

**UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
MESTRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

ROBSON FERREIRA

**SISTEMA INTELIGENTE BASEADO EM LÓGICA PARACONSISTENTE PARA
OTIMIZAÇÃO DE POSICIONAMENTO DE PAINÉIS COLETORES DE
ENERGIA SOLAR**

**SANTOS/SP
2018**

ROBSON FERREIRA

**SISTEMA INTELIGENTE BASEADO EM LÓGICA PARACONSISTENTE PARA
OTIMIZAÇÃO DE POSICIONAMENTO DE PAINÉIS COLETORES DE
ENERGIA SOLAR**

Dissertação apresentada à Universidade Santa Cecília como parte dos requisitos para obtenção de título de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, sob orientação do Prof. Dr. João Inácio da Silva Filho.

SANTOS/SP

2018

Autorizo a reprodução parcial ou total deste trabalho, por qualquer que seja o processo, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos.

Ferreira, Robson.

Sistema Inteligente Baseado em Lógica Paraconsistente para Otimização de Posicionamento de Painéis Coletores de Energia Solar/Robson Ferreira. -- 2018.

52 f.

Orientador: João Inácio da Silva Filho.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Santa Cecília, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Santos, SP, 2018.

1. Energia solar. 2. Sistema Inteligente. 3. Lógicas não Clássicas 4. Lógica Paraconsistente.

I. Da Silva Filho, João Inácio

II. Sistema Inteligente Baseado em Lógica Paraconsistente para Otimização de Posicionamento de Painéis Coletores de Energia Solar.

Elaborada pelo SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas - Unisanta

Dedico este trabalho a minha esposa Mariana Camargo que me deu o apoio necessário para realizar mais esta fase de minha vida.

AGRADECIMENTOS

Nesta importante conquista quero expressar os meus sinceros agradecimentos ao meu orientador Prof. Dr. João Inácio da Silva Filho pelo apoio necessário ao desenvolvimento e realização deste trabalho.

Ao Prof. José do Carmo pelas valiosas observações, comentários e sugestões para o aprimoramento e viabilização do projeto apresentado.

Ao Prof. Me. Humberto de Sousa pelas observações e sugestões de suma importância relacionadas a Lógica *Paraconsistente*.

Ao Prof. Me. Claudio Santos que me deu a honra e oportunidade de estudar e trabalhar como professor de engenharia na Esamc.

Aos meus colegas professores e alunos: Anderson Brasil, Gabriel Gomes Mendonça, Osmar Quintas, e amigos que proporcionaram inestimável ajuda técnica para realização desta pesquisa.

Meu muito obrigado, também, a todos os professores e amigos da ETEC Aristóteles Ferreira, cuja valiosa presença muito contribuiu não só como ensinamento para o trabalho aqui presente, mas também como um precioso conjunto de vivências, em um importante momento para mim.

RESUMO

O presente estudo visou desenvolver um sistema inteligente de rastreamento solar auto orientado e sua prototipação, com o objetivo de rastrear a trajetória do sol ao longo do dia em busca de seu ponto de rendimento máximo, buscando a obtenção do maior índice de eficiência possível do painel fotovoltaico, quando comparado ao painel fixo. Desta forma, foi desenvolvido um protótipo de rastreador solar com um sistema inteligente acoplado, utilizando como base os algoritmos de uma família de lógicas não-clássicas, denominada de Lógica Paraconsistente, que demonstra ser mais eficiente para o tratamento de incertezas, sendo flexível para tratar informações representativas de situações incertas. Foram realizados testes durante três dias utilizando o protótipo e seu sistema inteligente, com a obtenção de resultados que demonstraram a eficiência do sistema. As amostragens de tensão obtidas durante as medições apresentaram resultados superiores em até 38,61% quando comparados ao painel fixo em alguns momentos do dia. Considerando a média geral de desempenho do painel auto orientado obtida ao longo do experimento, o ganho de eficiência do sistema de coleta de energia solar com o Controle Paraconsistente foi de 21,41%.

Palavras Chave: sistema inteligente. Lógica Paraconsistente Anotada com anotação de dois valores (LPA2v). painéis solares, painel solar móvel. energia solar.

ABSTRACT

The present study aimed to develop an intelligent system of self-directed solar tracking and its prototyping, with the objective of tracking the sun's trajectory throughout the day in search of its maximum power point, in order to obtain the highest possible efficiency index of the panel photovoltaic when compared to the fixed panel. In this way, a prototype solar tracker with a coupled intelligent system was developed, based on the algorithms of a family of non-classical logics, called Paraconsistent Logic, which proves to be more efficient for the treatment of uncertainties, being flexible to treat representative of uncertain situations. Three-day tests were performed using the prototype and its intelligent system, with results that demonstrated the efficiency of the system. The voltage samplings obtained during the measurements presented superior results in up to 38.61% when compared to the fixed panel at some times of the day. Considering the overall average performance of the self-oriented panel obtained throughout the experiment, the efficiency gain of the solar energy collection system with the Paraconsistent Control was 21.41%.

Keywords: intelligent system. Paraconsistent Annotated Logic (PAL). Paraconsistent Annotated Logic with annotation of two values PAL2v. solar panels. mobile solar panel. solar energy.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Exemplo de uma Rede Neural Artificial de 2 camadas com 4 entradas e 2 saídas	17
Figura 2 - Reticulado Representativo De Hasse	21
Figura 3 - Diagrama de Hasse - reticulado "quatro estados"	22
Figura 4 - Representação Do Algoritmo De Análise Paraconsistente Da LPA2v Com Saída De Grau De Evidência Resultante Real.	24
Figura 5 – Placa Arduino “Uno”	28
Figura 6 – Arduino <i>Development Enviroment</i> (IDE).....	28
Figura 7 – Placas controladoras montadas em uma placa de circuito impresso.	29
Figura 8 – Esquema elétrico da placa controladora.	30
Figura 9 – Painel Solar utilizado no protótipo.	31
Figura 10 – Circuito Elétrico Do Controlador De Carga E Circuito De Alimentação. .	33
Figura 11 - Motor de Passo.....	33
Figura 12 – Circuito para acionamento do motor de passo, baseado no integrado ULN2003A.	34
Figura 13 – Esquema do sistema de controle do painel solar.	36
Figura 14 – Imagem do Protótipo.....	37
Figura 15 – Resultado do NAP durante o primeiro dia de experimento com medidas de 15 em 15 minutos relacionado a proposição “O painel está plenamente iluminado”	38
Figura 16 - Resultado do NAP durante o segundo dia de experimento com medidas de hora em hora relacionado a proposição “O painel está plenamente iluminado”. ..	39
Figura 17 – Resultado do NAP durante o terceiro dia de experimento com medidas de hora em hora relacionado a proposição “O painel está plenamente iluminado”. ..	40
Figura 18 - Gráfico de potência média versus tempo – Dia 1	45
Figura 19 - Gráfico de potência média versus tempo – Dia 2	45
Figura 20 - Gráfico de potência média versus tempo – Dia 3	45
Figura 21 - Imagem do Protótipo.....	50

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1 - Valores de potência coletados nos testes - Dia 1	40
Tabela 2 - Valores de potência coletados nos testes – Dia 2	41
Tabela 3 - Valores de potência coletados nos testes – Dia 3	42
Tabela 4 - Desempenho médio comparado ao painel fixo.	44
Tabela 5 - Valores médios de potência coletados nos testes.	51
Tabela 6 - Desempenho médio comparado ao painel fixo.	52

LISTA DE SIGLAS

AVR - MICROCONTROLADOR ATMEL

DC/AC – CONVERSOR CORRENTE CONTINUA PARA CORRENTE ALTERNADA

HZ - HERTZ

IDE - AMBIENTE DE DESENVOLVIMENTO INTEGRADO

IGBTC - CHAVEADOR DE POTÊNCIA BIPOLAR DE GATE ISOLADO

LDR - LIGHT DEPENDENT RESISTOR

LP - LÓGICA PARACONSISTENTE

LPA - LÓGICA PARACONSISTENTE ANOTADA

LPA2V - LÓGICA PARACONSISTENTE ANOTADA COM ANOTAÇÃO DE DOIS VALORES

MPP - PONTO DE ENERGIA MÁXIMA

MPPT - MAXIMUM POWER POINT TRACKER

MWP - MEGA WATTS DE POTÊNCIA

NAPS - NÓS DE ANÁLISES PARACONSISTENTE

PCI - PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO

RNAS - REDES NEURAS ARTIFICIAIS

USB - UNIVERSAL SERIAL BUS

WATTS - POTÊNCIA

LISTA DE SÍMBOLOS

μ_1 - GRAU EVIDENCIA FAVORÁVEL

λ - GRAU EVIDENCIA DESFAVORÁVEL

μ_{ER} - GRAU DE EVIDENCIA RESULTANTE

λ_{ER} - GRAU DE EVIDENCIA DESFAVORÁVEL RESULTANTE

LPA - LÓGICA PARACONSISTENTE ANOTADA

LPA2V - LÓGICA PARACONSISTENTE ANOTADA DE ANOTAÇÃO COM DOIS VALORES

QUPC - QUADRADO UNITÁRIO NO PLANO CARTESIANO

GIT - GRAU DE INCONSISTÊNCIA

GID - GRAU DE INDEFINIÇÃO

GF - GRAU DE FALSIDADE

GV - GRAU DE VERDADE

GC - GRAU DE CERTEZA

GI - GRAU DE INCERTEZA

T – INCONSISTENTE

V - VERDADEIRO

F - FALSO

\perp - INDETERMINADO OU PARACOMPLETO

$T \rightarrow V$ - INCONSISTENTE TENDENDO AO VERDADEIRO

$T \rightarrow F$ - INCONSISTENTE TENDENDO AO FALSO

$\perp \rightarrow V$ - INDETERMINADO TENDENDO AO VERDADEIRO

$\perp \rightarrow F$ - INDETERMINADO TENDENDO AO FALSO

$QV \rightarrow T$ - QUASE VERDADEIRO TENDENDO AO INCONSISTENTE

$QF \rightarrow T$ - QUASE FALSO TENDENDO AO INCONSISTENTE

$QV \rightarrow \perp$ - QUASE VERDADEIRO TENDENDO AO INDETERMINADO

$QF \rightarrow \perp$ - QUASE FALSO TENDENDO AO INDETERMINADO

$F \rightarrow \perp$ - FALSO TENDENDO AO INDETERMINADO

$V \rightarrow \perp$ - VERDADEIRO TENDENDO AO INDETERMINADO

$F \rightarrow T$ - FALSO TENDENDO AO INCONSISTENTE

$V \rightarrow T$ - VERDADEIRO TENDENDO AO INCONSISTENTE

Q-V - QUASE VERDADEIRO

SUMÁRIO

1-	INTRODUÇÃO	13
1.1	OBJETIVO	14
1.2	OBJETIVOS SECUNDÁRIOS	14
1.3	JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TEMA	14
1.4	ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	16
1.5	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
1.5.1	FUNDAMENTOS DA LÓGICA PARACONSISTENTE ANOTADA	19
1.5.2	LÓGICA PARACONSISTENTE ANOTADA COM ANOTAÇÃO DE 2 VALORES - LPA2V	21
1.5.3	ALGORITMO DE ANÁLISE PARACONSISTENTE - NAP	23
1.5.4	ALGORITMO DE ANÁLISE PARACONSISTENTE DA LPA2V COM SAÍDA DE GRAU DE EVIDÊNCIA RESULTANTE REAL.....	23
2.	MATERIAIS E MÉTODOS	26
2.1	PROTOTIPAÇÃO DO PAINEL SOLAR AUTO ORIENTÁVEL	26
2.2	<i>HARDWARE</i> UTILIZADO	26
2.3	PLACA CONTROLADORA.....	29
2.5	BATERIAS E CONTROLADORES DE CARGA.....	32
2.7	CONSTRUÇÃO DO SISTEMA ESPECIALISTA PARACONSISTENTE	35
3.	RESULTADOS	37
4.	DISCUSSÃO	44
6.	VERSÃO COMPACTA.....	48
	REFERÊNCIAS	53
	APÊNDICE A – Programa do Painel Auto Orientável	57

1- INTRODUÇÃO

Neste trabalho foi desenvolvido um sistema inteligente que procura maior eficiência em eletricidade obtida através de energia solar utilizando a Lógica Paraconsistente Anotada (LPA).

Um dos equipamentos mais importante sobre este projeto é a célula fotovoltaica, ou célula solar, que capta a energia do sol. O físico francês Alexandre Edmond Becquerel observou pela primeira vez o efeito fotovoltaico ainda em 1839, quando verificou a produção de uma pequena diferença de potencial em placas metálicas de platina ou prata quando mergulhadas em um eletrólito e expostas à luz.

A energia fotovoltaica teve de esperar o desenvolvimento de grandes trabalhos científicos, como por exemplo, a teoria do efeito fotoelétrico de Einstein em 1905, o advento da mecânica quântica, a teoria de bandas, a física dos semicondutores, assim como as técnicas de purificação e dopagem associadas ao desenvolvimento do transistor de silício, para então poder dar continuidade ao seu desenvolvimento. Em 1954, a primeira célula solar moderna foi apresentada. Tinha dois centímetros quadrados de área e uma eficiência de 6%, gerando 5 mW de potência elétrica. A demonstração para a sociedade da chamada “pilha solar” consistiu numa transmissão via rádio de algumas palavras usando um sistema portátil alimentado por uma célula solar. A descoberta foi publicada como o registro de “uma nova era” e a “realização de um dos mais belos sonhos da humanidade” (VALLÉRA et al., 2006).

