para ser direcionado ao próximo menu.

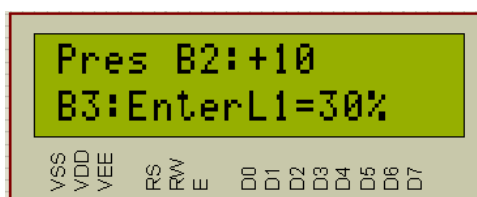


Figura 37. Primeira tela do menu, seleção de L1. Fonte: dos autores.

O segundo menu, reproduzido na Figura 38, é igual ao primeiro, porém este possui a função de selecionar o valor percentual da carga da bateria que será direcionado para a carga L2, no caso 50%.

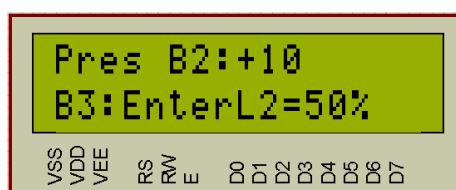


Figura 38. Segunda tela do menu, seleção de L2. Fonte: dos autores.

Como existem apenas três cargas e a soma das capacidades não pode ser superior a 100%, sabendo o valor de L1 e L2 é trivial determinar o valor de L3, conforme demonstrado na Figura 39.

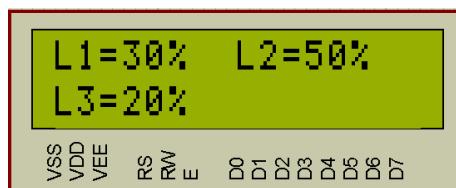


Figura 39. Novos valores de L1, L2 e L3. Fonte: dos autores.

Mas caso L1 permaneça com os mesmos 30% selecionados anteriormente e o operador tentar selecionar L2 como 80%, será impressa uma mensagem de erro, de acordo com a Figura 40, informando que o valor selecionado é inválido e em seguida mostrará o valor máximo permitido para L2 e em seguida retornará para o segundo menu.

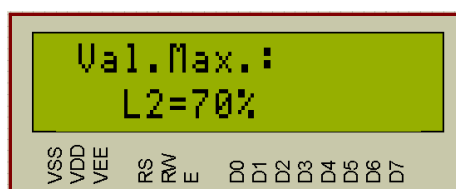


Figura 40. Mensagem de erro. Fonte: dos autores.

Logo que o sistema entra em autonomia, quando o sol se põe, é impresso na tela a quantidade de tempo que cada uma das cargas permanecerá ligada, isso utilizando um cálculo que considera a corrente consumida pelas cargas, os valores percentuais selecionados para cada uma delas e a capacidade armazenada pela bateria durante o dia. São mostrados quantas horas e quantos minutos cada uma delas ficará acesa. Logo que o tempo é atingido, a respectiva carga é desligada e este cálculo é refeito, considerando os mesmos parâmetros, porém com valores atualizados, segundo a Figura 41.

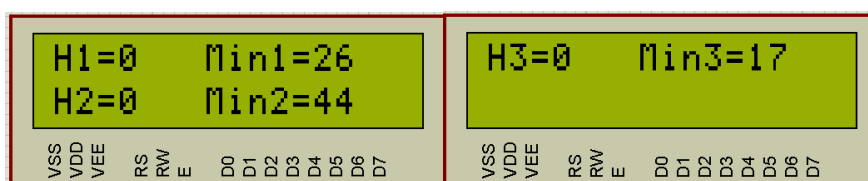


Figura 41. Tempo destinado às cargas L1, L2 e L3. Fonte: dos autores.

Durante a autonomia, conforme Figura 42, na tela são mostrados a contagem de tempo decorrido e a capacidade da bateria. Sempre que uma das cargas for desligada esta contagem de tempo é zerada.

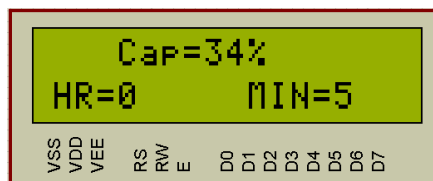


Figura 42. Menu durante a autonomia. Fonte: dos autores.

Outra forma de informar ações do sistema são dois LED's um vermelho e o outro verde. Este tem por função informar a contagem de tempo, onde no decorrer de um segundo irá inverter seu estado lógico. Já o LED vermelho pode assumir três condições distintas: quando o mesmo se encontra apagado representa que a bateria não está completamente carregada; quando está aceso, informa que a bateria está completamente carregada; em sua última condição, onde o mesmo alternará seu estado lógico a cada 250ms, informa que não foi possível entrar em autonomia graças a bateria estar completamente descarregada.

4.4 Placa Solar

Para a efetivação de todo o projeto proposto, o grupo comprou *online* uma placa solar para poder simular, aplicar e usufruir de seu funcionamento. Os dados a respeito da placa estão listados na Tabela 2, que contém as características que foram utilizadas para efeito de cálculos e dimensionamento do sistema.

Potência de pico (WP)	15W
Tensão em Potência Máxima (Vpm)	17,5V
Corrente em Potência Máxima (Ipm)	0,86A
Tensão em circuito aberto (Voc)	21V
Corrente em curto circuito (Isc)	0,93A
Eficiência	11,20%
Temperatura de operação	-40°C/+85°C
Voltagem máxima do sistema	600VDC
Dimensões	385 x 345 x 18 mm
Peso	1,5kg
Vidro temperado	
Moldura em alumínio anodizado	

Tabela 2. Dados fornecidos pelo distribuidor da placa solar. Fonte: dos autores

5. Cálculos

5.1 Amplificador de diferenças

O amplificador operacional é um componente ativo vastamente utilizado na eletrônica devido a sua versatilidade onde, por meio de componentes passivos ligados a ele, mudamos completamente seu comportamento e, sucessivamente, sua aplicação.

Uma configuração muito popular é o amplificador de diferenças, onde é feita a operação da diferença entre as entradas IN1 e IN2 e em seguida multiplicamos esse resultado por um fator de ganho determinado por R1 e R2, conforme Figura 43.

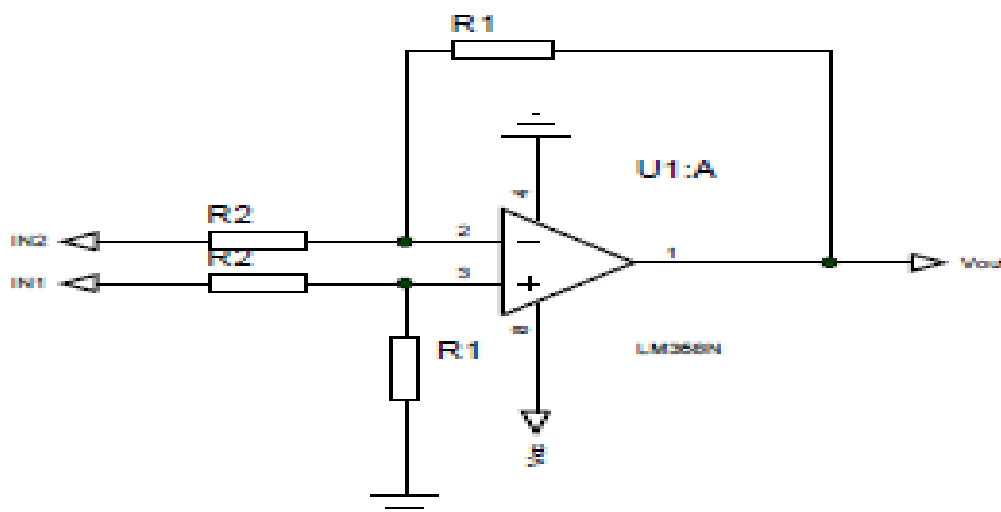


Figura 43. Configuração diferencial. Fonte: dos autores.

$$V_{out} = (IN1 - IN2) * \frac{R1}{R2}$$

Dessa forma, torna-se fácil o projeto de um sensor de corrente obtido por meio de um amplificador de diferenças, adicionando um resistor shunt Rsh e um divisor de tensão na saída, o que aumentará a precisão de nosso circuito, demonstrado na Figura 44.

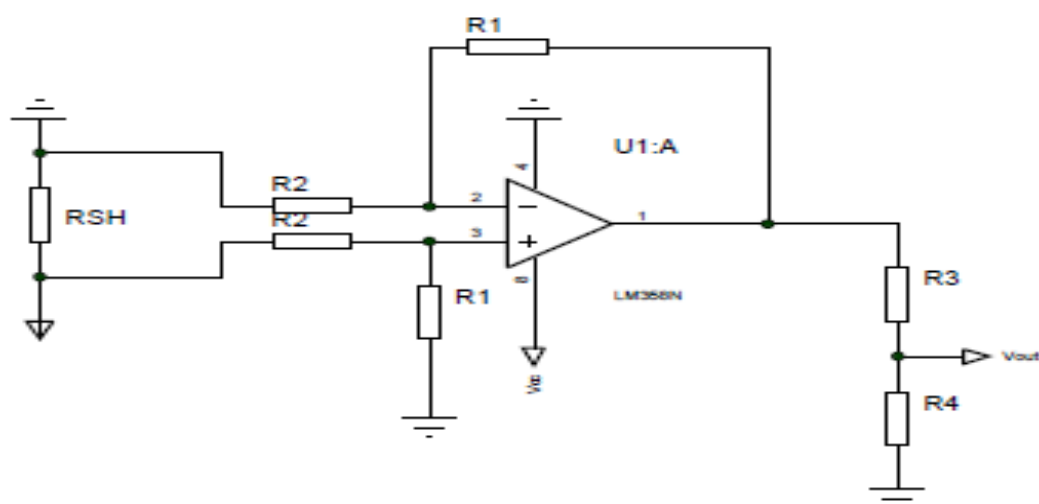


Figura 44. Sensor de corrente Obtido por meio de um amplificador diferenciador. Fonte: dos autores.

$$V_{out} = (R_{sh} * I_{sh}) * \left(\frac{R1}{R2}\right) * \left(\frac{R4}{R3 + R4}\right)$$

Para que a capacidade percentual da bateria seja incrementada ou decrementada é necessário mensurar respectivamente a corrente de carga e descarga. Para isso dispomos de dois sensores de corrente compostos pelo circuito mostrado na Figura 44, que oferecem uma resposta precisa e linear, obedecendo a seguinte relação:

Corrente de carga = 4,54 V/A.