Porém, somente após o advento de alguns desenvolvimentos científicos ocorridos na primeira metade do século XX, tais como, o desenvolvimento da mecânica quântica com a teoria de bandas e a física dos semicondutores, foi possível, em março de 1953, desenvolver a primeira célula solar de silício pelo físico Gerald Pearson (VALLÉRA et al., 2006).

Em 2004, cinquenta anos depois que a primeira célula solar moderna foi apresentada publicamente, foram produzidas cerca de um milhão de células, com eficiências da ordem dos 16%, ultrapassando, pela primeira vez, a barreira de 1 GW de potência elétrica anual instalada (SANGGAARD; KREBS, 2004; VALLÉRA; BRITO, 2006).

1.1 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi apresentar um sistema de auto orientação de um painel fotovoltaico, baseado na Lógica Paraconsistente Anotada – LPA buscando o ponto de rendimento máximo do painel, de forma a obter uma *performance* superior, quando comparada a sua posição fixa, sistema clássico e mais comumente empregado.

1.2 OBJETIVOS SECUNDÁRIOS

Os objetivos secundários deste trabalho consistiram em:

- a) Construção de um protótipo utilizando o microcontrolador ATMEGA328 e suas ligações com os componentes mecânicos e o painel solar, construído no laboratório de eletrotécnica da ETEC Aristóteles Ferreira.
- b) Realização de análises comparativas em tempo real, considerando as condições climáticas do dia do experimento, para monitorar a *performance* do sistema de auto-orientação quando comparado a sua versão fixa.

1.3 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TEMA

As células fotovoltaicas atualmente se destacam por sua característica modular, pela possibilidade de geração descentralizada de energia e pela facilidade de instalação e manutenção dos sistemas. Pelo fato de ser uma fonte limpa de geração de energia, têm sido objeto dos mais diversos estudos sobre o assunto. Devido à crise de energia que o mundo passa atualmente e a necessidade de se encontrar meios de auto sustentabilidade, as pesquisas que tratam de controle e monitoramento para se obter bons índices de eficiência em energia renovável como a solar, torna-se bastante interessantes nos centros de pesquisa mundiais. Uma das abordagens muito utilizadas é o desenvolvimento de equipamentos de seguimento solar com o objetivo de manter a superfície de conversão sempre voltada para o Sol, de forma a obter resultados mais satisfatórios em eficiência energética neste tipo de geração (GREEN, 2001).

A fim de manter alta potência de saída e estabilidade da energia solar no sistema de energia, um sistema de rastreamento de alta precisão é necessário com a finalidade de seguir a trajetória do sol desde o amanhecer até o anoitecer (CHONG e WONG, 2010).

Quando considerada a experiência internacional, principalmente de países europeus com esta tecnologia, é demonstrado um aumento da eficiência e diminuição dos custos de implantação deste tipo de sistema. A taxa de inovação neste segmento é muito maior do que nos demais setores de energia, chegando próxima a de setores como de TI, com suas mudanças constantes (ABINEE, 2012).

De acordo com o documento *Propostas para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira*, conduzido pelo Grupo Setorial de Sistemas Fotovoltaicos da ABINEE (Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica), a inserção do Brasil neste setor irá requerer medidas simultâneas e sincronizadas de incentivo à demanda e à oferta.

Por esses motivos, a relevância de explorar a energia fotovoltaica no Brasil e encontrar formas de aumentar a eficiência da sua obtenção tem se mostrado como um campo promissor de pesquisa, visto que a energia solar de geração fotovoltaica é a menos consumida entre as formas renováveis que compõem a matriz elétrica do Brasil. Apenas 0,01% do que foi gerado no país em 2015 resultou dessa tecnologia, que usa painéis de silício para coletar raios de luz solar. Essa modalidade é, no entanto, a fonte preferida de quem escolhe gerar eletricidade para consumo próprio.

Estimativas de consumo dão conta de uma demanda doméstica de 81MW no Brasil em 2016, sendo 24MW de geração centralizada e 57 MWp de geração distribuída, ao passo que a capacidade instalada na China, já se aproxima dos 43,5 GWp.

O estudo *Global Market Outlook For Photovoltaics 2014-2018* aponta que recentes mudanças na dinâmica de mercado, no apoio político e foco geográfico gerou um clima de incertezas no mercado de geração de energia solar na Europa, dificultando seu desenvolvimento após um longo período de crescimento e inovação.

Este mesmo estudo revela que, fora da Europa, o potencial de crescimento deste mercado permanece intacto, surgindo inúmeros projetos em dezenas de países que poderiam se tornar um grande mercado. Neste sentido, existem algumas questões-chave que devem ser trabalhadas nesses países para acelerar este processo, como política, competitividade e consolidação do setor que desempenham

um papel importante na determinação de como a evolução do mercado deve ocorrer. Diante deste cenário, observa-se que a capacidade de geração de energia solar fotovoltaica vem crescendo significativamente desde 2003. Apenas em 2015, foram implementados no mundo cerca de 50 GW de capacidade instalada de geração, um aumento de 25% em relação a 2014. A taxa de crescimento anual composta da capacidade instalada de geração de energia solar fotovoltaica entre 2000 e 2015 foi de aproximadamente 41% (IEA, 2015).

O enorme potencial da energia solar fotovoltaica e seus benefícios para a sociedade são mais evidentes do que nunca, tornando-se um componente dominante dentro do sistema de energia.

1.4 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Esta Dissertação está organizada da seguinte forma: neste primeiro capítulo mostrou-se os objetivos do trabalho, a justificativa e relevância do tema. Ainda no primeiro capítulo será apresentada uma breve fundamentação teórica, contendo um histórico sobre sistemas de rastreamento solar utilizando lógicas não-clássicas, bem como alguns conceitos da Lógica Paraconsistente e seus principais algoritmos. No segundo capítulo serão apresentados os materiais e métodos utilizados para a prototipação de um Painel Solar, seus principais componentes e a lógica utilizada na construção do sistema especialista Paraconsistente. No terceiro capítulo serão apresentados os resultados da aplicação prática do experimento. No quarto capítulo é feita uma discussão acerca dos resultados gerados em relação à tensão e potência e o comparativo entre o painel móvel e fixo. No quinto capítulo serão apresentadas as principais conclusões em relação a este experimento.

1.5 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

É essencial operar a célula solar próxima de seu ponto máximo para que a máxima potência elétrica dela seja extraída (DELL e RAND, 2004).

O processo de busca pelo ponto de máxima potência, segundo Torres (1998), pressupõe que o gerador fotovoltaico esteja sempre colocado para operar sob suas máximas características de tensão e corrente, sendo estas condições variáveis de acordo com o tipo de equipamento e considerando o que é possível dentro das

condições de iluminação do local, podendo diversas soluções serem adotadas neste sentido.

O *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) ou Rastreamento do Ponto Máximo de Potência é uma técnica de controle usada para controlar um painel fotovoltaico de tal forma que ele irá operar em sua potência máxima, extraíndo o melhor das condições do tempo (DUBEY e JOSHI, 2012).

Para Mahamudul, Saad E Henk (2013), a aplicação da metodologia com sistemas MMPT é a mais popular porque melhora a eficiência do sistema. Mas o custo inicial de um sistema fotovoltaico com a técnica MPPT é muito alto. Por isso a importância de realizar uma simulação antes de ir para aplicação prática.

Anil, 2013 diz que em qualquer sistema fotovoltaico, a potência de saída pode ser aumentada localizando o MPP (ponto de energia máxima) do módulo por meio de um controlador ligado a um conversor DC/AC (geralmente conversor *boost*).

Uma das formas de se fazer esta modelagem é através das Redes Neurais Artificiais (RNAs), que tem como característica principal a tentativa de criar elementos independentes que atuem de forma similar aos neurônios humanos.

Uma Rede Neural Artificial (RNA) pode ser definida como sendo uma estrutura de processamento (rede), passível de implementação em dispositivos eletrônicos, composta por um número de unidades interconectadas (neurônios artificiais), sendo que cada unidade apresenta um comportamento específico de entrada/saída (computação local), determinado pela sua função de transferência, pelas interconexões com outras unidades, dentro de um raio de vizinhança, e possivelmente pelas entradas externas (CASTRO e ZUBEN, 2003).

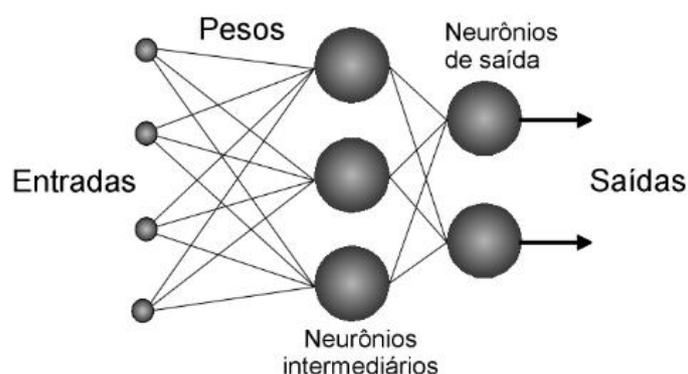


Figura 1 - Exemplo de uma Rede Neural Artificial de 2 camadas com 4 entradas e 2 saídas.

Rai et al. (2010) validaram a exatidão do sistema em um modelo de simulação de um MPPT baseado nas Redes Neurais Artificiais (RNA), empregando diversos testes para controle de um painel solar. O controlador RNA se encarregou das tensões e correntes correspondentes a uma máxima potência entregue pelo painel fotovoltaico para radiação solar e temperaturas variáveis.

Recentemente, controladores de Lógica *Fuzzy* foram introduzidos no seguimento da MPP em sistemas fotovoltaicos. Eles têm a vantagem de ser robustos e relativamente simples de conceber. Em contrapartida, eles exigem o conhecimento completo do funcionamento do sistema fotovoltaico pelo projetista (ANIL, 2013).

O controle por lógica *Fuzzy* tornou-se popular durante a última década porque ele pode lidar com entradas imprecisas, não precisa de um modelo matemático preciso e pode lidar com não-linearidade. Microcontroladores também ajudaram na popularização do controle da lógica *Fuzzy* (ESRAM e CHAPMAN, et al 2007).

Gomide, Gudwin e Tanscheit (1995) definem a Lógica *Fuzzy* (Nebulosa) como a lógica que suporta os modos de raciocínio que são aproximados ao invés de exatos. Modelagem e controle *Fuzzy* de sistemas são técnicas para o tratamento de informações qualitativas de uma forma rigorosa. Derivada do conceito de conjuntos *Fuzzy*, a lógica *Fuzzy* constitui a base para o desenvolvimento de métodos e algoritmos de modelagem e controle de processos, permitindo a redução da complexidade de projeto e implementação, tornando-se a solução para problemas de controle até então intratáveis por técnicas clássicas, como por exemplo controle ótimo (Sage e White, 1977) e sistemas lineares estocásticos (Bertsekas, 1976).

Amissah et al. (2004) conduziram a aplicação de um sistema MPPT apoiado na Lógica *Fuzzy*, para aplicação em veículos elétricos solares e baseado em um conversor de alta eficiência estruturado em torno de um transistor chaveador de potência bipolar de *gate* isolado (IGBT), sendo sua tensão de referência obtida através de uma rede neural artificial, dotada de um algoritmo momentâneo de gradiente descendente. O algoritmo de busca também é capaz de manipular o ciclo de carga do conversor, permitindo que o painel fotovoltaico mantenha sua tensão igual à do MPPT sob quaisquer condições de insolação, temperatura e carga.

Salah e Ouali (2010) fizeram um estudo comparativo baseados na Lógica *Fuzzy* e em redes neurais artificiais. Concluíram que o sistema baseado na Lógica *Fuzzy* obteve desempenho superior quando comparado ao sistema estruturado em

torno de Redes Neurais Artificiais, inclusive com rendimento maior do que qualquer outro expresso na literatura.

Ishaque e Salam et al. (2012) realizaram um estudo amplo, analisando diversos sistemas para MPPT baseados em *software*, como: controle por Lógica Fuzzy, Redes Neurais Artificiais e Algoritmos Evolucionários, tratando de situações de insolação total e parcial sobre as células fotovoltaicas.

Prado (2013), apresentou um sistema de auto orientação, destinado a otimizar o rendimento de um painel fotovoltaico para geração de eletricidade, proporcionando carga para um conjunto de baterias em localidades isoladas e desprovidas de energia elétrica, utilizando a Lógica Paraconsistente Anotada Evidencial E_f, obtendo um ganho 31,56% maior quando comparado ao rendimento do painel fixo. O trabalho apresentado por Prado (2013) foi o primeiro a utilizar a Lógica Paraconsistente aplicada em um sistema *maximum power point tracker* – MPPT, apresentando resultados consistentes.

Compreendendo que este tipo de lógica não clássica pode ter um papel transformador na forma de obter novos resultados em sistemas de auto orientação de painéis solares, o autor deste trabalho optou por desenvolver um sistema inteligente de rastreamento solar auto orientado e sua prototipação utilizando a Lógica Paraconsistente Anotada com aplicação de dois valores (LPA2V).

1.5.1 FUNDAMENTOS DA LÓGICA PARACONSISTENTE ANOTADA

Atualmente os grandes centros de pesquisa investem em projetos de sistemas digitais capazes de funcionar com base em novos tipos de lógica cujos conceitos teóricos básicos são mais flexíveis e adaptáveis. São conceitos que não tem, necessariamente, seus fundamentos presos nas rígidas leis binárias inerentes à Lógica Clássica, mas sim em sistemas não clássicos, impulsionados principalmente pela área de Inteligência Artificial, que resultam em novas formas de obter resultados em projetos de sistemas de tomadas de decisão.

Para Da Silva Filho, Abe e Lambert-Torres (2008), os sistemas não clássicos se mostraram de profundo significado não somente do ponto de vista prático, como, também, teórico, quebrando um paradigma do pensamento humano que vem imperando há mais de dois mil anos.

Segundo Abe e Carvalho (2011) as lógicas não clássicas estão classificadas em dois grandes grupos: as que complementam a lógica clássica, ampliando o poder de expressão dela, complementando aspectos que ela não é capaz de expressar; e as que rivalizam com a lógica clássica, também conhecidas como lógicas heterodoxas, que restringem ou modificam certos princípios fundamentais da lógica tradicional.

Entre as várias ideias no âmbito das Lógicas Não Clássicas criou-se uma família de lógicas denominada Lógica Paraconsistente, que teve como principal fundamento a revogação do princípio do terceiro excluído, que determina que uma coisa deve ser, ou então não ser; não havendo uma terceira possibilidade (o terceiro é excluído). A Lógica Paraconsistente também revoga o princípio da não contradição, em que uma coisa não pode ser e não ser ao mesmo tempo, segundo uma mesma perspectiva e admite o tratamento de sinais contraditórios a sua estrutura teórica.

Segundo Abe (1992) a Lógica Paraconsistente (LP) pode ser entendida conforme a seguir: - É dito que uma teoria é consistente quando entre seus teoremas não houver contradição, em caso contrário, ela é denominada inconsistente. Uma teoria é denominada como trivial se todas as sentenças (ou fórmulas) de sua linguagem forem teoremas; se o contrário ocorrer, ela é classificada como sendo não-trivial. Uma lógica é denominada Paraconsistente se puder tratar de inconsistências e de forma não trivial.

A Lógica Paraconsistente Anotada (LPA) mostra-se mais eficiente para o tratamento de incertezas porque, em sua estrutura são considerados outros resultados lógicos não permitidos pela Lógica Clássica. É possível a obtenção de estados lógicos que abrangem situações reais como a contradição e a indefinição. A estrutura não clássica da LPA é flexível para tratar informações representativas de situações incertas (DA SILVA FILHO, ABE E LAMBERT-TORRES, 2008).

A Lógica Paraconsistente Anotada (LPA) possui um reticulado associado que desempenha um papel importante em sua representação. Segundo Da Silva Filho (1999) na Lógica Paraconsistente Anotada (LPA) as fórmulas proposicionais vêm acompanhadas de suas respectivas anotações e cada qual é pertencente a um reticulado finito τ e atribuem-se valores à sua correspondente fórmula proposicionais. Uma Lógica Paraconsistente Anotada pode ser representada por um reticulado finito, o de “quatro estados”, conforme figura 2.

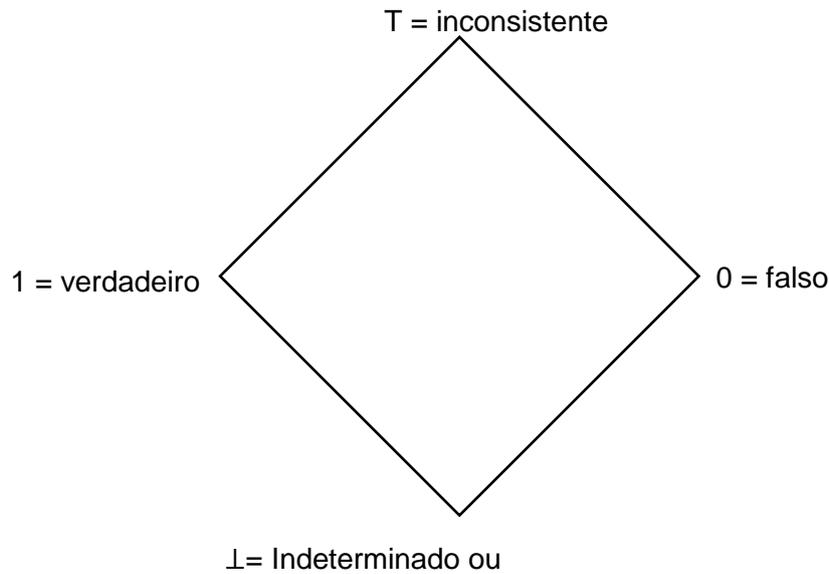


Figura 2 - Reticulado Representativo De Hasse.

Fonte: Da Silva Filho & Abe, 2001.

1.5.2 LÓGICA PARACONSISTENTE ANOTADA COM ANOTAÇÃO DE 2 VALORES - LPA2V

A Lógica Paraconsistente Anotada de anotação com dois valores (LPA2v) é um método de análise que possibilita a interpretação e a valoração de estados lógicos representados no reticulado da Lógica Paraconsistente Anotada. Desse modo podem-se associar regiões do reticulado com estados lógicos e extrair equações que fornecem valores para a tomada de decisão. Esses procedimentos permitirão a construção de um algoritmo baseado nos conceitos da Lógica Paraconsistente denominado Para-Analisador. Desse modo, utilizando os conceitos da LPA podem-se construir modelos computacionais capazes de tratar sinais de informações que possam vir impregnados de contradições (ABE, DA SILVA FILHO e LAMBERT-TORRES, 2008)

A LPA2v mostra-se adequada quando várias inferências inconsistentes ocorrem, utilizando o conhecimento de evidências para ajudar a resolver conflitos. As contradições são tratadas conforme a LPA2v e a análise dos Graus de Evidências traz situações de saídas que são denominadas de estados lógicos resultantes. A saída pode ter seus estados denominados de extremos ou de estados denominados de não-extremos. O primeiro é composto por Falso, Verdadeiro, Inconsistente e

Paracompleto, e o segundo possui todos os outros estados representados no reticulado. Sendo assim, são associados dois valores a uma anotação do reticulado (DA SILVA FILHO, 2006).

Estudos realizados por Da Silva Filho (1999), apontam que o primeiro valor da anotação representa a Evidência Favorável à proposição p e o segundo valor representa a Evidência Contrária (Evidência Desfavorável) à proposição p . O símbolo do grau de evidência favorável é a letra grega “ μ ” e o símbolo do grau de evidencia desfavorável é a letra grega “ λ ”. Cada constante anotacional do reticulado pode ser representado pelo par (μ, λ) conforme equação 1, figura 3.

μ = Grau de evidência favorável;

λ = Grau de evidência desfavorável.

No reticulado de Hasse com anotação de dois valores:

$$1. \tau = \{(\mu, \lambda) \mid \mu, \lambda \in [0,1] \subset \mathbb{R}\}$$

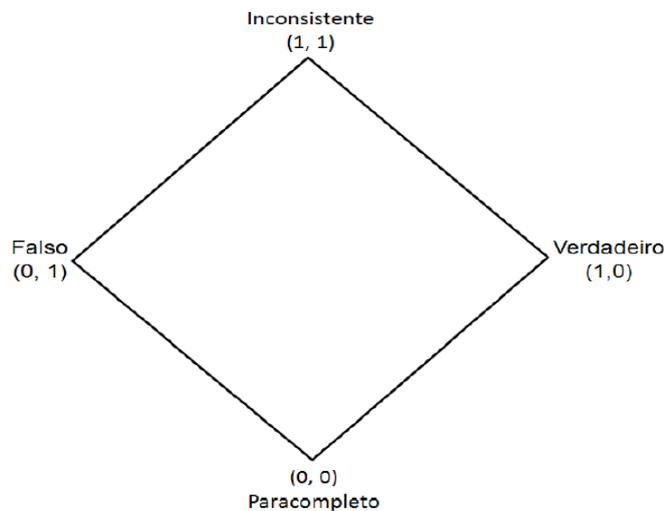


Figura 3 - Diagrama de Hasse - reticulado "quatro estados".

Assim: Se P é uma fórmula básica, o operador $\sim: |\tau| \rightarrow |\tau|$ é definido como: $\sim [(\mu, \lambda)] = (\lambda, \mu)$ onde, $(\mu, \lambda \in \{x \in \mathbb{R} \mid 0 \leq x \leq 1\})$, considera-se (μ, λ) como uma anotação de P . A atribuição dos graus de evidencia objetiva solucionar justamente o problema de sinais contraditórios, ou seja, coletando-se evidências, analisando-as e assim modificar o comportamento do sistema para que as contradições possam diminuir. Intuitivamente, em tal Reticulado tem-se:

$P_{(\mu, \lambda)} = P_{(1,0)}$: indicando ‘existência de evidência favorável total e evidência desfavorável nula’, atribuindo uma conotação de *Verdade* à proposição.

$P_{(\mu, \lambda)} = P_{(0,1)}$: indicando ‘existência de evidência favorável nula e evidência desfavorável total’, atribuindo uma conotação de *Falsidade* à proposição.

$P_{(\mu, \lambda)} = P_{(1,1)}$: indicando ‘existência de evidência favorável total e evidência desfavorável total’ atribuindo uma conotação de *Inconsistência* à proposição.

$P_{(\mu, \lambda)} = P_{(0, 0)}$: indicando ‘existência de evidência favorável nula e evidência desfavorável nula’, atribuindo uma conotação de *Indeterminação* à proposição.

Em diversos trabalhos os algoritmos da LPA2v têm-se mostrado eficientes nas análises e interpretação de dados originados de base de conhecimento incerto (DA SILVA FILHO et al. 2012).

1.5.3 ALGORITMO DE ANÁLISE PARACONSISTENTE - NAP

Algoritmo pode ser definido como sendo o meio de descrição de um processo, onde através de etapas sucessivas ou passos, tem-se a finalidade de se conseguir um objetivo (são as ferramentas principais da programação de computadores). Das equações da Lógica Paraconsistente Anotada com anotação de dois valores (LPA2v) são extraídos algoritmos para tratamento e análise de sinais de informação aplicados na forma de graus de evidência. Todos os procedimentos relacionados ao tratamento lógico paraconsistente estarão relacionados à análise efetuada por um algoritmo denominado de NAP (Nó de Análise Paraconsistente) (DA SILVA FILHO, 2012), conforme descrito a seguir.

No algoritmo de Análise Paraconsistente, pode ser agora acrescido o Cálculo do Grau de Evidência resultante. Um sistema ou Nó de Análise Paraconsistente contém os algoritmos da LPA2v com todas as equações estudadas.

1.5.4 ALGORITMO DE ANÁLISE PARACONSISTENTE DA LPA2V COM SAÍDA DE GRAU DE EVIDÊNCIA RESULTANTE REAL

Abaixo são apresentadas a representação gráfica do algoritmo de análise Paraconsistente da LPA2v com saída de grau de evidência resultante real (figura 4) e sua modelagem por meio da equação 3.

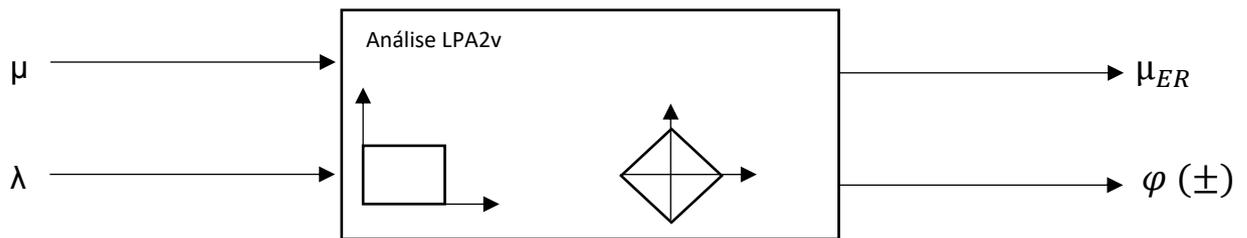


Figura 4 - Representação Do Algoritmo De Análise Paraconsistente Da LPA2v Com Saída De Grau De Evidência Resultante Real.

1. Entre com os valores de Entrada.

μ */ Grau de Evidência favorável $0 \leq \mu \leq 1$

λ */ Grau de Evidência desfavorável $0 \leq \lambda \leq 1$

2. Calcule o Grau de Contradição.

$$G_{ct} = (\mu + \lambda) - 1$$

3. Calcule o Intervalo de Certeza.

$$\varphi = 1 - |G_{ct}|$$

4. Calcule o Grau de Certeza.

$$G_c = \mu - \lambda$$

5. Calcule a distância D.

$$D = \sqrt{(1 - |G_c|)^2 + G_{ct}^2}$$

6. Determine o Grau de Certeza real.

Se $G_c > 0$, $G_{CR} = (1 - D)$

Se $G_c < 0$, $G_{CR} = (D - 1)$

7. Determine o sinal da Saída.

Se $\varphi \leq 0,25$ ou $D > 1$, então, faça

$S1 = 0,5$ e $S2 = \varphi_E(\pm)$: Indefinição e vá para o item 11

Senão vá para o próximo item

8. Determine a sinalização do Intervalo de Graus de Certeza

Se $G_{ct} < 0$, sinalize negativo $\varphi = \varphi_{(-)}$

Se $G_{ct} > 0$, sinalize positivo $\varphi = \varphi_{(+)}$

Se $G_{ct} = 0$, sinalize zero $\varphi = \varphi_{(0)}$

9. Calcule o Grau de Evidência resultante real.

$$\mu_{ER} = \frac{G_{CR} + 1}{2}$$

10. Apresente os resultados na saída.

Faça $S1 = \mu_{ER}$ e $S2 = \varphi_{(\pm)}$

11. Fim.

Os algoritmos NAPs podem ser interligados formando redes paraconsistentes de tratamento de dados.