Corrente de descarga = 1,57 V/A.

5.2 CI MC 33063

“A série MC34063A é um circuito de controle monolítico que contém o Funções primárias necessárias para conversores DC-DC. Esses dispositivos consistem em uma referência interna de compensação de temperatura, comparador, Oscilador de ciclo de serviço controlado com um circuito de limite de corrente ativo, Driver e interruptor de saída de corrente alta. Esta série foi especificamente projetada para ser incorporado em Step-Down e Step-Up e aplicações de inversão de tensão com um número mínimo de componentes (Datasheet MC33063).”

No projeto desenvolvido foi necessário utilizar um conversor DC-DC *Step-Up* (*Boost*), representado na Figura 45, para elevar a tensão de alimentação dos amplificadores operacionais, pois alimentando-os com a tensão da bateria os mesmos saturavam devido à proximidade entre esta e a tensão aplicada as suas entradas.

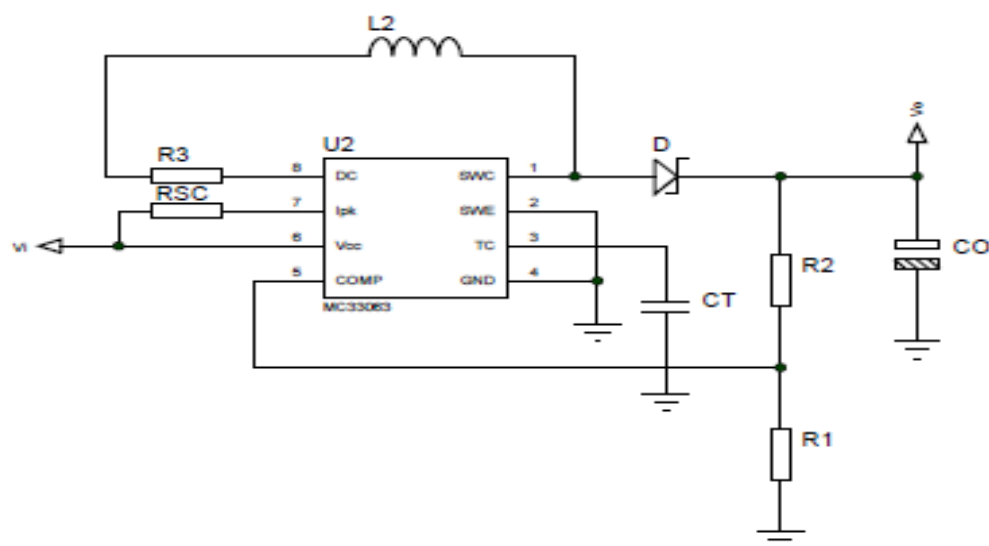


Figura 45. MC33063 Configuração boost. Fonte: dos autores.

Na Figura 45 há um conversor boost composto por um circuito integrado dedicado para esta função, o MC33063. Mas, para obter o resultado desejado é necessário antes dimensionar os dispositivos passivos ligados a ele.

Primeiramente, deve-se determinar a frequência que o conversor trabalhará, para isso utilizar-se-á o gráfico da Figura 46, onde ao determinar C_t obter-se-á a frequência de oscilação, $t(on)$ e $t(off)$ que serão parâmetros utilizados durante o dimensionamento dos componentes.

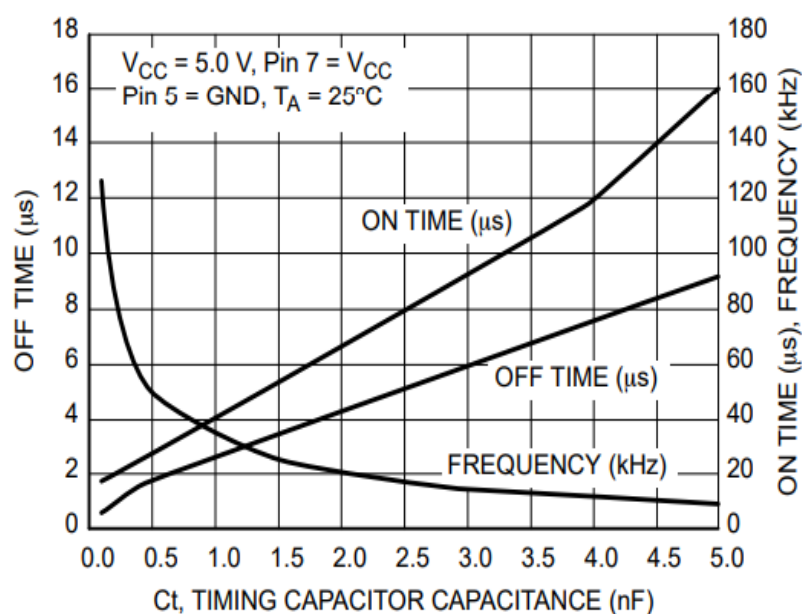


Figura 46. Determinação da frequência de oscilação, t_{on} e t_{off} por meio de C_t . Fonte: Datasheet MC33063

Antes de iniciar os cálculos é necessário adotar os seguintes valores para determinados parâmetros:

$$R3=180\Omega$$

$$Ct=1nF$$

$$V_{in(min)}=10V$$

$$V_{sat}=0,8V$$

$$t(on)=40\mu s$$

$$t(off)=2,5\mu s$$

$$V_o=16V$$

$$V_{ripple}=10nV$$

$$R1=2,7k\Omega$$

Com todos os parâmetros corretamente determinados, basta efetuar os cálculos por meio das fórmulas fornecidas pelo próprio fabricante do circuito integrado.

$$R2 = \left(\frac{V_o}{1,25} - 1 \right) R1 = \left(\frac{16,5}{1,25} - 1 \right) 2,7k = 33k\Omega$$

$$I_{pk} = 2I_o(max) \left(\frac{t(on)}{t(off)} + 1 \right) = 2 * 10 * 10^{-3} \left(\frac{40}{2,5} + 1 \right) = 340mA$$

$$L1(min) = \left(\frac{V_{in(min)} - V_{sat}}{I_{pk}} \right) t(on) = \left(\frac{10 - 0,8}{0,34} \right) 40 * 10^{-6} = 1mH$$

$$C_o = 9 \frac{I_{out} * t(on)}{V_{ripple}} = 9 \frac{10 * 10^{-3} * 40 * 10^{-6}}{0,01} = 360\mu F$$

$$R_{sc} = \frac{0,3}{I_{pk}} = \frac{0,3}{0,34} = 0,88\Omega$$

5.3 Determinação da capacidade no instante inicial

Para determinar a capacidade da bateria no instante inicial, quando a mesma é conectada ao circuito, consideramos mensurá-la por meio da medição da tensão em aberto, isso considerando que o consumo do circuito nesse momento é praticamente nulo. Esse valor pode ser determinado empiricamente baseando-se na Figura 47.

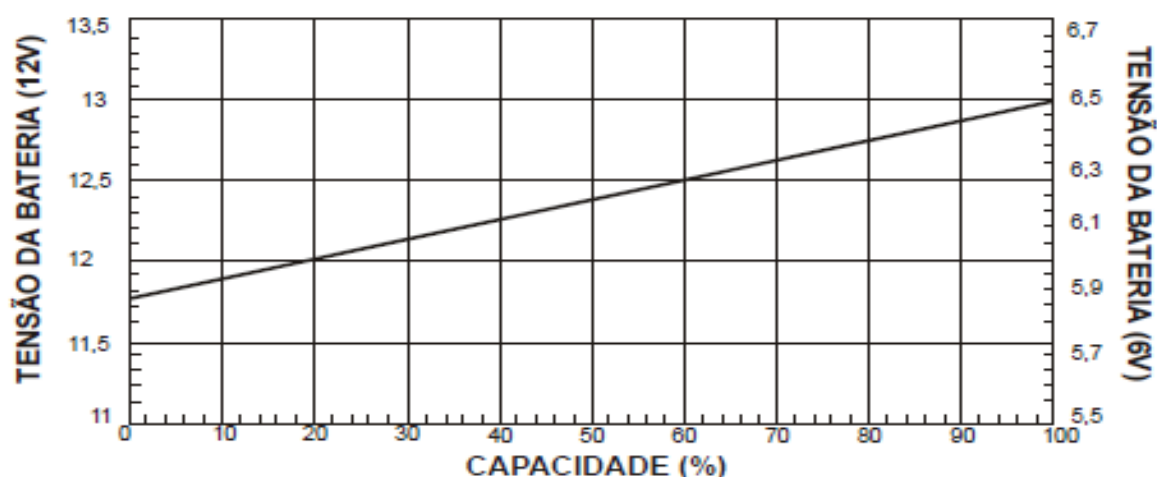


Figura 47. Capacidade remanescente e tensão em circuito aberto. Fonte: Manual Técnico Unipower.

É notável que o gráfico é representado por uma reta, portanto, para determinar a capacidade no instante inicial devemos obter a equação da reta, e o método escolhido foi o método de *Sarrus*.

Mas, antes devemos fazer as seguintes considerações. Como a tensão da bateria é de 12V, não podemos aplicá-la diretamente no microcontrolador, onde a tensão máxima a ser aplicada é 5,5V. Então, para realizar esta adequação entre níveis de tensão foi utilizado um divisor de tensão resistivo. Após feita a adequação, este valor de tensão analógico é convertido para um valor digital, conforme Tabela 3.

Tensão bateria (Vbat) [V]	Saída divisor (Vout(bat)) [V]	Valor digital [bit]
11	3,4375	703
13,5	4,2188	863

Tabela 3. Relação Tensão x Bit. Fonte: dos autores

Assim montamos a seguinte matriz:

$$\begin{bmatrix} 703 & 0 & 1 \\ 863 & 100 & 1 \\ V_{bat} & Capacidade & 1 \end{bmatrix}$$

Solucionando-a, obtemos a seguinte equação da reta:

$$Capacidade = 0,625V_{bat} - 439,375$$

6. Resultados

Para a coleta de dados utilizou-se um resistor de potência de $24,6\Omega$ de 1W na saída da placa solar. Com isso, medimos a corrente de saída fornecida pela placa (onde $I_{om\acute{a}x} = 860\text{mA}$) através de um multímetro tanto para a placa em estado fixo, quanto para a placa em estado móvel (buscando a melhor incidência). Esta busca foi feita manualmente pois o sistema de movimentação não estava energizado.

Mediu-se, então, a corrente de saída a cada meia hora começando às 10h e terminando às 16h, totalizando um período de 06h (metade do ciclo solar visível em condições perfeitas). Dessa forma, foi possível calcular a potência gerada pela placa através da incidência solar, a média da potência por dia e comparar os dois estados da placa.

A média diária da potência gerada foi calculada de forma simples. Somou-se todos os valores coletados e dividiu-se duas vezes, primeiro pelo número correspondentes de dados e segundo pelo número de horas diárias.

Deve-se fazer algumas constatações referente ao ambiente onde os dados foram coletados. Considerando que o sol nasce no Leste e se põe no Oeste, ressalta-se que no ambiente sentido Leste havia uma barreira de luz. Sendo assim, no período da manhã percebe-se uma igualdade de corrente na saída.

Os dados foram coletados, respectivamente, nos dias 25 de junho, 09 de julho e 23 de julho, de acordo com a disponibilidade do grupo para tal feito. Vale lembrar que o hemisfério Sul se encontra no equinócio de inverno, sendo assim, principalmente pelo estado de São Paulo estar situado na linha do Trópico de Capricórnio, a incidência solar se torna mínima em relação as outras estações do ano devido a distância do Sol e o eixo de inclinação da Terra.

Nas Tabelas 4, 5 e 6 pode-se verificar os dados coletados nos dias 25 de junho e 09 e 23 de julho. Já as Figuras 48, 49 e 50 tem-se os gráficos desses respectivos dias comparando o sistema móvel com o sistema fixo.

Hora do dia	Temperatura[°C]	Corrente [mA]		Potência fornecida [W]	
		Fixa	Móvel	Fixa	Móvel
10:30	19	500	500	6,15	6,15
11:00	19	700	710	12,05	12,40
11:30	19	660	640	10,72	10,08
12:00	20	620	620	9,46	9,46
12:30	21	580	600	8,28	8,86
13:00	21	420	610	4,34	9,15
13:30	21	430	630	4,55	9,76
14:00	22	330	640	2,68	10,08
14:30	22	150	680	0,55	11,38
15:00	21	120	690	0,35	11,71
15:30	21	100	660	0,25	10,72
16:00	20	140	560	0,48	7,71
16:30	20	120	340	0,35	2,84
		Média		0,77	1,54

Tabela 4. Dados coletados dia 25 de junho. Fonte: dos autores.

Hora do dia	Temperatura[°C]	Corrente [mA]		Potência fornecida [W]	
		Fixa	Móvel	Fixa	Móvel
10:00	18	670	680	11,04	11,38
10:30	19	660	660	10,72	10,72
11:00	19	700	700	12,05	12,05
11:30	20	680	700	11,38	12,05
12:00	21	670	700	11,04	12,05
12:30	22	600	700	8,86	12,05
13:00	22	540	710	7,17	12,40
13:30	22	520	700	6,65	12,05
14:00	22	30	70	0,02	0,12
14:30	23	80	680	0,16	11,38
15:00	23	170	720	0,71	12,75
15:30	23	120	670	0,35	11,04
16:00	23	100	660	0,25	10,72
		Média		1,03	1,80

Tabela 5. Dados coletados dia 09 de julho. Fonte: dos autores.

Hora do dia	Temperatura[°C]	Corrente [mA]		Potência fornecida [W]	
		Fixa	Móvel	Fixa	Móvel
10:00	19	650	650	10,39	10,39
10:30	19	660	660	10,72	10,72
11:00	20	650	650	10,39	10,39
11:30	22	620	670	9,46	11,04
12:00	24	620	680	9,46	11,38
12:30	24	570	680	7,99	11,38
13:00	24	600	690	8,86	11,71
13:30	25	530	680	6,91	11,38
14:00	26	440	690	4,76	11,71
14:30	26	420	690	4,34	11,71
15:00	26	270	700	1,79	12,05
15:30	26	140	630	0,48	9,76
16:00	26	70	640	0,12	10,08
		Média		1,10	1,84

Tabela 6. Dados coletados dia 27 de julho. Fonte: dos autores.

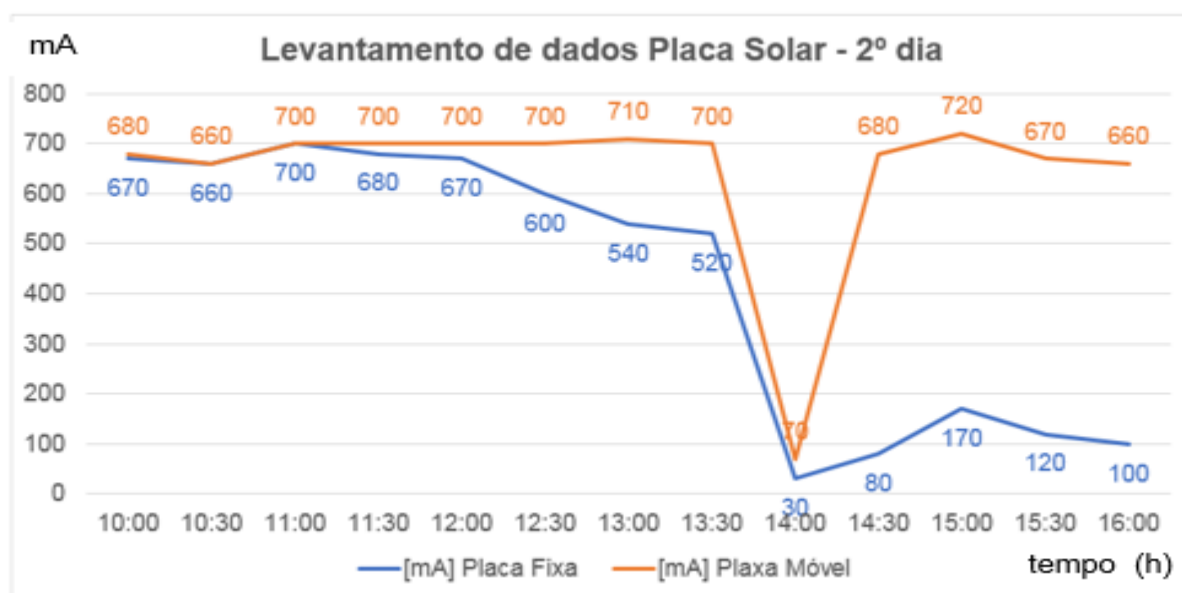


Figura 48. Comparação dos dados obtidos dia 25 de junho. Fonte: dos autores.

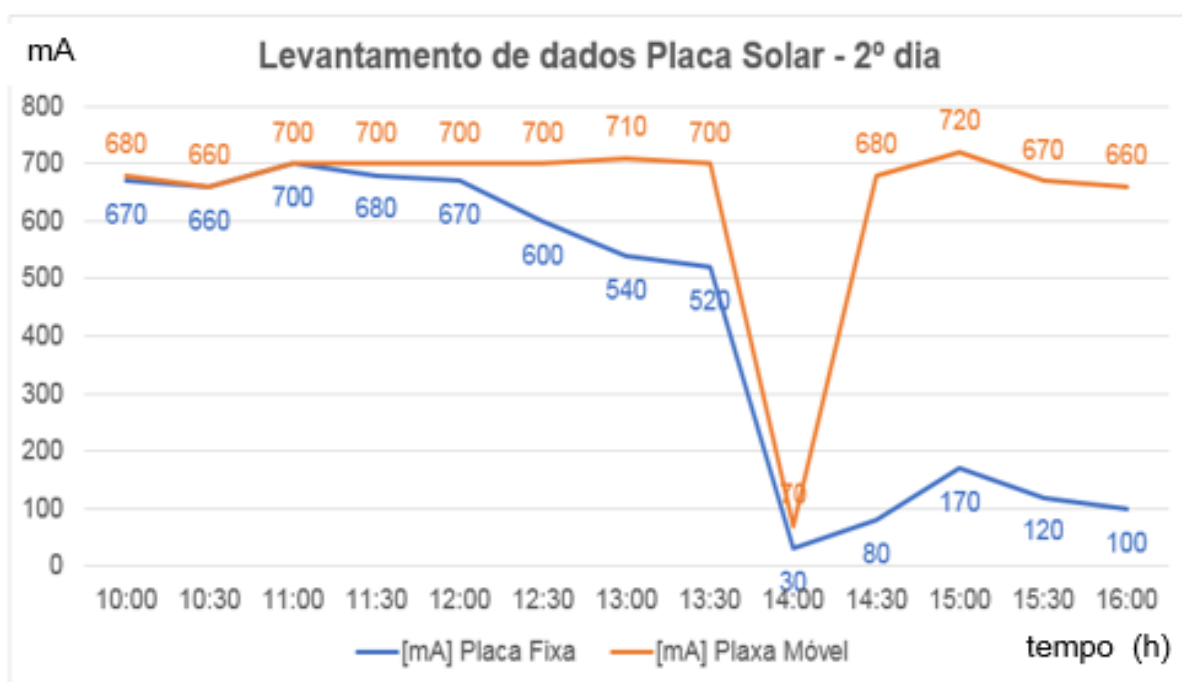


Figura 49. Comparação dos dados obtidos dia 09 de julho. Fonte: dos autores.