O Nó de Análise Paraconsistente – NAP apresenta algumas normas:

a) Não são somados, nem subtraídos ou considerados as médias dos Graus de Certeza, de Evidências e de Contradição.

b) Não são somados, nem subtraídos ou considerados as médias dos Intervalos de Certezas.

c) O Grau de Certeza resultante somente pode ser reforçado ou enfraquecido através de injeção de novas Evidências (novos valores).

d) O reforço ou enfraquecimento do Grau de Certeza resultante por meio de evidências complementares somente poderá ser efetuado até o limite estabelecido pelo intervalo de Certeza (após este valor deverá ser ajustadas as Evidencias com novos valores para diminuir as contradições)

e) As evidencias poderão ser ajustadas simultaneamente para um aumento ou diminuição do Grau de Certeza resultante.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão apresentados os principais dispositivos para a construção de um Painel Solar auto orientável bem como o seu sistema de monitoramento baseado em Lógica Paraconsistente para otimização de posicionamento de painéis coletores de energia solar. Também serão detalhadas todas as características do sistema de monitoramento por meio da utilização de um número conveniente de estados lógicos de saída, com rotinas definidas especificamente para cada um.

2.1 PROTOTIPAÇÃO DO PAINEL SOLAR AUTO ORIENTÁVEL

Para o desenvolvimento do sistema de tracionamento do painel solar móvel, foram analisados, por meio de artigos disponíveis na literatura, sistemas de dois eixos e também de um único eixo, sendo escolhido após estudos o sistema de apenas um eixo. O sistema de tracionamento de eixo único demonstrou ser mais adequado a este projeto também em função de sua facilidade de manutenção e simplicidade. De acordo com Huang et al. (2011), o rendimento final de um sistema de eixo único aproxima-se muito do de um sistema de dois eixos, com a vantagem de consumir uma menor parcela de energia gerada.

Segundo Bill Gross, CEO da Energy Innovations, a utilização de seguidores de um único eixo é o caminho mais eficiente e barato para as instalações solares utilizadas no comércio de energia elétrica, sendo essa a principal razão de este tipo de seguidor ser o mais utilizado (REDROBIT, 2008).

2.2 HARDWARE UTILIZADO

A elaboração do subsistema mecânico constitui-se de uma base de alumínio com eixo para movimentação do painel solar que é capaz de movimentar-se num ângulo total de 135°, suficiente para acompanhar a movimentação do sol durante o período de um dia.

O painel escolhido, de silício policristalino (figura 9) fornece uma amostra da tensão, que varia de zero a 17V e pode ser utilizada como base para efeito de sensoriamento. A placa controladora aceita um valor máximo de tensão de 5V,

devidamente atenuada em 90% via divisor resistivo ajustável, sendo submetida a um inversor que faz parte do *software* embarcado, onde será possível a obtenção dos graus de evidência favorável (μ) e evidência contrária (λ), sendo estes dados obtidos por meio de análises feitas em intervalos de tempo periódicos.

O protótipo foi construído sem LDRs (Light Dependent Resistor), pois considerou-se que este tipo de sensor poderia trazer apenas valores de luminosidade da placa controladora em níveis de tensão, não trazendo informações fidedignas sobre o que de fato se sucede na superfície, sendo esta questão eliminada por meio do aproveitamento direto dos níveis fornecidos pelo próprio painel solar.

Para a montagem do seguidor solar foi escolhida a plataforma de *hardware* denominada Arduino, pela vantagem de dispor de uma plataforma de *hardware* já modelada, e reconfigurável via *firmware*, bastando conhecimento em algoritmos para fazer uma aplicação. Ela foi projetada sobre o microcontrolador *Atmel AVR*, que pode ser programado através de uma linguagem de programação similar a C/C++, Trata-se de uma plataforma de projetos interativos, em que o *software* se comunica com o *hardware* controlando componentes eletrônicos, como sensores e atuadores, permitindo construir sistemas que consigam perceber e interagir com ambientes reais (OLIVEIRA, ZANETTI, 2015).

A principal diferença entre o Arduino e os computadores convencionais está na maneira como são utilizadas as entradas e saídas. Por exemplo, em um computador pessoal, emprega-se teclado e *mouse* para as entradas e monitores e impressoras para saídas. Já no Arduino, as entradas e saídas estão diretamente ligadas a componentes eletrônicos. Por isso, uma entrada do Arduino pode estar lendo um valor de um sensor de temperatura, interpretando e dando como resposta, por exemplo, o acendimento de um LED (OLIVEIRA, ZANETTI, 2015).

Esta plataforma é um projeto de *hardware* livre, com informações públicas disponíveis para qualquer usuário que deseja utilizá-la, desde que respeite as regras de licença *Creative Commons Attribution Share-Alike 2.5* (ARDUINO, 2012).

A placa Arduino é muito similar à de um computador de pequeno porte, sendo composto por um microcontrolador, memória RAM, armazenamento secundário (memória flash) e *clock*, entre outras funcionalidades, conforme figura 5.



Figura 5 – Placa Arduino “Uno”.

A plataforma de desenvolvimento/programação utilizada pelo Arduino é baseada em projetos como *Wiring* e *Processing*, sendo utilizado o ambiente de desenvolvimento integrado (IDE), conforme figura 6. O código-fonte é denominado *sketch*, e a linguagem de programação é chamada *Wiring*. A *interface* gráfica do ambiente de programação é desenvolvida em Java, baseada em um projeto chamado *Processing*. Após o processo de compilação, o *sketch* poderá ser transferido, por meio de uma conexão USB, para o Arduino.

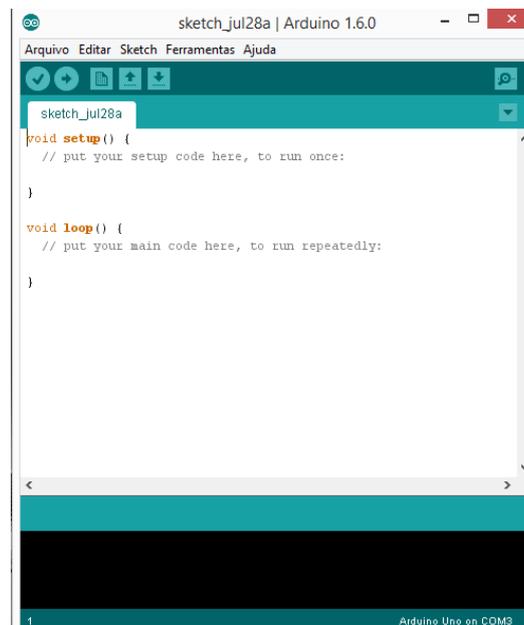


Figura 6 – Arduino *Development Enviroment* (IDE).

2.3 PLACA CONTROLADORA

A placa controladora (figura 7) é um modelo de elaboração própria, baseado na versão da Arduino “Uno”, especifica para ser construída em placas de circuito impresso (PCI), conforme figura 8. Aceita um número suficiente de instruções para aceitar o *software* embarcado, com margem para possíveis alterações e melhoramentos futuros. Encontra-se estruturada em torno de um microcontrolador AVR ATMEGA328, com memória Flash interna de 32KB.

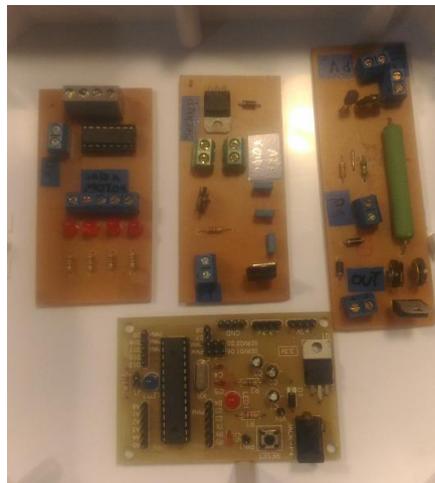


Figura 7 – Placas controladoras montadas em uma placa de circuito impresso.

O ATMEGA328 apresenta um baixo consumo de energia e um alto nível de integração, permitindo que a placa controladora gaste o mínimo de energia possível do total fornecido pelo painel solar. Ao executar instruções em um único ciclo de *clock*, o dispositivo alcança aproximadamente 1 milhão de instruções executadas por segundo para cada MHz, equilibrando o consumo de energia e velocidade de processamento, tornando o uso do presente dispositivo a melhor opção para este projeto.

Uma célula fotovoltaica, ou célula fotoelétrica, é um dispositivo capaz de converter luz em energia elétrica, por meio do efeito fotovoltaico. O efeito fotovoltaico é um fenômeno provocado em um material quando exposto a uma fonte de luz, tendo como resultado a produção de uma corrente elétrica.

Células fotovoltaicas são fabricadas com material semicondutor, sendo o mais utilizado atualmente, o silício. São encontradas no mercado de forma mais comum três tipos de célula de silício: silício cristalino, que se subdivide em monocristalino e policristalino, ou silício amorfo. As células de silício monocristalino apresentam maior eficiência de conversão fotovoltaica, em torno de 12- 15%, sendo que o valor máximo encontrado em laboratório foi de 25% (CETEM, 2007). É possível encontrar células no mercado com eficiência de até 22,7%. As células de silício policristalino têm entre 11 e 14% de eficiência, enquanto as de silício amorfo têm entre 6 e 7%.

O Silício é um material abundante na natureza e que, ao ser combinado com outros materiais como o fósforo, apresenta uma maior eficiência na produção de corrente elétrica devido às características de sua composição química (OLIVEIRA, 2012).

O painel escolhido foi de silício policristalino (figura 9) apresenta tensão nominal (sob carga) de 17V, com corrente máxima de 0,33A, valores adequados para carregar um conjunto de baterias seladas do tipo chumbo-ácido sob o regime de carga lenta. Segundo o fabricante (JINKOSOLAR, 2015), sua eficiência total (quantidade de luz transformada em eletricidade) é de 13%.



Figura 9 – Painel Solar utilizado no protótipo.

2.5 BATERIAS E CONTROLADORES DE CARGA

As baterias são classificadas em duas categorias: um primeiro grupo denominado baterias primárias e um segundo grupo denominado de baterias secundárias. As baterias primárias são descartáveis, não havendo a possibilidade de serem recarregadas uma vez esgotados os reagentes que produzem a energia elétrica. As baterias secundárias podem ser regeneradas através da aplicação de uma corrente elétrica em seus terminais, sendo recarregadas.

Os sistemas fotovoltaicos de geração de energia elétrica utilizam acumuladores secundários, ou seja, baterias que podem ser recarregadas. Entre os inúmeros tipos de baterias secundárias, as mais comuns são as de chumbo-ácido e as de níquel-cádmio. As baterias de níquel-cádmio tem algumas vantagens, como ter uma durabilidade maior, ser menos afetada por sobrecargas, poder ser totalmente descarregadas, não estando sujeitas a sulfatação e não sofrer influência da temperatura em seu carregamento (SWART, 2008).

Porém, as baterias de chumbo ácido possuem um custo muito menor que as de níquel-cádmio. Em geral tem um custo três vezes inferior, fato este determinante para sua escolha na elaboração do protótipo.

Desta forma, além de fonte de energia para o seu funcionamento, foram escolhidas duas baterias seladas do tipo chumbo-ácido, cada uma capaz de fornecer 12V sob 1,3Ah de corrente máxima, uma para servir de *backup*, mantendo a placa controladora e motor de passo funcionando em *standby* e no caso de algum problema com o painel solar, e outra em regime de carga cíclica, sendo utilizada a alimentação de diversos dispositivos durante a noite.

O circuito controlador de carga cíclica é incumbido de gerenciar o fornecimento de energia para as baterias. É composto por um regulador de corrente e um monitor de tensão estruturados em torno de um circuito integrado LM317 e de um transistor BC547, que desliga o fornecimento de energia para a mesma quando se encontra completamente carregada. O circuito em questão pode ser observado na figura 10, juntamente com um segundo LM317 montado em uma estrutura similar, através do qual é fornecida uma carga contínua para a bateria de *backup* e a alimentação para o restante do circuito, devidamente estabilizada em 12 Volts por um circuito integrado KA7812.

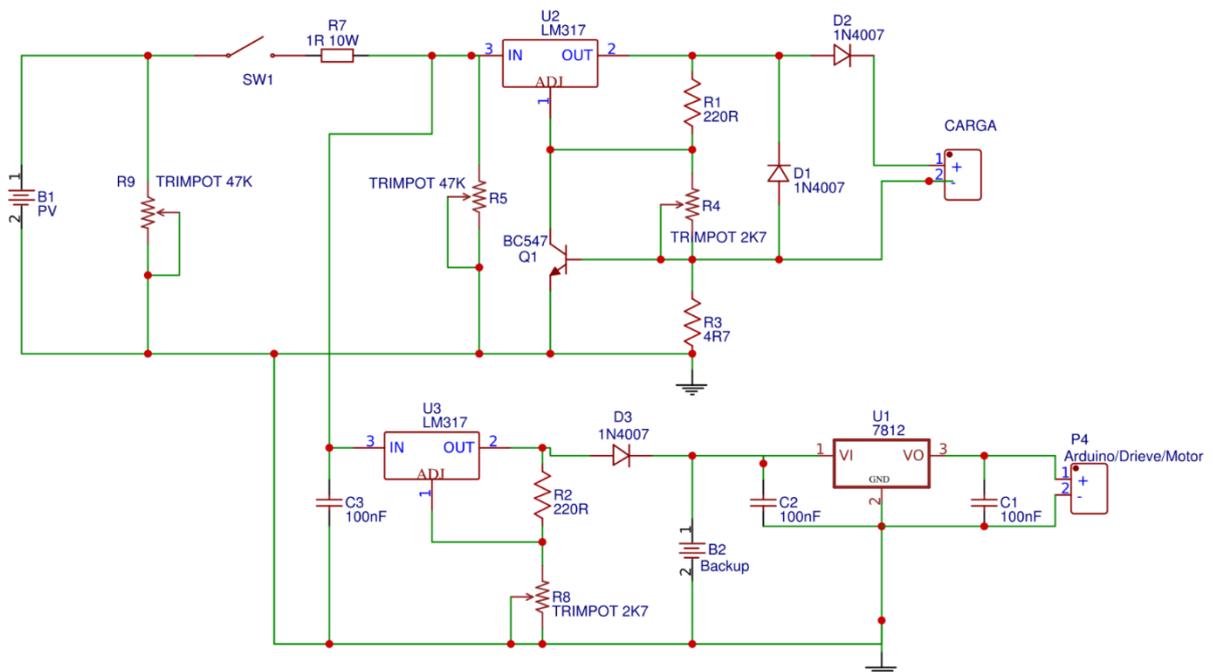


Figura 10 – Circuito Elétrico do Controlador de Carga e Circuito de Alimentação.