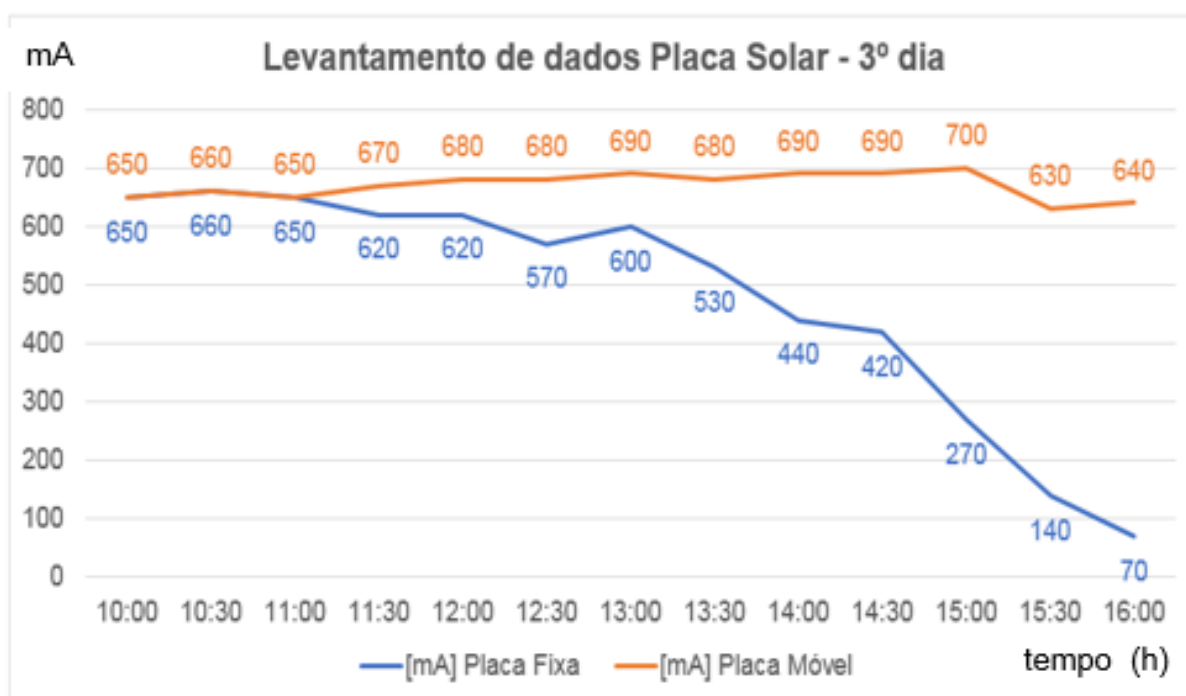


Figura 50. Comparação dos dados obtidos dia 27 de julho. Fonte: dos autores.

Através dos dados coletados, pode-se levantar o gráfico da Figura 51 em relação a potência média diária.

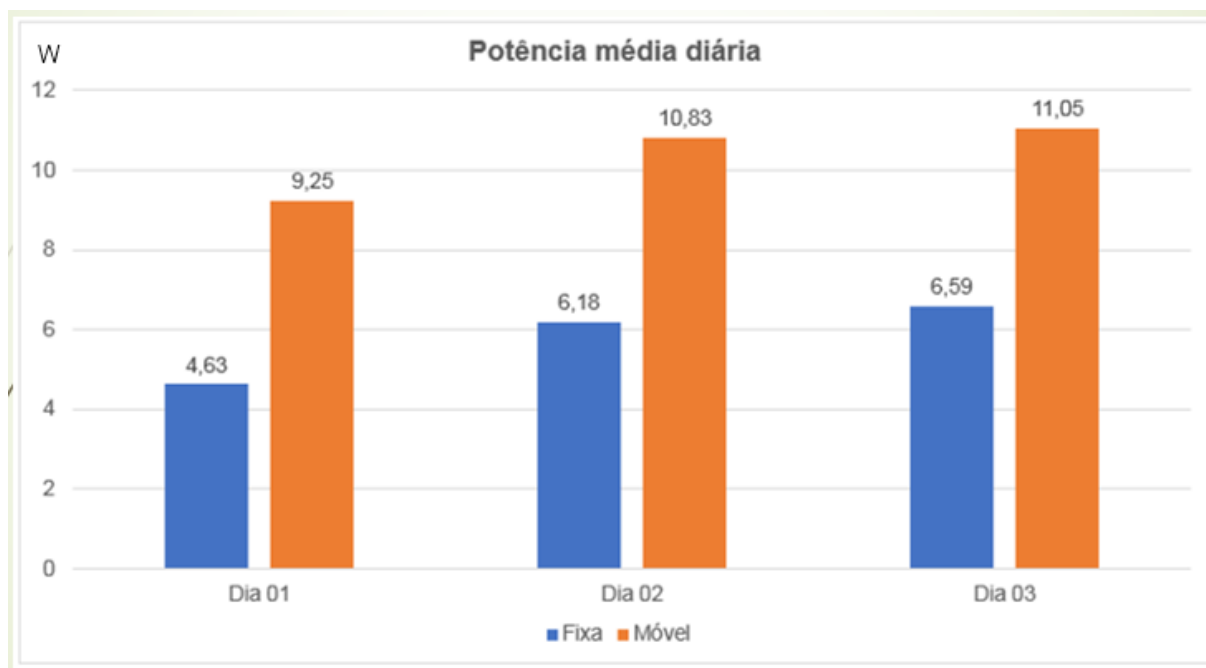


Figura 51. Potência média diária comparando a placa fixa e móvel. Fonte: dos autores

Com base nesse gráfico, pode-se observar que potência média diária gerada é maior na placa móvel em relação a placa fixa.

Calculando os valores percentuais pela fórmula: $\frac{Potência_{Móvel} - Potência_{Fixa}}{Potência_{Móvel}} * 100$ para obter a relação da potência da placa móvel pela placa fixa, tem-se os valores 49,95%, 42,88% e 40,38%.

Com isso, temos uma média de 44,40% de melhora na incidência solar da placa móvel em relação a placa fixa.

6.1 Orçamento

Para a realização deste trabalho, principalmente para a confecção das placas de circuito impresso, foi necessário a compra de diversos componentes eletrônicos. Tendo em vista a importância que o custo de um projeto tem, o valor gasto encontra-se na Tabela 7 a seguir.

Materiais	QTD.	Preço
Servo motor	1	R\$ 13,00
Placa solar	1	R\$ 120,00
Microcontrolador 16F877A	1	R\$ 18,00
Sensores LDR	3	R\$ 0,43
Potenciômetro 10k	5	R\$ 1,79
Resistor 10k	11	R\$ 0,20
Capacitor 100nf	7	R\$ 2,00
Cristal 8MHZ	1	R\$ 4,00
Cristal 32,768kHz	1	R\$ 0,80
Led	3	R\$ 0,60
Capacitor 22nf	2	R\$ 0,50
Capacitor 33nf	2	R\$ 0,60
Resistor 1k	5	R\$ 0,20
Regulador Lm7805	1	R\$ 3,00
Regulador Lm350	1	R\$ 4,00
Capacitor 47uf	2	R\$ 0,70
Capacitor 22uf	1	R\$ 0,30
Capacitor 10uf	1	R\$ 0,80
Capacitor 470uf	2	R\$ 0,80
Diodo in4007	5	R\$ 0,20
Diodo zener 1n5822	3	R\$ 1,00
Resistor 330k	1	R\$ 0,30
Resistor 100k	2	R\$ 0,70
Resistor 2k7	1	R\$ 0,30
Transistor BC547	2	R\$ 3,00
Transistor IRF540N	1	R\$ 2,00
Capacitor 330uf	1	R\$ 1,30
Indutor 1mh	2	R\$ 3,00
Resistor 47	1	R\$ 0,30
Resistor 220k	1	R\$ 0,60
Resistor 1k2	2	R\$ 0,40
Resistor 33k	3	R\$ 0,30
Amplificador lm358n	2	R\$ 6,00
Placa fenolite	3	R\$ 15,00
Capacitor 220uf	1	R\$ 0,80
Fusível 0,25a	1	R\$ 3,00
Transformador tran2p3s	1	R\$ 22,00
Diodo 1n4148	1	R\$ 2,00
Display LCD	1	R\$ 13,00
Resistor 5k8	1	R\$ 0,80
Relé	3	R\$ 6,00
Resistor 1k5	2	R\$ 0,40
Total		R\$ 254,12

Tabela 7. Tabela de orçamento do projeto. Fonte: dos autores

7. Conclusão

Levando em consideração os objetivos apresentados neste trabalho, infere-se que grande parte dos mesmos foram cumpridos, desde promover a movimentação da placa solar a fim de garantir a maior incidência solar sob a mesma e assim gerar mais energia durante o dia, até criar um sistema capaz de gerenciar toda a energia armazenada otimizando sua utilização de acordo com a necessidade da aplicação.

Tendo em vista os dados e resultados apresentados no capítulo 6 deste trabalho, pode-se observar um ganho significativo na potência média diária com o sistema da placa solar móvel em relação a placa solar fixa. Obteve-se uma média de 44,40% de aumento na potência fornecida pela placa solar em relação aos três dias de dados coletados; isso tendo em vista as inúmeras limitações mecânicas e a topologia (movimentação de apenas um eixo) adotada. Com base nisso, conclui-se que, para buscar uma melhor incidência solar, o sistema de movimentação da placa solar é vantajoso e rentável.