2.6 MOTOR DE PASSO

O motor de passo (figura 11) é um componente eletromecânico, que converte pulsos em deslocamentos angulares precisos. A cada pulso, o eixo roda um pouco (passo) e permanece estável nesta posição se mais nenhum pulso for enviado. Aplicando uma série de pulsos, pode-se obter o deslocamento angular desejado. Se a série de pulsos não terminar, o eixo vai rodando constantemente com uma velocidade proporcional à frequência dos pulsos (CONSTANDINOU, 2003).



Figura 11 - Motor de Passo

O motor de passo é recomendado no uso em equipamentos que exigem um posicionamento preciso de erro pequeno e não cumulativo.

Para Brites e Santos (2008), as vantagens da utilização de um motor de passo quando comparado a outros tipos de motores estão nos seguintes quesitos: seguem uma lógica digital, pois seu acionamento é feito através de pulsos elétricos; possuem alta precisão em seu posicionamento, uma vez que o rotor se movimenta em ângulos bem determinados (erro de posicionamento pequeno, em geral 5%); possui precisão no torque aplicado e excelente resposta a aceleração e desaceleração, com resposta rápida, pois o rotor se alinha rapidamente com as bobinas que se encontram energizadas.

O motor de passo escolhido para este protótipo foi baseado no trabalho de Prado (2013), que é uma unidade compacta e de baixo custo, com torque máximo de 1,5 kg, estando apto a manejar a carga imposta pelo peso do painel. Neste caso, o uso de um circuito *driver* mostra-se necessário para o acionamento do motor de passo, com a finalidade de prover correto isolamento entre o mesmo e a placa controladora, conforme figura 12. Foi escolhido um arranjo estruturado em torno do circuito integrado ULN2003A, que constitui de um conjunto de *drivers* especialmente agrupados e dimensionados para aplicações com motores de passo.

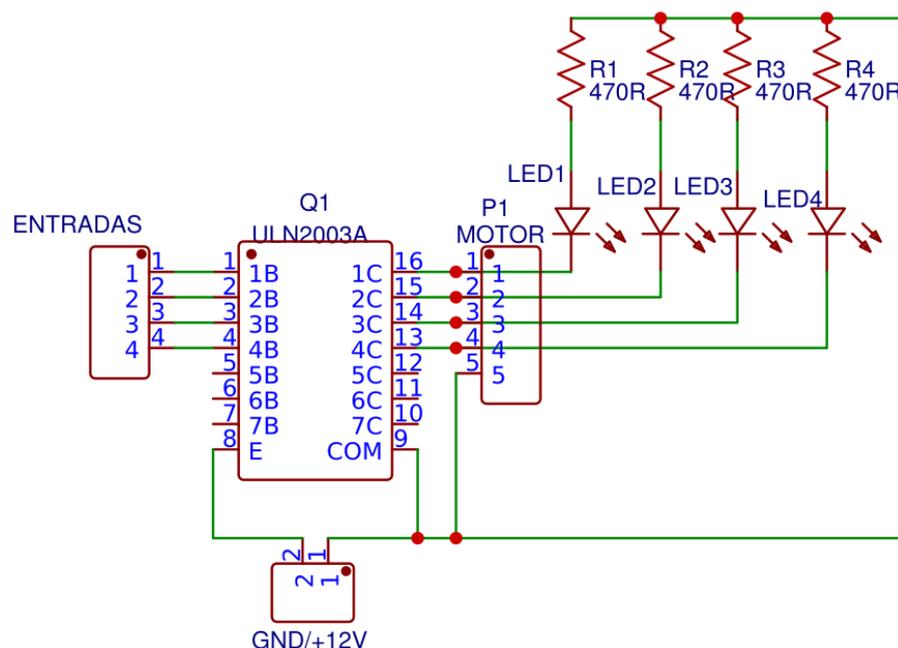


Figura 12 – Circuito para acionamento do motor de passo, baseado no integrado ULN2003A.

2.7 CONSTRUÇÃO DO SISTEMA ESPECIALISTA PARACONSISTENTE

Uma vez construído o protótipo objeto deste estudo, partiu-se então para o levantamento dos possíveis estados lógicos necessários à criação do código-fonte para o funcionamento do painel auto orientado a partir de lógica Paraconsistente.

De acordo com Da Silva Filho, Abe e Lambert-Torres (2008), na lógica paraconsistente anotada com anotação de dois valores (LPA2v) a anotação é considerada o par ordenado composto pelos valores dos Graus de Evidência favorável μ e o Grau de Evidência Desfavorável λ .

Desta forma, para se formar a anotação deste estudo, foram selecionados três estados lógicos principais, sendo que para cada um deles foram identificados os graus de evidência favorável e desfavorável, devendo o sistema de análise Paraconsistente fazer inicialmente a modelagem dos valores e, depois, utilizando a metodologia da LPA2v, fazer o tratamento através das equações.

Para facilitar o entendimento, será explicada a entrada da NAP e como ela recebeu os valores Paraconsistente necessários à movimentação adequada do painel com vistas a um posicionamento que permita alcançar o MPP de acordo com as condições de luminosidade do ambiente.

Importante ressaltar que, neste arranjo, o painel solar também faz o papel de sensor de luminosidade. Ao inicializar o sistema, é feito um escaneamento completo de 135 graus, sendo fornecidas à placa controladora, já devidamente atenuada e acoplada ao painel solar, cinco amostras de sua tensão e corrente de saída em cinco pontos diferentes (a cada 27 graus) durante a trajetória de 135 graus. O sistema faz uma análise de cada uma das cinco amostras e seleciona o ponto onde foi gerado maior valor de tensão, que é transformado em grau de evidência favorável. Em seguida seleciona o ponto onde foi gerado o menor valor de tensão e o transforma em grau de evidência desfavorável.

Em seguida, é feita a modelagem da equação até que se chegue ao valor do Grau de Evidência real. Este valor é o que deverá sinalizar que tipo de movimentação o painel deve fazer, de acordo com as condições do ambiente naquele momento. É atribuído valor “um” ao máximo de tensão capaz de ser produzida pelo sensor (1,7V) e valor “zero” para o mínimo de tensão gerado pelo sistema (0V).

Considerando a proposição: “O painel encontra-se plenamente iluminado”, onde “plenamente” significa que há iluminação em toda a superfície do painel, o sistema de sensoriamento deverá tomar as seguintes decisões:

Quando o Grau de Evidência real for igual ou maior do que 0,90, significa que o painel está plenamente iluminado. Neste caso, a indicação é que fique na posição em que está.

Quando o Grau de Evidência real for um valor maior do que 0,5 e menor do que 0,90, significa que o painel encontra-se sob luminosidade uniforme, de fraca intensidade ou luminosidade parcial, com boa intensidade. Neste caso, o sistema deve fazer um escaneamento de 135 graus em busca do maior valor do Grau de Evidência real, buscando posicionar o painel o mais o próximo possível do ponto máximo de potência, considerando a condição climática do local naquele momento.

Quando o Grau de Evidência real for um valor menor do que 0,5, significa que o painel encontra-se sob um nível de luminosidade incapaz de fazer-lhe produzir energia suficiente para utilização. Neste caso, o sistema deve entrar em modo de espera até que novos valores de graus de evidência favorável e desfavorável sejam captados pelo sensor de acordo com as condições de luminosidade do ambiente.

O *software* embarcado interpreta e traduz as saídas do sistema Paraconsistente e entrega as instruções ao motor de passo através de um circuito *driver*, responsável pelo correto isolamento entre a saída da placa controladora e as tensões e correntes mais elevadas necessárias para a movimentação do dispositivo.

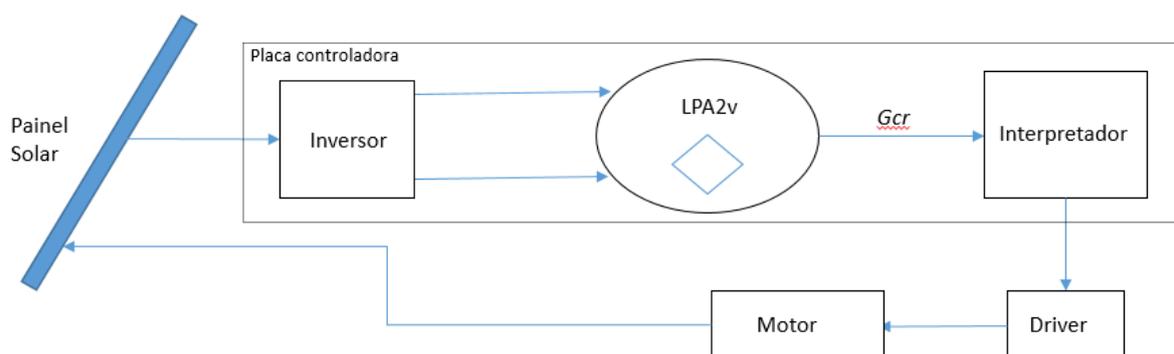


Figura 13 – Esquema do sistema de controle do painel solar.

3. RESULTADOS

O teste foi feito em ambiente com boa luminosidade e alguns obstáculos que poderiam bloquear raios solares em alguns períodos do dia para aplicação prática do protótipo.

Para que não fosse necessário utilizar um *hardware* de aquisição separado, optou-se por utilizar uma função disponível na própria IDE Arduino, o “*Serial Monitor*” para captura dos dados, que permite o monitoramento em tempo real de quaisquer variáveis manipuladas pela placa controladora, via cabo serial de dados, conectado a um computador comum.



Figura 14 – Imagem do Protótipo.

Optou-se por fazer a análise de dados a cada 15 minutos, considerando o período de maior luminosidade do dia, das 7h às 18h. O experimento foi realizado ao longo de três dias, gerando uma quantidade de dados suficiente, tanto para análise da movimentação do sistema inteligente, como também da potência gerada pelo protótipo quando comparado ao painel fixo.

O principal indicador analisado foi o valor de potência gerado pelo painel nas posições fixa e imediatamente após reposicionamento a partir da movimentação auto orientada pela Lógica Paraconsistente.

Observou-se durante os testes, valores de grau de evidência real maiores que 0,5 na maior parte do tempo, demonstrando que o painel orientado por lógica Paraconsistente conseguiu, de fato, buscar pontos de maior luminosidade garantindo um posicionamento capaz de produzir energia suficiente para utilização em 94% do tempo.

No primeiro dia de testes, o painel manteve-se em funcionamento gerando energia em 95,55% do tempo, entrando no estado lógico incapaz de produzir energia apenas em dois horários do dia, às 17h45 e 18h, respectivamente, conforme figura 15.

O painel esteve em estado lógico plenamente iluminado em quatro momentos do primeiro dia, entre 12h e 12h45, mantendo-se na posição em que estava alcançando um grau de evidência real de 0,93, representando o ponto máximo de potência do dia.

Durante a maior parte do primeiro dia, o painel manteve-se na condição de luminosidade uniforme, de fraca intensidade ou luminosidade parcial, com boa intensidade. O sistema fez os escaneamentos de 135° e posicionou-se em média onde houvesse Grau de Evidência real entre 0,7 e 0,9, demonstrando desempenho médio superior em 17,42% quando comparado ao painel fixo.



Figura 15 – Resultado do NAP durante o primeiro dia de experimento com medidas de 15 em 15 minutos, relacionado à proposição “O painel está plenamente iluminado”.

No segundo dia de testes, o painel manteve-se em funcionamento gerando energia em 93% do tempo, entrando no estado lógico incapaz de produzir energia

apenas em três horários do dia, às 9h, 17h45 e 18h, respectivamente, conforme figura 16.

O painel esteve em estado lógico plenamente iluminado em dois momentos do primeiro dia, às 12h e 12h45, mantendo-se na posição em que estava alcançando um grau de evidência real de 0,95, representando o ponto máximo de potência do dia.

Durante a maior parte do segundo dia, o painel manteve-se na condição de



Figura 16 - Resultado do NAP durante o segundo dia de experimento com medidas de hora em hora relacionado à proposição “O painel está plenamente iluminado”.

luminosidade uniforme, de fraca intensidade ou luminosidade parcial, com boa intensidade. O sistema fez os escaneamentos de 135° e posicionou-se onde houvesse Grau de Evidência real entre 0,7 e 0,9, durante 82% do tempo, demonstrando desempenho médio superior em 21,41% quando comparado ao painel fixo.

No terceiro dia de testes, o padrão manteve-se o mesmo, com o painel em funcionamento gerando energia em 93% do tempo, entrando no estado lógico incapaz de produzir energia apenas em dois horários do dia, às 17h45 e 18h, respectivamente, conforme figura 17.

O painel esteve em estado lógico plenamente iluminado em três momentos do primeiro dia, às 12h, 12h15 e 12h45, mantendo-se na posição em que estava alcançando um grau de evidência real de 0,92, representando o ponto máximo de potência do dia.