Os tópicos relacionados ao baixo consumo energético e a produção de um sistema autossuficiente através da energia gerada pela placa solar que não necessite de energia externa para se manter, são assuntos delicados e que demandam muito tempo de estudo e pesquisa, um sólido conhecimento de sistemas mecânicos, análise minuciosa dos circuitos, acionadores e sensores e um investimento financeiro relativamente alto. Por esse motivo, foram assuntos que não puderam ser totalmente explorados. Sendo assim, no momento não é possível comprovar a autossuficiência do sistema dentro da relação da energia gerada/consumida no circuito.

Portanto, infere-se que os principais objetivos apresentados nesse projeto foram cumpridos tendo em vista o tempo disponível para desenvolvê-los e os recursos técnicos e financeiros acessíveis ao grupo.

8. Projetos futuros

Durante o desenvolvimento do presente projeto foram notados alguns aperfeiçoamentos possíveis, tanto na mecânica do projeto, quanto no sistema de gerenciamento da posição da placa solar.

A principal mudança na constituição mecânica do projeto está relacionada ao sistema de movimentação da placa solar, onde seria feito um estudo a fim de determinar um elemento acionador que ofereça uma grande precisão consumindo a menor quantidade de energia possível. Atualmente o sistema é composto por um servo motor diretamente acoplado a placa solar, o que gera um elevado conjugado agregado ao eixo do mesmo, associando um elevado consumo de corrente a este dispositivo. Portanto, esta alteração é primordial para otimizar ainda mais a eficiência atribuída a energia coletada.

No sistema de gerenciamento de posição da placa solar, são duas as principais mudanças propostas. A primeira delas se relaciona com a interface entre o sistema e o usuário, onde a mesma seria aperfeiçoada para um sistema remoto de monitoramento e testes, por meio de tecnologias relacionadas ao IOT (*Internet Of Things*), esse gerenciamento seria efetuado por um Smartphone no qual modos de funcionamento, parâmetros e avisos estariam à disposição. A segunda é voltada a lógica de movimentação da placa solar, pois em cada estação do ano a incidência solar na Terra muda, alterando assim a “trajetória efetuada pelo sol” durante o dia. De posse dessa informação, um estudo detalhado seria efetuado buscando obter a comparação entre a energia coletada com a placa estática e a placa móvel, com o intuito de esclarecer em quais intervalos de tempo é vantajoso movimentar a placa solar a fim de se obter a melhor incidência com o menor consumo de energia proveniente do motor. Além desse estudo, é necessário implementar um RTC (*Real Time Clock*) caso não haja acesso à internet, a fim de se utilizar data e hora para que seja possível alterar o modo de movimentação de acordo com as estações do ano e a hora dia.

Mudanças como tornar o sistema universal (*on-grid* ou *off-grid*), gerenciamento de várias placas solares simultaneamente e melhorias de hardware são passíveis, mas não primordiais, portanto, podem ser colocadas em segunda instância.

REFERÊNCIAS

ALDABÓ, R. *Energia Solar*. 1 ed. Artliber, São Paulo, 2002.

BLUESOL. *Os Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica*. Livro digital de introdução aos sistemas solares. Disponível em: <http://programaintegradoronline.com.br/wp-content/uploads/2016/03/Livro-Digital-de-Introdu%C3%A7%C3%A3o-aos-Sistemas-Solares-novo.pdf>. Acesso em: maio 2017.

BRAGA, R. P. **Energia solar fotovoltaica: Fundamentos e aplicações**. Dissertação (Graduação) - Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ - Brasil, 2008.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Balanço Energético Nacional 2016. Relatório Síntese. Rio de Janeiro 2016.

CAPTOSOL. Engenharia Solar e Alternativa LTDA. Disponível em: <http://www.captosol.com.br/energia-fotovoltaica>. Acesso em: janeiro 2017.

CRESESB. *Atlas Solarimétrico do Brasil*. Recife: Universitária da UFPE, 2000.

DATASHEET MC 33063 - Disponível em: alldatasheet.com. Acesso em: maio 2017.

FILHO, W. P. **Expansão da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil: Impactos Ambientais e Políticas Públicas**. p. 15, 2015.

FLOP F. *Motores e servo*. Disponível em: <http://blog.filipeflop.com/motores-e-servos/>. Acesso em: maio de 2016.

MANUAL TÉCNICO UNIPOWER - Bateria Chumbo-Ácida Selada Regulada por Válvula. Série UP. Disponível em: <https://www.robocore.net/upload/ManualTecnicoBateriaUnipower.pdf>. Acesso em: janeiro 2017.

MOREIRA, P. F. MILLIKAN, B (Ed.). O setor elétrico brasileiro e a sustentabilidade no século 21: Oportunidades e Desafios. 2. ed. Brasília: International Rivers Network - Brasil, 2012.

PEREIRA, F. *Guia de Manutenção de Instalações Fotovoltaicas*. 1 ed, Anduriña: Publinústria Edições Técnicas, 2012.

PICTRONICS. Servomotor. Disponível em: http://pictronics.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=89:como-funciona-um-servo-motor&catid=43:eletronica-e-automacao&Itemid=2. Acesso em setembro 2016.

RESISTORGUIDE. Disponível em: <http://www.resistorguide.com>. Acesso em out 2016.

SALAMONI, I. T. Metodologia para cálculo de geração fotovoltaica em áreas urbanas aplicada a Florianópolis e Belo Horizonte. Universidade federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC. 2004.

TREVELIN, F. C. *Estudo comparativo entre métodos de rastreamento solar aplicados a sistemas fotovoltaicos*. São Carlos, S, Brasil: Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos, 2014.

Anexo – Programação em C

```

1: /*
2: Este software tem por função movimentar uma placa solar aumentando, assim,
3: a incidência solar e coordenar a energia gerada.
4:
5: - resoluçãoAD = 4,888mv/bit
6:
7: - valor conversão = Vdesejada/resolução_AD
8:
9: - Conversão de corrente de carga em tensão:
10:  $V = (I_{desejada} * 5) / 1,1$ 
11:
12: - Conversão da tensão de bateria em tensão:
13:  $V = (V_{desejada} * 5) / 16$ 
14:
15: - TMR1: destinado a contagem de tempo obtida por meio de um cristal externo de 3
    ,762Khz
16:
17: - TMR0: destinado a gerar o sinal capaz de controlar o posicionamento do servo
18: motor e gerar a sinalização de que as cargas não estão acionadas por a bateria
19: estar descarregada;
20:
21: - AD0: Tensão da bateria
22: - AD1: Corrente de carga
23: - AD2: Verificação da presença de luz solar (dia ou noite)
24: - AD3: Corrente de descarga
25: - AD5: Posicionamento
26:
27: - RB0: Emergência (rede)
28: - RB1: Enter
29: - RB2: Seleciona/++
30: - RB3: Teste de emergência
31:
32: - Rele1: RA4
33: - Rele2: RC3
34: - Rele3: RC4
35:
36: - led1(vermelho): RD6 Informa quando a bateria está carregada, não acionamento
37: por bateria descarregada.
38: - led2(verde): RD5 Informa a contagem de tempo(muda seu estado a cada segundo)
39: */
40:
41: sbit LCD_RS at RD2_bit;
42: sbit LCD_EN at RD3_bit;
43: sbit LCD_D4 at RC5_bit;
44: sbit LCD_D5 at RE2_bit;
45: sbit LCD_D6 at RD0_bit;
46: sbit LCD_D7 at RD1_bit;
47:
48: sbit LCD_RS_Direction at TRISD2_bit;
49: sbit LCD_EN_Direction at TRISD3_bit;
50: sbit LCD_D4_Direction at TRISC5_bit;
51: sbit LCD_D5_Direction at TRISE2_bit;
52: sbit LCD_D6_Direction at TRISD0_bit;
53: sbit LCD_D7_Direction at TRISD1_bit;
54:

```

```

55: #define rele1 RA4_bit
56: #define rele2 RC3_bit
57: #define rele3 RC4_bit
58: #define led1 RD6_bit
59: #define servo RD4_bit
60:
61: unsigned short int x, duty_cycle=0, segundo=0, minuto=0, hora=0, capacidade_per=
100, vaux_tmr0=0, corte_atingido, aux_selecao=1;
62: unsigned short int H1=255, H2=255, H3=255, min1=255, min2=255, min3=255, L1=10,
L2=50, L3=40, aux_autonomia=1, duty=11, vaux_contagem;
63: unsigned int dia_noite, corrente_carga=0, tensao_bateria=0, amostragem=0, corrente
e_descarga=0, posicao=0;
64: bit rede_presente, inicio_carga, plena_carga, rede, autonomia, am_ok, flag_autonom
ia, inicio_autonomia, hab_display, em_autonomia, em_autonomia_R,
ntacao1, hab_movimentacao2;
65: bit autonomia_rede, bot_press, autonomia_emvalto, trava_b3, corte_atingido_R, trav
va_b1, trava_b2, flag1, selecao, hab_display_autonomia, flag_rele1, flag_rele2,
lag_rele3, flag_tmr0;
66: float capacidade= 2, V_bat=0, I_car=0, I_desc=0; //essa variável assume valor
r entre 0 e 7 e é iniciada com algum valor apenas para fins de simulação
67: char impr_short[5]; //variável utilizada na conversão de short para str
68: char impr_float[15]; //variável utilizada na conversão de float para str
69: char txt1[]="Cap="; //texto a ser impresso no lcd
70: char txt2[]="H1=";
71: char txt3[]="Min1=";
72: char txt4[]="H2=";
73: char txt5[]="Min2=";
74: char txt6[]="H3=";
75: char txt7[]="Min3=";
76: char txt8[]="L1=";
77: char txt9[]="L2=";
78: char txt10[]="L3=";
79: char txt11[]="Pres B2:+10";
80: char txt12[]="B3:Enter";
81: char txt13[]="Val.Max.:";
82: char txt15[]="Vbat=";
83: char txt16[]="HR=";
84: char txt17[]="MIN=";
85:
86: void interrupt()
87: {
88: if(TMR1IF_bit)
89: {
90: segundo++;
91: if(habilita_movimentacao1==1) hab_movimentacao2=1; // a placa move-se 1 ste
ep a cada segundo enquanto o posicionamneto ideal não for encontrado
92: if(segundo==21) am_ok=0;
93: if(segundo==41) am_ok=0;
94: if(segundo==60)
95: {
96: am_ok=0;
97: minuto++;
98: segundo=0;
99: hab_display_autonomia=1; //a cada minuto o display é atualizado
100: if(minuto==30) habilita_movimentacao1=1; //a cada 30 minutos a movime
entação da placa é habilitada
101: if(minuto==60){hora++; minuto=0; habilita_movimentacao1=1;} //a cada

```

```

a 30 minutos a movimentação da placa é habilitada
102: }
103: TMR1IF_bit=0;
104: TMR1L = 0xFF; // carga timer1 com 32.768 por ser utilizado u
um cristal // para 1s=0x00 // tempo simulação=0xFF
105: TMR1H = 0xFA; // com esta frequência para gerar o estouro de
1s // para 1s=0x80 // tempo simulação=0xFA
106: PORTD.RD5=~PORTD.RD5;
107: }
108: if(TMR0IF_bit==1)//interrupção por estouro TMR0
109: {
110: if(flag_tmr0==1) vaux_contagem++; //incrementa 2 vezes em um período(17.
.239 ms) do PWM para o servo se "flag_tmr0" for 1 (informar que não foi possível
entrar em autonomia por a bateria estar baixa)
111: if(vaux_contagem==2) {vaux_tmr0++; vaux_contagem=0;} //incrementa 1 em va
aux_tmr0 a cada período(17.239 ms) formado para controlar o servo motor
112: if(vaux_tmr0==15) //caso haja passado 258ms (15*17.239 ms)
113: {
114: vaux_tmr0=0;
115: led1=~led1;
116: }
117:
118: if(servo)
119: {
120: TMR0 = duty;//ficará em 0 por 255-duty(mais tempo)
121: servo = 0;
122: }
123: else
124: {
125: TMR0=255 - duty;//ficará em 1 por 255-(255-duty)menos tempo
126: servo=1;
127: }
128: TMR0IF_bit=0;
129: }
130: }
131:
132: void amostragem_display()
133: {
134: if(hab_display_autonomia==1 && selecao==0)
135: {
136: // Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
137: ShortToStr(capacidade_per, impr_short);
138: Ltrim(impr_short);
139: Lcd_Out(1,4,txt1);
140: Lcd_Out_Cp(impr_short);
141: Lcd_Out_Cp("%"); //Impressão da capacidade
142: }
143: if(hab_display_autonomia==1 && autonomia==1 && selecao==0)
144: {
145: ShortToStr(hora, impr_short);
146: Ltrim(impr_short);
147: Lcd_Out(2,1,txt16);
148: Lcd_Out_Cp(impr_short); //Impressão das horas
149:
150: ShortToStr(minuto, impr_short);
151: Ltrim(impr_short);
152: Lcd_Out(2,10,txt17);

```

```

153: Lcd_Out_Cp(impr_short); //Impressão dos minutos
154:
155: hab_display_autonomia=0;
156: }
157: }
158:
159: void calculos_iniciais()
160: {
161: corrente_descarga= 0; //leitura do canal AD que representa a corrente d
de carga
162: for(x=0;x<10;x++)
163: {
164: corrente_descarga=corrente_descarga+adc_read(3);
165: }
166: corrente_descarga=corrente_descarga/10;
167:
168: H1=((L1*capacidade*3.2)/corrente_descarga);
169: min1=((((L1*capacidade*192)/corrente_descarga)-(60*H1)));
170:
171: H2=((L2*capacidade*3.2)/corrente_descarga);
172: min2=((((L2*capacidade*192)/corrente_descarga)-(60*H2)));
173:
174: H3=((L3*capacidade*3.2)/corrente_descarga);
175: min3=((((L3*capacidade*192)/corrente_descarga)-(60*H3)));
176:
177: Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
178: ShortToStr(H1, impr_short);
179: Ltrim(impr_short);
180: Lcd_Out(1,1,txt2);
181: Lcd_Out_Cp(impr_short);
182:
183: ShortToStr(min1, impr_short);
184: Ltrim(impr_short);
185: Lcd_Out(1,8,txt3);
186: Lcd_Out_Cp(impr_short);
187: // RELE 2
188: ShortToStr(H2, impr_short);
189: Ltrim(impr_short);
190: Lcd_Out(2,1,txt4);
191: Lcd_Out_Cp(impr_short);
192:
193: ShortToStr(min2, impr_short);
194: Ltrim(impr_short);
195: Lcd_Out(2,8,txt5);
196: Lcd_Out_Cp(impr_short);
197: delay_ms(4000);
198: // RELE 3
199: Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
200: ShortToStr(H3, impr_short);
201: Ltrim(impr_short);
202: Lcd_Out(1,1,txt6);
203: Lcd_Out_Cp(impr_short);
204:
205: ShortToStr(min3, impr_short);
206: Ltrim(impr_short);
207: Lcd_Out(1,8,txt7);
208: Lcd_Out_Cp(impr_short);

```

```

209: delay_ms(4000);
210: Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
211: }
212:
213: void ajuste_corrente()
214: {
215: if(autonomia==0 && autonomia_rede==0) //Devido a noite chegar, a carga da bate
eria é cessada
216: {
217: if(inicio_carga==0) //se a carga da bateria acabou de ser iniciada(a
a autonomia de alguma forma foi iniciada)
218: {
219: duty_cycle=255; //represente um duty de 20%
220: PWM1_start();
221: PWM1_Set_Duty(255);
222: inicio_carga=1; //indica que a carga acabou de ser iniciada
223: plena_carga=0; //a plena carga não foi atingida
224: }
225:
226: tensao_bateria= 0; //leitura do canal AD que representa a tensão da
a bateria
227: for(x=0;x<10;x++)
228: {
229: tensao_bateria=tensao_bateria+adc_read(0);
230: }
231: tensao_bateria=tensao_bateria/10;
232:
233: if(tensao_bateria>=869 && plena_carga==0)//se a tensão da bateria for maior
que 13,6V(4,25V), inicia-se o patamar da flutuação, onde passa a ser considerad
o controle da tensão
234: {
235: plena_carga=1; //Indica a chegada ao inicio da flutuação
236: led1=1;
237: }
238:
239: if(tensao_bateria>=882 && plena_carga==1)//se a tensão da bateria for maior
r ou igual que 13,8V(4,3125V), reduz-se o duty
240: {
241: capacidade=7;
242: if(duty_cycle>0) duty_cycle--; //decrementa o duty
243: else duty_cycle=0;
244: PWM1_Set_Duty(duty_cycle); //atualiza o duty do PWM
245: }
246:
247: if(tensao_bateria<=869 && plena_carga==1)//se a tensão da bateria for menor
r ou igual que 13,6V(4,25V), Incrementa o duty
248: {
249: if(duty_cycle<255) duty_cycle++; //incremneteta o duty
250: else duty_cycle=255;
251: PWM1_Set_Duty(duty_cycle); //atualiza o duty do PWM
252: }
253: }
254: else PWM1_Stop(); //caso seja noite, o pwm cessa
255: }
256:
257: void capacidade_carga()
258: {

```



```

259: if(autonomia==0 && autonomia_rede==0)
260: {
261: corrente_carga= 0; //leitura do canal AD que representa a corrente d
de carga
262: for(x=0;x<10;x++)
263: {
264: corrente_carga=corrente_carga+adc_read(1);
265: }
266: corrente_carga=corrente_carga/10;
267: }
268: else
269: {
270: corrente_descarga= 0; //leitura do canal AD que representa a corren
nte de carga
271: for(x=0;x<10;x++)
272: {
273: corrente_descarga=corrente_descarga+adc_read(3);
274: }
275: corrente_descarga=corrente_descarga/10;
276: }
277:
278: if(segundo<=20 && am_ok==0)
279: {
280: amostragem=0;
281: if(autonomia==0 && autonomia_rede==0)
282: {
283: amostragem=amostragem+corrente_carga; //associa a amostragem à corrent
te de carga
284: }
285: else
286: {
287: amostragem=amostragem+corrente_descarga; //associa a amostragem à corrent
te de descarga
288: }
289: am_ok=1;
290: }
291:
292: if(segundo>20 && segundo<=40 && am_ok==0)
293: {
294: if(autonomia==0 && autonomia_rede==0)
295: {
296: amostragem=amostragem+corrente_carga; //associa a amostragem à corrente
e de carga
297: }
298: else
299: {
300: amostragem=amostragem+corrente_descarga; //associa a amostragem à corrent
te de descarga
301: }
302: am_ok=1;
303: }
304:
305: if(segundo>40 && segundo<60 && am_ok==0) //aqui a capacidade será impressa no
display, atualizada a cada 1 min
306: {
307: am_ok=1;
308: if(autonomia==0 && autonomia_rede==0)