Durante a maior parte do segundo dia, o painel manteve-se na condição de luminosidade uniforme, de fraca intensidade ou luminosidade parcial, com boa intensidade. O sistema fez os escaneamentos de 135° e posicionou-se onde houvesse Grau de Evidência real entre 0,7 e 0,9, durante 55% do tempo e em 31% do tempo onde houvesse grau de evidência entre 0,5 e 0,7, demonstrando desempenho médio superior em 24,94% quando comparado ao painel fixo.



Figura 17 – Resultado do NAP durante o terceiro dia de experimento com medidas de hora em hora relacionado a proposição “O painel está plenamente iluminado”.

Os valores de potência obtidos nas leituras, feitas entre 7h e 19h estão listados na tabela abaixo, tabela 1 com o comparativo de desempenho na última coluna:

Tabela 1 - Valores de potência coletados nos testes - Dia 1

Horários do dia	Painel NAP Potência (w)	Painel Fixo Potência (w)	Diferença no desempenho em %
08:00	2,230	1,876	15,87
08:15	2,205	1,455	34,01
08:30	2,717	1,989	26,79
08:45	3,174	2,484	21,74
09:00	2,736	2,432	11,11
09:15	1,896	1,548	18,35
09:30	2,826	2,312	18,19
09:45	3,381	2,399	29,04
10:00	2,448	1,998	18,38
10:15	2,346	1,890	19,44
10:30	2,224	1,712	23,02
10:45	3,264	2,889	11,49
11:00	2,698	1,995	26,06
11:15	2,592	2,165	16,47
11:30	3,950	2,425	38,61
11:45	3,657	2,881	21,22
12:00	2,873	2,233	22,28
12:15	3,528	3,012	14,63
12:30	3,507	2,786	20,56
12:45	3,260	2,678	17,85
13:00	3,100	2,878	7,16

13:15	4,225	3,991	5,54
13:30	4,032	3,988	1,09
13:45	4,225	3,989	5,59
14:00	3,749	3,244	13,47
14:15	4,200	3,935	6,31
14:30	2,862	1,865	34,84
14:45	1,616	1,345	16,77
15:00	1,152	1,023	11,20
15:15	2,352	1,677	28,70
15:30	2,244	1,876	16,40
15:45	2,750	2,089	24,04
16:00	3,150	2,189	30,51
16:15	2,530	2,022	20,08
16:30	2,254	1,645	27,02
16:45	2,430	2,021	16,83
17:00	1,840	1,564	15,00
17:15	2,465	2,112	14,32
17:30	2,184	1,889	13,51
17:45	1,817	1,455	19,92
18:00	2,236	2,012	10,02

Tabela 2 - Valores de potência coletados nos testes – Dia 2

Horários do dia	Painel NAP Potência (w)	Painel Fixo Potência (w)	Diferença no desempenho em %
07:00	2,750	1,876	31,78
07:15	3,220	2,231	30,71
07:30	3,197	2,301	28,03
07:45	3,059	2,484	18,80
08:00	3,082	2,024	34,33
08:15	2,700	1,722	36,22
08:30	3,425	2,425	29,20
08:45	3,312	2,134	35,57
09:00	1,989	1,863	6,33
09:15	3,425	2,345	31,53
09:30	2,622	1,712	34,71
09:45	1,620	1,467	9,44
10:00	3,525	2,625	25,53
10:15	3,780	3,244	14,18
10:30	3,565	2,231	37,42
10:45	3,950	2,655	32,78
11:00	4,125	3,375	18,18
11:15	4,316	3,225	25,28
11:30	2,672	1,992	25,45

11:45	3,200	2,101	34,34
12:00	3,402	3,305	2,85
12:15	2,460	1,899	22,80
12:30	3,960	3,011	23,96
12:45	1,968	1,901	3,40
13:00	3,078	2,275	26,09
13:15	2,100	1,347	35,86
13:30	2,392	1,865	22,03
13:45	1,900	1,567	17,53
14:00	2,475	2,094	15,39
14:15	1,782	1,345	24,52
14:30	2,768	2,322	16,11
14:45	1,887	1,597	15,37
15:00	3,000	2,189	27,03
15:15	3,899	3,335	14,47
15:30	1,683	1,321	21,51
15:45	2,300	2,021	12,13
16:00	2,356	1,789	24,07
16:15	2,476	1,913	22,74
16:30	1,958	1,287	34,27
16:45	4,298	3,453	19,66
17:00	2,877	2,456	14,63
17:15	1,654	1,581	4,41
17:30	1,850	1,844	0,32
17:45	1,850	1,844	0,32
18:00	1,562	1,531	1,98

Tabela 3 - Valores de potência coletados nos testes – Dia 3

Horários do dia	Painel NAP Potência (w)	Painel Fixo Potência (w)	Diferença no desempenho em %
07:00	2,090	1,455	30,38
07:15	3,575	2,332	34,77
07:30	2,961	2,176	26,51
07:45	2,760	1,901	31,12
08:00	3,266	2,489	23,79
08:15	4,495	3,345	25,58
08:30	4,104	2,89	29,58
08:45	3,775	2,877	23,79
09:00	3,080	2,189	28,93
09:15	2,835	2,089	26,31
09:30	2,720	1,879	30,92
09:45	2,546	1,678	34,09
10:00	3,220	2,111	34,44
10:15	3,384	2,391	29,34

10:30	3,90	2,567	34,18
10:45	3,611	2,456	31,99
11:00	3,818	2,789	26,95
11:15	3,749	2,778	25,90
11:30	3,726	2,679	28,10
11:45	3,840	2,456	36,04
12:00	4,077	3,878	4,88
12:15	4,175	3,891	6,80
12:30	4,125	3,902	5,41
12:45	4,342	4,082	5,99
13:00	4,264	4,102	3,80
13:15	4,125	3,081	25,31
13:30	1,854	1,223	34,03
13:45	1,734	1,189	31,43
14:00	1,410	0,989	29,86
14:15	1,050	0,789	24,86
14:30	1,616	1,122	30,57
14:45	1,853	1,223	34,00
15:00	2,185	1,455	33,41
15:15	1,962	1,344	31,50
15:30	1,683	1,092	35,12
15:45	1,649	1,089	33,96
16:00	2,088	1,478	29,21
16:15	2,070	1,332	35,65
16:30	1,900	1,389	26,89
16:45	1,932	1,431	25,93
17:00	1,376	1,111	19,26
17:15	1,176	0,987	16,07
17:30	1,188	1,012	14,81
17:45	0,880	0,86	2,27
18:00	0,790	0,711	10,00

4. DISCUSSÃO

O rendimento do sistema baseado em Lógica Paraconsistente quando comparado ao painel fixo, foi em média 21,41% superior, considerando a média dos três dias de experimento. As medições no painel fixo foram feitas com ele voltado para o Norte, com uma inclinação de 23 graus.

Foi possível notar maior variação de rendimento entre o sistema móvel e o fixo em períodos onde o painel estava sob luminosidade uniforme, de fraca intensidade ou luminosidade parcial, com boa intensidade, chegando o painel auto orientado a um rendimento 38,61% superior em relação ao painel fixo no primeiro dia do experimento, às 10h30.

Esta constatação demonstra a assertividade da utilização da Lógica Paraconsistente Anotada (LPA), mais precisamente em sua forma estendida denominada de Lógica Paraconsistente Anotada com anotação de dois valores (LPA2v) para a tomada de decisão em momentos de incerteza. A tabela 4 abaixo expressa de forma mais clara esta afirmação:

Tabela 4 - Desempenho médio comparado ao painel fixo.

	Grau de Evidência Real		
	Menos que 0,5	Entre 0,5 e 0,9	Mais que 0,9
Dia 1	0,93%	18,11%	4,84%
Dia 2	2,88%	22,12%	19,27%
Dia 3	6,13%	28,46%	5,89%
Desempenho médio*	3,31%	22,89%	10%

*Desempenho médio comparado ao painel fixo.

Os gráficos abaixo expressam a curva de potência média versus horas de luz no dia em que foi feito o teste.

Nota-se desempenho superior do painel móvel em momentos de luminosidade fraca ou parcial. É importante afirmar que este comportamento já era previamente esperado no experimento, sendo considerada uma das principais hipóteses deste projeto, uma vez que a tendência era que o painel buscasse um melhor posicionamento em momentos de iluminação parcial ou de fraca intensidade. Quando há iluminação total ou muito abaixo do necessário ao funcionamento, a

tendência era que o painel se mantivesse na posição em que estava seguindo o padrão de um painel fixo, como de fato, aconteceu.

Figura 18 - Gráfico de potência média versus tempo – Dia 1

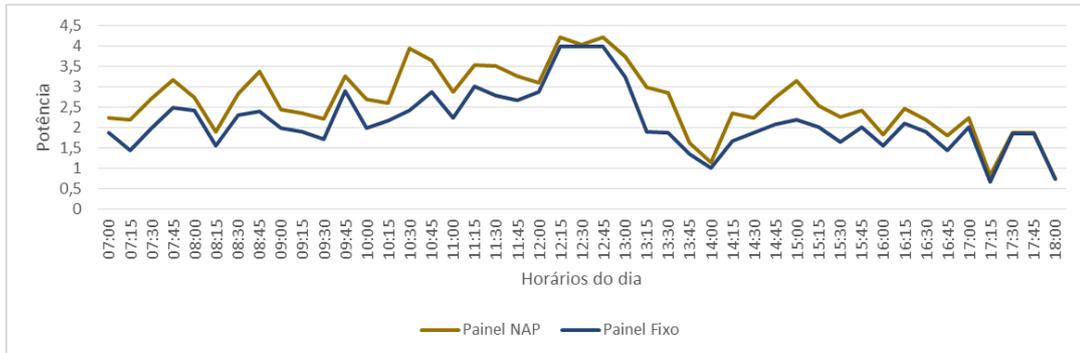


Figura 19 - Gráfico de potência média versus tempo – Dia 2

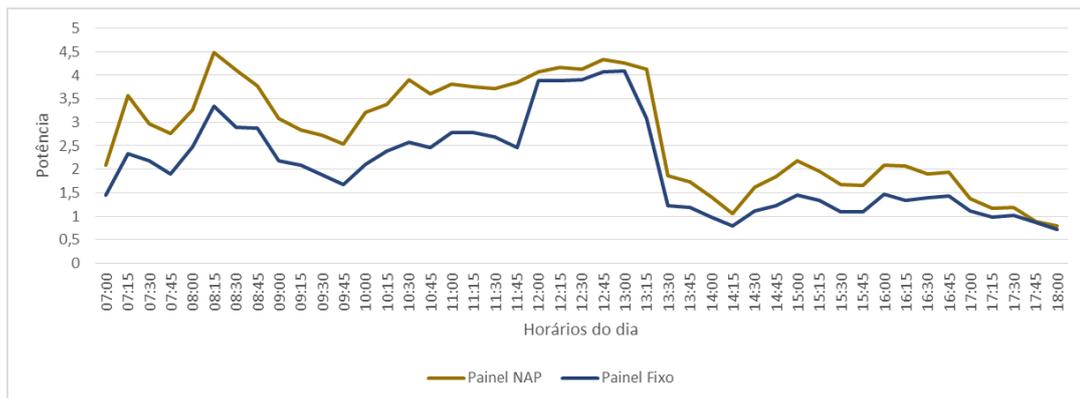
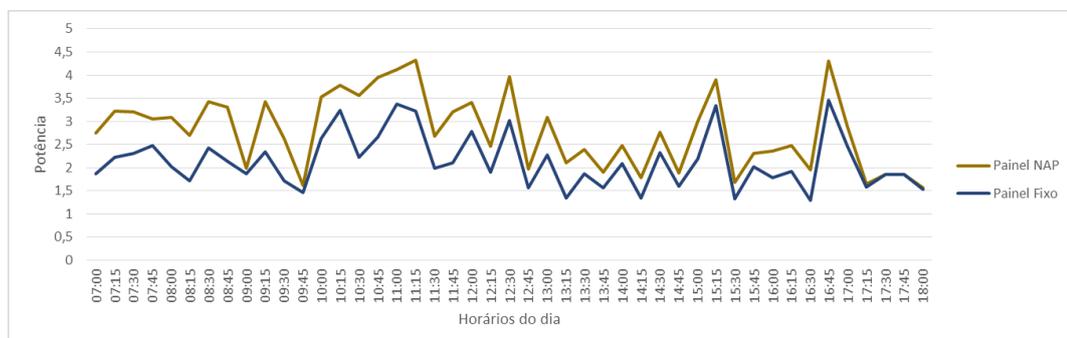


Figura 20 - Gráfico de potência média versus tempo – Dia 3



Os testes práticos comparativos demonstraram um rendimento médio do painel móvel 21,41% superior em relação ao painel em sua posição fixa. O sistema mostra-se vantajoso principalmente em situações de incerteza ou contradição, em que

o ambiente está sob luminosidade uniforme, de fraca intensidade ou luminosidade parcial, com boa intensidade. Nestes momentos percebe-se uma diferença maior no desempenho quando comparado ao painel fixo, chegando a um ponto de rendimento de até 38,6% maior em alguns horários do dia.

5. CONCLUSÃO

O protótipo desenvolvido alcançou o objetivo previsto de realizar as análises comparativas em tempo real sendo possível o monitoramento de sua *performance* quando comparado a sua versão fixa. Por se tratar de um protótipo em sua primeira versão, considerando o dispositivo como um Produto Mínimo Viável (PMV), cabem para projetos futuros melhorias nas partes técnicas, principalmente mecânica e eletrônica. Há ainda a oportunidade de extrapolar o sistema inteligente à sistemas maiores já existentes com maior número de painéis solares, dispensando desta forma o modelo de protótipo desenvolvido e utilizando os algoritmos a um outro sistema mecânico já existente. A eficiência do sistema inteligente mostra-se interessante principalmente se aplicada à locais onde a luminosidade disponível é parcial na maior parte do dia ou em localizações geográficas onde há muitas nuvens.