```

```

309: {
310: amostragem=amostragem+corrente_carga;//associa a amostragem à corrente
e de carga
311: amostragem=amostragem/3;
312: capacidade=(capacidade+((1.1*amostragem)/61380));
313: if(capacidade>=7) capacidade=7;
314: capacidade_per=capacidade*14.29; //conversão de Ah para %
315: }
316: else
317: {
318: amostragem=amostragem+corrente_descarga;//associa a amostragem à corre
ente de descarga
319: amostragem=amostragem/3;
320: capacidade=(capacidade-((3.2*amostragem)/61380));
321: capacidade_per=capacidade*14.29; //conversão de Ah para %
322: }
323: }
324: }
325:
326: void inicializacao()
327: {
328: tensao_bateria= 0; //leitura do canal AD que representa a tensão da ba
ateria
329: for(x=0;x<10;x++)
330: {
331: tensao_bateria=tensao_bateria+adc_read(0);
332: }
333: tensao_bateria=tensao_bateria/10;
334:
335: capacidade_per=((0.625*tensao_bateria)-439.375);
336: capacidade=capacidade_per/14.29;
337: ShortToStr(capacidade_per, impr_short);
338: Ltrim(impr_short);
339: Lcd_Out(1,1,txt1);
340: Lcd_Out_Cp(impr_short);
341: Lcd_Out_Cp("%");
342: }
343:
344: void emergencia()
345: {
346: tensao_bateria= 0; //leitura do canal AD que representa a tensão da ba
ateria
347: for(x=0;x<10;x++)
348: {
349: tensao_bateria=tensao_bateria+adc_read(0);
350: }
351: tensao_bateria=tensao_bateria/10;
352:
353: dia_noite=0;
354: for(x=0;x<10;x++) //leitura do canal AD que representa o sensor que
indentifica se é dia ou noite
355: {
356: dia_noite=dia_noite+adc_read(2);
357: }
358: dia_noite=dia_noite/10;
359:
360: if(dia_noite<307 && corte_atingido==0) //se for noite(menor que 1,5v) e não h

```

```

houver ocorrido o corte
361: {
362: autonomia=1; //inicia-se a autonomia
363: inicio_carga=0; //zera flag inicio carga
364: plena_carga=0;
365: }
366:
367: if(RB0_bit==1 && corte_attingido_R==0) {autonomia_rede=1; inicio_carga=0; plena
a_carga=0;}//inicia-se autonomia por falta de rede
368:
369: if(RB0_bit==0) {autonomia_rede=0; corte_attingido_R=0;}//indica o término da au
tonomia por falta de rede
370:
371: if(RB3_bit==0 && trava_b3==0)//condição que inicia a autonomia forçada pelo bo
tão conectado ao pino RB3
372: {
373: if(autonomia==0 && bot_press==0) autonomia=1; //se pressionado quando a a
autonomia estiver desabilitada, irá iniciá-la
374: delay_us(400); //delay para debouncing
375: if(autonomia==1 && bot_press==1) autonomia=0; //se pressionado quando a a
autonomia estiver habilitada, irá cessá-la
376: trava_b3=1; //flag que permite "travar" a tecla
377: inicio_carga=0; //Indica que a carga da bateria deve ser reiniciada
378: plena_carga=0;
379: if(bot_press==0) bot_press=1;
380: else bot_press=0;
381: }
382: if(RB3_bit==1 && trava_b3==1) trava_b3=0;
383: /*sempre que não houver luz do dia todas as saídas serão ligadas, já quando não
ouver rede,
384: apenas uma saída será ligada. Por este motivo a autonomia por não haver luz do d
a
385: é majoritária sobre a por ausência de rede*/
386:
387: if((autonomia==1 || autonomia_rede==1) && tensao_bateria<672 && autonomia_emva
alto==0 && flag_tmr0==0)
o da bateria estiver a baixo de 10.5v(3,27V)
388: {
389: //O TMR0 será configurado para informar que as cargas não podem ser aciona
adas por a bateria estar descarregada
390: vaux_tmr0=0;
391: flag_tmr0=1;
392: rele1=0;
393: rele2=0;
394: rele3=0;
395: }
396:
397: if(autonomia==1 && tensao_bateria>=672 && em_autonomia==0) //preferenci
almente, se a autonomia por ser noite ocorrer tensão e a tensão da bateria for
aior que 10.5v(3,27V)
398: {
399: led1=0;
400: flag_tmr0=0;
401: autonomia_emvalto=1;
402: PWM1_Stop(); //Módulo PWM desligado
403: rele1=1; //relé 1 ligado
404: rele2=1; //relé 2 ligado

```

```

405: rele3=1; //relé 3 ligado
406: minuto=0;
407: segundo=0;
408: hora=0;
409: amostragem=0;
410: em_autonomia=1;
411: calculos_iniciais();
412: }
413: if(autonomia_rede==1 && tensao_bateria>=672 && em_autonomia_R==0) //se não,
verifica-se a ausência de rede //preferencialmente, se a autonomia por ser noit
ocorrer tensão e a tensão da bateria for maior que 11.75v(3,67v)
414: {
415: led1=0;
416: flag_tmr0=0;
417: autonomia_emvalto=1;
418: PWM1_Stop(); //MóduloPWM desligado
419: rele1=1; //apenas relé 1 ligado. Áreas com pouca iluminação natural.
420: minuto=0;
421: segundo=0;
422: hora=0;
423: amostragem=0;
424: em_autonomia_R=1;
425: }
426:
427: if((tensao_bateria<672 || capacidade_per==0) && autonomia_emvalto==1) //se a
tensão de corte 10.5v(3,27V) for atingida ou a capacidade estiver em 0%
428: {
429: autonomia_rede=0; //autonomia por ausência de rede desabilitada
430: autonomia=0; //autonomia por ausência de luz do dia desabilitada
431: bot_press=0;
432: autonomia_emvalto=0;
433: corte_attingido=1;
434: corte_attingido_R=1;
435: capacidade=0;
436: capacidade_per=0;
437: Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
438: Lcd_Out(1,1,txt1);
439: Lcd_Out_Cp("0%");
440: capacidade_per=10; //apenas para demonstração
441:
442: }
443:
444: if(autonomia_emvalto==1) led1=0;
445:
446: if(dia_noite>=307 && bot_press==0)//se houver luz do dia(maior ou igual a 1,5v
v) e a "autonomia forçada" estiver desabilitada: autonomia por ausência de luz d
dia desabilitada
447: {
448: //nesse instante a carga da bateria está sendo realizada, por este motivo,
, habilita-se novamente a autonomia
449: autonomia=0;
450: corte_attingido=0;
451: }
452:
453: if(autonomia==0) //se autonomia por ausência de luz for detectada
454: {
455: rele2=0; //relé 2 desligado

```

```

456: rele3=0; //relé 3 desligado
457: em_autonomia=0;
458: if(autonomia_rede==0 && plena_carga==0) //mas relé 1 só desliga se houver
rede presente
459: {
460: rele1=0;
461: flag_tmr0=0;
462: led1=0;
463: em_autonomia_R=0;
464: }
465: }
466: }
467:
468: void calculos()
469: {
470: aux_autonomia++; //quando esta variável for igual a 3, desabilita o desacion
namento dos relés, que fica sendo feito exclusivamente pelo corte de mínima
471:
472: corrente_descarga= 0; //leitura do canal AD que representa a corrente
de carga
473: for(x=0;x<10;x++)
474: {
475: corrente_descarga=corrente_descarga+adc_read(3);
476: }
477: corrente_descarga=corrente_descarga/10;
478:
479: if(rele1==1)
480: {
481: H1=((L1*capacidade*3.2)/corrente_descarga);
482: min1=((L1*capacidade*192)/corrente_descarga)-(60*H1));
483: if(H2==255 && min2==255) {H2=0; min2=0;}
484: if(H3==255 && min3==255) {H3=0; min3=0;}
485: }
486: if(rele2==1)
487: {
488: H2=((L2*capacidade*3.2)/corrente_descarga);
489: min2=((L2*capacidade*192)/corrente_descarga)-(60*H2));
490: if(H1==255 && min1==255) {H1=0; min1=0;}
491: if(H3==255 && min3==255) {H3=0; min3=0;}
492: }
493: if(rele3==1)
494: {
495: H3=((L3*capacidade*3.2)/corrente_descarga);
496: min3=((L3*capacidade*192)/corrente_descarga)-(60*H3));
497: if(H2==255 && min2==255) {H2=0; min2=0;}
498: if(H3==255 && min3==255) {H3=0; min3=0;}
499: }
500: // if(inicio_autonomia==1){inicio_autonomia=0; aux_autonomia=0;}
501: // RELÉ 1
502: Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
503: ShortToStr(H1, impr_short);
504: Ltrim(impr_short);
505: Lcd_Out(1,1,txt2);
506: Lcd_Out_Cp(impr_short);
507:
508: ShortToStr(min1, impr_short);
509: Ltrim(impr_short);

```

```

510: Lcd_Out(1,8,txt3);
511: Lcd_Out_Cp(impr_short);
512: // RELÉ 2
513: ShortToStr(H2, impr_short);
514: Ltrim(impr_short);
515: Lcd_Out(2,1,txt4);
516: Lcd_Out_Cp(impr_short);
517:
518: ShortToStr(min2, impr_short);
519: Ltrim(impr_short);
520: Lcd_Out(2,8,txt5);
521: Lcd_Out_Cp(impr_short);
522: delay_ms(4000);
523: // RELÉ 3
524: Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
525: ShortToStr(H3, impr_short);
526: Ltrim(impr_short);
527: Lcd_Out(1,1,txt6);
528: Lcd_Out_Cp(impr_short);
529:
530: ShortToStr(min3, impr_short);
531: Ltrim(impr_short);
532: Lcd_Out(1,8,txt7);
533: Lcd_Out_Cp(impr_short);
534: delay_ms(4000);
535: Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
536:
537: if(H1==0 && min1==0) {H1=255; min1=255;}
538: if(H2==0 && min2==0) {H2=255; min2=255;}
539: if(H3==0 && min3==0) {H3=255; min3=255;}
540: }
541:
542: void autonomia_inteligente()
543: {
544: if(autonomia==1)
545: {
546: if(hora>=H1 && minuto>=min1 && aux_autonomia<3) flag_rele1=1;
547: if(hora>=H2 && minuto>=min2 && aux_autonomia<3) flag_rele2=1;
548: if(hora>=H3 && minuto>=min3 && aux_autonomia<3) flag_rele3=1;
549: if(flag_rele1==1)
550: {
551: rele1=0;
552: H1=0;
553: min1=0;
554: calculos();
555: hora=0;
556: minuto=0;
557: flag_rele1=0;
558: }
559: if(flag_rele2==1)
560: {
561: rele2=0;
562: H2=0;
563: min2=0;
564: calculos();
565: hora=0;
566: minuto=0;

```

```

567: flag_rele2=0;
568: }
569: if(flag_rele3==1)
570: {
571: rele3=0;
572: H3=0;
573: min3=0;
574: calculos();
575: hora=0;
576: minuto=0;
577: flag_rele3=0;
578: }
579: }
580: }
581:
582: void selecao_tempo()
583: {
584: if(RB2_bit==0 && trava_b2==0) //se o botão b2 for pressionado (entrada
a menu seleção e soma nas variáveis L1, L2 e L3)
585: {
586: trava_b2=1;
587: if(selecao==1) //Caso a seleção esteja em andamento
588: {
589: if(aux_selecao==1) //Se estivermos selecionando L1
590: {
591: L1=L1+10; //soma-se 10 a L1
592: flag1=1; //libera impressão do valor de L1 no LCD
D
593: if(L1>100) L1=0; //Zera L1 caso o mesmo seja maior que 10
00
594: }
595: if(aux_selecao==2) //Se estivermos selecionando L2
596: {
597: L2=L2+10; //soma-se 10 a L2
598: flag1=1; //libera impressão do valor de L2 no LCD
D
599: if(L2>100) L2=0; //Zera L2 caso o mesmo seja maior que 10
00
600: }
601: }
602: if(selecao==0) {selecao=1; flag1=1;} //Instante em que o menu de seleç
ção fica em looping enquanto a mesma não for concretizada
603: } //Isso permite que o mesmo botão
possa efetuar a entrada nesse menu e a soma das variáveis
604: if(RB2_bit==1 && trava_b2==1) trava_b2=0; //Libera b2 para um novo acioname
ento
605: if(flag1==1) //Rotina que imprime os valores d
de L1, L2 e L3 no display
606: {
607: flag1=0; //Desabilita a impressão no displ
lay
608: if(aux_selecao==1) //Impressão de L1
609: {
610: Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
611: Lcd_Out(1,1,txt11);
612: Lcd_Out(2,1,txt12);
613: ShortToStr(L1, impr_short);

```

```

614: Ltrim(impr_short);
615: Lcd_Out(2,9,txt8);
616: Lcd_Out_Cp(impr_short);
617: }
618: if(aux_selecao==2) //Impressão de L2
619: {
620: Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
621: Lcd_Out(1,1,txt11);
622: Lcd_Out(2,1,txt12);
623: ShortToStr(L2, impr_short);
624: Ltrim(impr_short);
625: Lcd_Out(2,9,txt9);
626: Lcd_Out_Cp(impr_short);
627: }
628: }
629:
630: if(RB1_bit==0 && trava_b1==0 && selecao==1) //enter
631: {
632: trava_b1=1;
633: if(aux_selecao==2) //Se estivemos selecionando L2
634: {
635: if((L1+L2)<=100) //Verifica se L2 somado a L1 é menor o
ou igual a 100
636: {
637: L3=100-L1-L2; //Determina o valor de L3
638: aux_selecao=1; //volta a selecionar L1
639: selecao=0; //Sai do looping de seleção
640:
641: Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR); //Impressão dos novos valores de L
L1, L2 e L3
642: ShortToStr(L1, impr_short);
643: Ltrim(impr_short);
644: Lcd_Out(1,1,txt8);
645: Lcd_Out_Cp(impr_short);
646:
647: ShortToStr(L2, impr_short);
648: Ltrim(impr_short);
649: Lcd_Out(1,8,txt9);
650: Lcd_Out_Cp(impr_short);
651:
652: ShortToStr(L3, impr_short);
653: Ltrim(impr_short);
654: Lcd_Out(2,1,txt10);
655: Lcd_Out_Cp(impr_short);
656:
657: delay_ms(4000);
658: Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
659: if(autonomia==1)
660: {
661: rele1=1;
662: rele2=1;
663: rele3=1;
664: calculos_iniciais();
665: hora=0;
666: minuto=0;
667: }
668: }

```



```

669: else //Se (L1+L2)>100
670: {
671: L2=100-L1; //determina o valor máximo de L2
672: aux_selecao=2;
673: flag1=1;
674:
675: Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR); //Mostra o valor máximo de L2 ao usuá
rio
676: Lcd_Out(1,2,txt13);
677: ShortToStr(L2, impr_short);
678: Ltrim(impr_short);
679: Lcd_Out(2,4,txt9);
680: Lcd_Out_Cp(impr_short);
681: delay_ms(4000);
682: }
683: }
684: if(aux_selecao==1 && selecao==1) {aux_selecao=2; flag1=1;}
685: }
686: if(RB1_bit==1 && trava_b1==1) trava_b1=0;
687: }
688:
689: void posicionamento()
690: {
691: posicao=0;
692: dia_noite=0;
693: for(x=0;x<10;x++) //melhora a precisão da leitura do
o canal que verifica o posicionamento da placa
694: {
695: posicao=posicao+adc_read(5);
696: }
697: posicao=posicao/10; //tira a média do valor ad AN5
698: for(x=0;x<10;x++) //melhora a precisão da leitura do
canal que verifica se é dia ou noite
699: {
700: dia_noite=dia_noite+adc_read(2);
701: }
702: dia_noite=dia_noite/10; //tira a média do valor ad AN0
703:
704: if(dia_noite<307) // se for noite; retornar sucintamente à posição 0
705: {
706: if(duty > 11)
707: {
708: duty--;
709: delay_ms(300);
710: }
711: habilita_movimentacao1=0;
712: }
713:
714: if(488<=posicao && posicao<=542) {habilita_movimentacao1=0; hab_movimentacao2
2=0;} //se a placa solar já estiver na melhor posição, desabilita a movimentação
715:
716: if(hab_movimentacao2==1 && dia_noite>=307) //se a tensão for maior ou igual q
ue 1,5V (se for dia) e a movimentação estiver liberada; faz a correção
717: {
718: if(posicao>542) //se a tensão for maior que 2,93V -
- 2,65 (celular = 600, COB = 542)
719: {

```

```

720: duty++;
721: if(duty >= 34) duty = 34;
722: }
723: if(posicao<488) //se a tensão for menor que 1,956V
- 2,39 (celular = 400, COB = 488)
724: {
725: duty--;
726: if(duty <= 11) duty = 11;
727: }
728: hab_movimentacao2=0; // permite que o próximo step seja efetuado apen
nas no próximo segundo
729: }
730: }
731:
732: void main() {
733: /* INICIALIZAÇÃO REGISTRADORES*/
734: CMCON=0x07; // desabilita os comparadores
735: TRISA=0b11101111;
736: PORTA=0b00000000;
737: TRISB=0b00001111;
738: PORTB=0b00000000;
739: TRISC=0b00000011;
740: PORTC=0b00000000;
741: TRISD=0b00000000;
742: PORTD=0b00000000;
743: TRISE=0b00001011;
744: PORTE=0b00000000;
745: PCFG0_bit=0;//
746: PCFG1_bit=0;// PCFGX configuram quais pinos serão selecionados como analógicos o
ou digitais,
747: PCFG2_bit=0;// no caso, de AN0 a AN7 são selecionados como analógicos com referê
ência interna
748: PCFG3_bit=0;//
749: /*INICIALIZAÇÃO PREIFÉRICOS*/
750: Lcd_Init();
751: adc_init();
752: PWM1_Init(5000);
753: /*CONFIGURAÇÃO REGISTRADORES DAS INTERRUPÇÕES*/
754: GIE_bit = 1; //habilita interrupções globais
755: PEIE_bit = 1; //habilita interrupções dos periféricos
756: TMR1IE_bit = 1; //habilita interrupção do timer 1
757: RBIE_bit = 0; //desabilita interrupção por mudança de estado no portb 7:4
758: INTE_bit = 0; //desabilita interrupção externa no pino RB0
759: /*CONFIGURAÇÃO TIMER 1*/
760: T1CON = 0b00000111; //PR=1:1, Oscilador externo, não sincronizado, habilita o
o timer 1
761: TMR1IF_bit = 0;
762: TMR1L = 0x00; // carga timer1 com 32.768 por ser utilizado um cristal
l
763: TMR1H = 0x80; // com esta frequência para gerar o estouro de 1s
764: /*CONFIGURAÇÃO TIMER0*/ //Estas configurações foram baseadas em um clock de 15.206
64Mhz
765: OPTION_REG=0b00000011; //baseado no ciclo de máquina, prescaler associado ao TM
MR0, PR=8
766: TMR0IE_bit=1; //interrupção do timer 0 desabilitada
767: TMR0IF_bit=0; //flag de interrupção tmr0 =0
768: TMR0 =18; //carga que representa um estouro de 1ms

```

```
769: /*INICIALIZAÇÃO VARIÁVEIS*/
770: rede_presente=0;
771: inicio_carga=0;
772: plena_carga=0;
773: rede=1;
774: autonomia= 0;
775: am_ok=0;
776: autonomia=0;
777: autonomia_rede=0;
778: inicio_carga=0;
779: bot_press=0;
780: autonomia_emvalto=0;
781: corte_atingido=0;
782: trava_b3=0;
783: corte_atingido_R=0;
784: flag_autonomia=0;
785: inicio_autonomia=0;
786: hab_display_autonomia=0;
787: hab_display_autonomia=0;
788: em_autonomia=0;
789: em_autonomia_R=0;
790: flag_rele1=0;
791: flag_rele2=0;
792: flag_rele3=0;
793: habilita_movimentacao1=0;
794: hab_movimentacao2=0;
795: flag_tmr0=0;
796: /*COMANDOS INICIALIZAÇÃO LCD*/
797: Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
798: Lcd_Cmd(_LCD_CURSOR_OFF);
799: inicializacao();
800:
801: while(1)
802: {
803: ajuste_corrente();
804: capacidade_carga();
805: selecao_tempo();
806: amostragem_display();
807: emergencia();
808: autonomia_inteligente();
809: posicionamento();
810: }
811: }
```