É cabível também como uma possibilidade de projetos futuros, realizar uma análise de viabilidade da implantação deste sistema em localidades mais isoladas, visto que o presente estudo demonstrou ser alternativa viável e barata, seguindo uma tendência crescente de busca por dispositivos menos danosos ao meio ambiente, consumindo o mínimo de recursos durante sua operação.

6. VERSÃO COMPACTA

Sistema Inteligente Baseado em Lógica Paraconsistente para Otimização de Posicionamento De Painéis Coletores de Energia Solar

Robson Luiz Santos Ferreira
João Inácio da Silva Filho

Universidade Santa Cecília (UNISANTA), Santos-SP, Brasil

Email: robsonluiz_ferreira@hotmail.com

Resumo: O presente estudo visou desenvolver um sistema inteligente de rastreamento solar auto orientado e sua prototipação, com o objetivo de rastrear a trajetória do sol ao longo do dia em busca de seu ponto de rendimento máximo, buscando a obtenção do maior índice de eficiência possível do painel fotovoltaico, quando comparado ao painel fixo. Desta forma, foi desenvolvido um protótipo de rastreador solar com um sistema inteligente acoplado, utilizando como base os algoritmos de uma família de lógicas não-clássicas, denominada de Lógica Paraconsistente, que demonstra ser mais eficiente para o tratamento de incertezas, sendo flexível para tratar informações representativas de situações incertas. Foram realizados testes durante três dias utilizando o protótipo e seu sistema inteligente, com a obtenção de resultados que demonstraram a eficiência do sistema. As amostragens de tensão obtidas durante as medições apresentaram resultados superiores em até 38,61% quando comparados ao painel fixo em alguns momentos do dia. Considerando a média geral de desempenho do painel auto orientado obtida ao longo do experimento, o ganho de eficiência do sistema de coleta de energia solar com o Controle Paraconsistente foi de 21,41%.

Palavras Chave: sistema inteligente. Lógica Paraconsistente Anotada com anotação de dois valores (LPA2v). painéis solares, painel solar móvel. energia solar.

Intelligent System Based on Paraconsistent Logic for Optimization of Positioning of Panels Collectors of Solar Energy

Abstract: The present study aimed to develop an intelligent system of self-directed solar tracking and its prototyping, with the objective of tracking the sun's trajectory throughout the day in search of its maximum power point, in order to obtain the highest possible efficiency index of the panel photovoltaic when compared to the fixed panel. In this way, a prototype solar tracker with a coupled intelligent system was developed, based on the algorithms of a family of non-classical logics, called Paraconsistent Logic, which proves to be more efficient for the treatment of uncertainties, being flexible to treat representative of uncertain situations.

Three-day tests were performed using the prototype and its intelligent system, with results that demonstrated the efficiency of the system. The voltage samplings obtained during the measurements presented superior results in up to 38.61% when compared to the fixed panel at some times of the day. Considering the overall average performance of the self-oriented panel obtained throughout the experiment, the efficiency gain of the solar energy collection system with the Paraconsistent Control was 21.41%.

Keywords: intelligent system. Paraconsistent Annotated Logic (PAL). Paraconsistent Annotated Logic with annotation of two values PAL2v. solar panels. mobile solar panel. solar energy.

Introdução

Neste trabalho foi desenvolvido um sistema inteligente para otimização do posicionamento de painéis coletores de energia solar utilizando a Lógica Paraconsistente Anotada (LPA), mais precisamente em sua forma estendida denominada de Lógica Paraconsistente Anotada com anotação de dois valores (LPA2v), objetivando que o painel solar opere o mais próximo possível de sua potência máxima de acordo com as condições climáticas do local. Sob todos os cenários, a energia solar continuará aumentando sua participação no mercado energético em todo o mundo, entregando cada vez mais energia limpa, eletricidade segura, acessível e descentralizada para as pessoas [1].

Para extrair a máxima potência elétrica de uma célula solar, é essencial que ela seja operada próxima de seu ponto máximo” [2]. O processo de busca pelo ponto de máxima potência pressupõe que o gerador fotovoltaico esteja sempre colocado para operar sob suas máximas características de tensão e corrente, podendo diversas soluções serem adotadas neste sentido [3]. Atualmente os grandes centros de pesquisa investem em projetos de sistemas digitais capazes de funcionar com base em novos tipos de lógica cujos conceitos teóricos básicos são mais flexíveis e adaptáveis. São conceitos que não tem, necessariamente, seus fundamentos presos nas rígidas leis binárias inerentes à Lógica Clássica, mas sim em sistemas não clássicos, impulsionados principalmente pela área de Inteligência Artificial, que resultam em novas formas de obter resultados em projetos de sistemas de tomadas de decisão [4].

Entre as várias ideias no âmbito das Lógicas Não Clássicas criou-se uma família de lógicas denominada Lógica Paraconsistente (LPA), que mostra-se mais eficiente para o tratamento de incertezas porque, em sua estrutura são considerados outros resultados lógicos não permitidos pela Lógica Clássica. É possível a obtenção de estados lógicos que abrangem situações reais como a contradição e a indefinição. A estrutura não clássica da LPA é flexível para tratar informações representativas de situações incertas [4]. Em diversos trabalhos os algoritmos da LPA têm-se mostrado eficientes nas análises e interpretação de dados originados de base de conhecimento incerto [5].

Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é apresentar um sistema de auto orientação de um painel fotovoltaico, baseado na Lógica Paraconsistente Anotada – LPA buscando seu ponto de rendimento máximo, de forma a obter uma performance superior, quando comparada com um painel fixo, sistema clássico e mais comumente empregado.

Materiais e Métodos

Para realização deste experimento, foi construído um protótipo a partir de uma base de alumínio, motor de passo e com eixo para movimentação do painel solar, capaz de movimentar-se num ângulo total de 135°, suficiente para acompanhar a movimentação do sol durante o período de um dia [6]. A figura 1 mostra o protótipo construído.



Figura 221 - Imagem do Protótipo

O próprio painel fornece uma amostra da tensão, que varia de zero a 17V e pode ser utilizada como base para efeito de sensoriamento. A placa controladora aceita um valor máximo de tensão de 5V, devidamente atenuada em 90% via divisor resistivo ajustável, sendo submetida a um inversor que faz parte do software embarcado, onde será possível a obtenção dos graus de evidência favorável (μ) e evidência contrária (λ), sendo estes dados obtidos por meio de análises feitas em intervalos de tempo periódicos.

Resultados e Discussão

O rendimento do sistema baseado em Lógica Paraconsistente quando comparado ao painel fixo, foi em média 21,41% superior, considerando todos os horários do dia. As medições no painel fixo foram feitas com ele voltado para o Norte, com uma inclinação de 23 graus durante três dias consecutivos. Foi possível notar maior variação de rendimento entre o sistema móvel e o fixo em períodos onde o painel estava sob luminosidade uniforme, de fraca intensidade ou luminosidade parcial, com boa intensidade, chegando o painel auto orientado a um rendimento 38,61% superior em relação ao painel fixo em alguns picos do dia. Os valores médios de potência obtidos nas leituras, feitas entre 7h e 18h estão listados na tabela 1 abaixo:

Tabela 1 - Valores médios de potência coletados nos testes.

Dia do experimento	Painel NAP Potência (w)	Painel Fixo Potência (w)	Diferença no desempenho em %
Dia 1	2,67	2,20	17,42
Dia 2	2,78	2,15	21,41
Dia 3	2,73	2,05	25,42

O sistema ou Nó de Análise Paraconsistente fez o tratamento dos sinais de informação dados pelos valores de tensão fornecidos pelo sistema de sensoriamento e transformados em Graus de Evidência. A partir daí, foram utilizadas as equações obtidas da metodologia da LPA2v, obtendo os Graus de Certeza Real, acompanhados de seus respectivos intervalos de certeza. Esse processo possibilitou a obtenção de conclusões a respeito da proposição “o painel está plenamente iluminado”.

O *software* embarcado baseado na LPA2v busca a posição onde há maior Grau de Evidência real, a partir de duas entradas com os graus de evidência favorável e desfavorável, onde são executadas ações a partir dos estados lógicos encontrados, considerando as seguintes variáveis:

- Se o Grau de Evidência real for igual ou maior do que 0,90, a indicação é que fique na posição em que está.
- Se o Grau de Evidência real for um número maior do que 0,5 e menor do que 0,90, o sistema faz um escaneamento de 135 graus em busca do maior valor do Grau de Evidência real e posiciona o painel o mais o próximo possível do ponto máximo de potência.
- Se o Grau de Evidência real for um número menor do que 0,5, o sistema deve entrar em modo de espera até que sejam captados novos valores de graus de evidência favorável e desfavorável.

A assertividade da utilização da Lógica Paraconsistente Anotada (LPA) com anotação de dois valores (LPA2v) fica evidente principalmente nos momentos de incerteza, onde é exigido do sistema uma tomada de decisão. A tabela 2 abaixo demonstra que as variações do desempenho do sistema quando comparado ao painel fixo é consideravelmente maior quando o grau de evidencia está entre 0,5 e 0,9, momento este em que o painel está em condição de luminosidade uniforme, de fraca intensidade ou luminosidade parcial, com boa intensidade.

Tabela 2 - Desempenho médio comparado ao painel fixo.

	Grau de Evidência Real		
	Menos que 0,5	Entre 0,5 e 0,9	Mais que 0,9
Dia 1	0,93%	18,11%	4,84%
Dia 2	2,88%	22,12%	19,27%
Dia 3	6,13%	28,46%	5,89%
Desempenho médio*	3,31%	22,89%	10%

*Desempenho médio comparado ao painel fixo.

Conclusão

Com o objetivo de aferir com mais acuridade o desempenho deste sistema, foi feita também a comparação entre o desempenho do dispositivo móvel em relação à sua posição fixa, reproduzindo os níveis de tensão e potência desempenhado pelo painel fixo, considerando o sistema clássico e mais comumente empregado. Os testes práticos comparativos demonstraram um rendimento médio de 21,41% superior do painel móvel em relação ao painel em sua posição fixa, demonstrando que a implementação pode ser vantajosa, principalmente se extrapolados à sistemas maiores, com maior número de painéis solares e os devidos aprimoramentos nas partes técnicas, principalmente mecânica e eletrônica.

Referências Bibliográficas

1. Solangi, K. H. Islam, M. R. Saidur, et al. A review on global solar energy policy. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Elsevier, 2011.
2. Dell, R. M. Rand D. A. J. Clean Energy. Royal Society of Chemistry, 2004.
3. Torres, A. M. Aproveitamento Fotovoltaico controlado por Redes Neurais Artificiais Interligado ao Sistema Elétrico. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Ceará, 1998.
4. Da Silva Filho, J. I. ABE, J. M. TORRES, G. L. Inteligência Artificial com as Redes de Análises Paraconsistentes. Editora LTC, 2008.
5. Da Silva Filho, J. I. Métodos de Aplicações da Lógica Paraconsistente Anotada de anotação com dois valores-LPA2v. IEA- Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo, 2006.
6. Faricelli, C. F. Seguidor Solar para Sistemas Fotovoltaicos. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Poli/USP

REFERÊNCIAS

ANIL, G. **Fuzzy Logic based Maximum Power Point Tracker for a PV System.** Journal of Electrical and Electronics Engineering e-ISSN: 2278-1676,p-ISSN: 2320-3331, Volume 5, Issue 4. 2013.

BRITES, G. F, SANTOS, A. P. V. **Motor de Passo**, Universidade Federal Fluminense Centro Tecnológico, Niterói, 2008.

CONSTANDINOU, T, G. **Stepper Motors Uncovered (1) Part 1: stepper motor fundamentals.** Elektor Electronics, 2003.

CHONG, K, WONG, C. **General Formula for On-Axis Sun-Tracking System.** Universiti Tunku Abdul Rahman. Malaysia.

DA SILVA FILHO, J, I. ABE, J. M. TORRES, G, L. **Inteligência Artificial com as Redes de Análises Paraconsistentes.** Editora LTC, 2008.

DA SILVA FILHO, J, I. **Métodos de Aplicações da Lógica Paraconsistente Anotada de anotação com dois valores-LPA2v.** IEA- Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo, 2006.

DE CASTRO, N. L, VON ZUBEN, J, F. **Tópico 5: Redes Neurais Artificiais 14.** IA006 –DCA/FEEC/Unicamp.

DUBEY, R. JOSHI, D, R. **A Fuzzy Logic MPPT Control Scheme for Solar Photovoltaic Module Connected with DC Drive .**Kurukshetra. India

FARICELLI, F. C. **Seguidor Solar para Sistemas Fotovoltaicos.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Poli/USP.

FLOOD, M, SOLAR CELLS, **Design and Innovation.** Open University Press, 56,1986.

GREEN, M. A. **Crystalline silicon photovoltaic cells**. *Advanced Materials* 2001, 13, 1019. [CrossRef]

MAHAMUDUL, H, SAAD, M. AND METSELAAR IBRAHIM HENK FACULTY OF ENGINEERING **Photovoltaic System Modeling with Fuzzy Logic Based Maximum Power Point Tracking Algorithm**, University of Malaya. Academic Editor: Jun-Ho Yum, 2013.

MORI, V.; SANTOS, R. L. C.; SOBRAL, L. G. S. **Metalurgia do silício: processos de obtenção e impactos ambientais**, 1a. ed., CETEM/MCT: Rio de Janeiro, 2007.

OLIVEIRA, M, M. Dissertação: **Análise de desempenho de um gerador fotovoltaico com seguidor solar azimutal**. Porto Alegre: 2008.

OTHMANA, M. A, EL-ARINIA, M.M M. **Realworld maximum power point tracking simulation of PV system based on Fuzzy Logic control**. Open Access funded by National Research Institute of Astronomy and Geophysics. 2013.

SOLAR ENERGY INTERNATIONAL. **Photovoltaics, Design and Installation Manual**, New Society, 2004.

SOLANGI, K. H. ISLAM, M. R. SAIDUR, R. RAHIM, N. A. FAYAZ, H. **A review on global solar energy policy**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier, 2011.

SOMMERVILLE, I. **Engenharia de Software**; tradução Ivan Bosnic e Kalinka G. de O. Gonçalves; revisão técnica Kechi Hirama. – 9ª. Ed. – São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011, 1ª. Reimpressão – julho 2012.

SHAW, ALLAN C. **Sistemas e Software de Tempo Real**, Editora Bookman, 2003.

TAKI, M. AJABSHIRCHI, Y. BEHFAR, H. TAKI, M. **Experimental Investigation and Construction of PV Solar Tracker Control System Using Image Processing**. *Modern Applied Science*, vol.5, Nº6. Canadian Center of Science and Education, 2011.

SWART, J. W., **Semicondutores: Fundamentos, técnicas e aplicações**, Campinas, São Paulo, Editora da Unicamp, 2008.

TORRES, A. M. **Aproveitamento Fotovoltaico controlado por Redes Neurais Artificiais Interligado ao Sistema Elétrico**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Ceará, 1998.

TORRES, C. R. **Sistema Inteligente Para Controle de Robôs Móveis Autônomos**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Itajubá, 2004.

TORRES, C. R. **Sistema inteligente baseado na lógica paraconsistente anotada Et para controle e navegação de robôs móveis autônomos em um ambiente não estruturado**. Tese de doutorado, Universidade Federal de Itajubá, 2010.

THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. B., **Sensores Industriais – Fundamentos e Aplicações**. 5ª Ed. São Paulo: Érica, 2012. 216 p.

UFRJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro. LDR – **Light Dependent Resistor**. Disponível em: <http://www.gta.ufrj.br/grad/01_1/contador555/ldr.htm>. Acessado em: 2 Set. 2015.

VALLÊRA, M. A, BRITO, C. M. **Meio Século de História Fotovoltaica**. Departamento de Física e Centro de Física da Matéria Condensada (CFMC), Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, GAZETA DE FÍSICA. Lisboa.

ZEGAOUI, A. AILLERIE, A. PETIT, P. SAWICKI, J. P. JAAFAR, A. SALAME, C. CHARLES, J. P. **Comparison of Two Common Maximum Power Point Trackers by Simulating of PV Generators**. Energy Procedia. Elsevier, 2011.

ZEGAOUI, A. AILLERIE, A. PETIT, P. SAWICKI, C. CHARLES, J. BELARBI, A. W. **Dynamic behaviour of PV generator trackers under irradiation and temperature changes**. Solar Energy. Elsevier, 2011.

ZELKOVITZ, M. **Advances in Computers**, vol. 56, Elsevier, 2002.

ZUBEN, V. F. **Uma caricatura funcional de redes neurais artificiais.** Campinas, 2003.

APÊNDICE A – Programa do Painel Auto Orientável

```

/***/ SISTEMA INTELIGENTE BASEADO EM LÓGICA PARA CONSISTENTE PARA
      OTIMIZAÇÃO DE POSICIONAMENTO DE PAINÉIS COLETORES DE
      ENERGIA SOLAR***/

```

```

#include <Stepper.h> // Biblioteca de funções para controle
                // de motores de passo

```

```

#include <LowPower.h> // Biblioteca que facilita as operações
                // dos modos de baixo consumo do Arduino

```

```

Stepper motor(240, 16,15,14,13); // Declara o motor do eixo
int tempo=0;
int flagy=0; //flags utilizadas na verificação da estabilidade
// da posição solar
int flagz=0;
float bateria=0.0;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  motor.setSpeed(10);
  motory.setSpeed(10);
  pinMode(7, OUTPUT);
  pinMode(8, OUTPUT);
  pinMode(9, OUTPUT);
  pinMode(10, OUTPUT);
}
void loop() {
  if ((flagz>10)&&(flagy>10)) {
    flagz=0; flagy=0;
    digitalWrite(11, HIGH);
    delay(250);
    espera10min();
    delay(250);
    Serial.print("Hora: ");
    Serial.println(tempo);
    Serial.print("Tensão: ");
    Serial.println(tensaoPV(),4);
    Serial.print("Corrente: ");
    Serial.println(correntePV(),4);
    bateria=tensaobateria();
    Serial.print("Nivel Bateria: ");
    Serial.println(bateria,4);
    delay(250);
    dir = (Gcr+ 1)/2;
    diff2 = (dil - dir);
    delay (50);
  }

```

```

if(dil < dir)
{
horStep.step (h);
delay (10);
}
Else
Serial.print("Hora: ");
Serial.println(tempo);
Serial.print("Tensão: ");
Serial.println(tensaoPV(),4);
Serial.print("Corrente: ");
Serial.println(correntePV(),4);
bateria=tensaobateria();
Serial.print("Nivel Bateria: ");
Serial.println(bateria,4);
delay(250);
dir = (Gcr+ 1)/2;
diff2 = (dil - dir);
delay (50);
{
if(dil < dir)
{
horStep.step (h);
delay (10);
}
Else
Serial.print("Hora: ");
Serial.println(tempo);
Serial.print("Tensão: ");
Serial.println(tensaoPV(),4);
Serial.print("Corrente: ");
Serial.println(correntePV(),4);
bateria=tensaobateria();
Serial.print("Nivel Bateria: ");
Serial.println(bateria,4);
delay(250);
dir = (Gcr+ 1)/2;
diff2 = (dil - dir);
delay (50);
{
if(dil < dir)
{
horStep.step (h);
delay (10);
}
Else
Serial.print("Hora: ");
Serial.println(tempo);
Serial.print("Tensão: ");
Serial.println(tensaoPV(),4);

```

```

Serial.print("Corrente: ");
Serial.println(correntePV(),4);
bateria=tensaobateria();
Serial.print("Nivel Bateria: ");
Serial.println(bateria,4);
delay(250);
}
void mov ()
{
if (pup==HIGH)
{
verStep.step (135);
delay (600);
}
else if (pdown==HIGH)
{
verStep.step (-135); /
delay (600);
}
dir = (Gcr+ 1)/2;
diff2 = (dil - dir);
delay (50);
{
if(dil < dir)
{
horStep.step (h);
delay (10);
}
}
else
Serial.print("Hora: ");
Serial.println(tempo);
Serial.print("Tensão: ");
Serial.println(tensaoPV(),4);
Serial.print("Corrente: ");
Serial.println(correntePV(),4);
bateria=tensaobateria();
Serial.print("Nivel Bateria: ");
Serial.println(bateria,4);
delay(250);
}
void mov ()
{
if (pup==HIGH)
{
verStep.step (135);
delay (600);
}
}
else if (pdown==HIGH)
{
verStep.step (-135); /

```

```

delay (600);
}
dir = (Gcr+ 1)/2;
diff2 = (dil - dir);
delay (50);
{
if(dil < dir)
{
horStep.step (h);
delay (10);
}
else
Serial.print("Hora: ");
Serial.println(tempo);
Serial.print("Tensão: ");
Serial.println(tensaoPV(),4);
Serial.print("Corrente: ");
Serial.println(correntePV(),4);
bateria=tensaobateria();
Serial.print("Nivel Bateria: ");
Serial.println(bateria,4);
delay(250);
}
void mov ()
{
if (pup==HIGH)
{
verStep.step (135);
delay (600);
}
else if (pdown==HIGH)
{
verStep.step (-135); /
delay (600);
}
dir = (Gcr+ 1)/2;
diff2 = (dil - dir);
delay (50);
{
if(dil < dir)
{
horStep.step (h);
delay (10);
}
else
Serial.print("Hora: ");
Serial.println(tempo);
Serial.print("Tensão: ");
Serial.println(tensaoPV(),4);
Serial.print("Corrente: ");

```

```

Serial.println(correntePV(),4);
bateria=tensaobateria();
Serial.print("Nivel Bateria: ");
Serial.println(bateria,4);
delay(250);
}
void mov ()
{
if (pup==HIGH)
{
verStep.step (135);
delay (600);
}
else if (pdown==HIGH)
{
verStep.step (-135); /
delay (600);
}
dir = (Gcr+ 1)/2;
diff2 = (dil - dir);
delay (50);
{
if(dil < dir)
{
horStep.step (h);
delay (10);
}
}
else
Serial.print("Hora: ");
Serial.println(tempo);
Serial.print("Tensão: ");
Serial.println(tensaoPV(),4);
Serial.print("Corrente: ");
Serial.println(correntePV(),4);
bateria=tensaobateria();
Serial.print("Nivel Bateria: ");
Serial.println(bateria,4);
delay(250);
}
void mov ()
{
if (pup==HIGH)
{
verStep.step (135);
delay (600);
}
else if (pdown==HIGH)
{
verStep.step (-135); /
delay (600);
}
}

```

```

}
dir = (Gcr+ 1)/2;
diff2 = (dil - dir);
delay (50);
{
if(dil < dir)
{
horStep.step (h);
delay (10);
}
else
Serial.print("Hora: ");
Serial.println(tempo);
Serial.print("Tensão: ");
Serial.println(tensaoPV(),4);
Serial.print("Corrente: ");
Serial.println(correntePV(),4);
bateria=tensaobateria();
Serial.print("Nivel Bateria: ");
Serial.println(bateria,4);
delay(250);
}
void mov ()
{
if (pup==HIGH)
{
verStep.step (135);
delay (600);
}
else if (pdown==HIGH)
{
verStep.step (-135); /
delay (600);
}
if (bateria>7.34){ //verifica se a bateria está acima de 90%
Serial.print("Bateria Ultrapassou 90% ");
digitalWrite(7, HIGH); // Desliga o painel PV
delay(250);
espera1hora() //Aguarda 1 hora com os painéis desligados para que
//haja consumo ou o operador desligue
delay(250);
digitalWrite(7, LOW);
}
if(bateria<6.28){ //verifica se a bateria está abaixo de 10%
Serial.print("Bateria Menor 10% ");
delay(250);
espera1hora()//Aguarda 1 hora na posição atual para que haja
//algum carregamento ou o operador desligue
delay(250);
}
}

```

```

digitalWrite(12, LOW);}
int sensor = analogRead(A0);
int sensory = analogRead(A1);
if ( GC<L0&&GC>=L1) { ;
float pot;
if (GC<BP&&GC<=E1) {
pot=P1;
else
if (GC<0&&GC>=BP&&GC<=E3&&GC>E2&&GC<0)
{
pot=(GC/BP)*P4;
S1=(int)pot/0.393;
}
if ( GC<L0&&GC>=L2) { ;
float pot;
if (GC<BP&&GC<=E2) {
pot=P2;
else
if (GC<0&&GC>=BP&&GC<=E3&&GC>E2&&GC<0)
{
pot=(GC/BP)*P4;
S1=(int)pot/0.393;
}
if ( GC<L0&&GC>=L3) { ;
float pot;
if (GC<BP&&GC<=E3) {
pot=P3;
else
if (GC<0&&GC>=BP&&GC<=E3&&GC>E2&&GC<0)
{
pot=(GC/BP)*P4;
S1=(int)pot/0.393;
}
if ( GC<L0&&GC>=L4) { ;
float pot;
if (GC<BP&&GC<=E4) {
pot=P4;
else
if (GC<0&&GC>=BP&&GC<=E3&&GC>E2&&GC<0)
{
pot=(GC/BP)*P4;
S1=(int)pot/0.393;
}
dir = (Gcr+ 1)/2;
diff2 = (dil - dir);
delay (50);
{
if(dil < dir)
{
horStep.step (h);

```

```

delay (10);
}
else
analogWrite(saida,S1);
delay (REFRESH_RATE); }
if (sensory < 509){
motory.step(-1);
flagy=0;}
else if (sensory > 515){
motory.step(1); //passo para outro lado flagy=0;}
else { //sinal dentro do limiar
flagy=flagy+1;}
delay(150);
if (sensorz < 507){
motorz.step(1);
flagz=0;}
else if (sensorz > 513){
motorz.step(-1);
flagz=0;}
else {
flagz=flagz+1;}
delay(150);
}
void espera10min(){
for(int i = 0; i <75; i++)
{
LowPower.powerDown(SLEEP_8S, ADC_OFF, BOD_OFF);
}
tempo+=10
}
void espera1hora(){for(int i = 0; i <6; i++)
{
espera10min();
}
}
float correntePV(){
float medida=0.0;
float valor=0.0;
for(int i = 0; i <1000; i++)
{
medida += (analogRead(A3))/1000.0;
}
valor = (Gcr+1)/2.0;
return valor;
}
float tensaoPV(){
float medida=0.0;
float valor=0.0;
for(int i = 0; i <1000; i++)
{

```

```
medida += (analogRead(A2))/1000.0;
}
valor = (Gcr+1)/2.0;
return valor;
}
float tensaobateria(){ //função para medida da tensao da bateria
float medida=0.0;
float valor=0.0;
digitalWrite(7, HIGH); // Desliga o painel PV, para medida da bateria
delay(250);
for(int i = 0; i <1000; i++)
{
medida += (analogRead(A2))/1000.0;
}
delay(250);
digitalWrite(7, LOW); // Religa o painel PV
return valor;
}
```