



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

FELIPE PINTO MARINHO

**IMPLEMENTAÇÃO DE ALGORITMO PARA IDENTIFICAÇÃO DE
ESTADOS DE SOMBREAMENTO E NÃO SOMBREAMENTO DE NUVENS
USANDO SENSORES DE BAIXO CUSTO**

FORTALEZA

2017

FELIPE PINTO MARINHO

IMPLEMENTAÇÃO DE ALGORITMO PARA IDENTIFICAÇÃO DE
ESTADOS DE SOMBREAMENTO E NÃO SOMBREAMENTO DE NUVENS USANDO
SENSORES DE BAIXO CUSTO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Graduação em
Engenharia Mecânica do Departamento de
Engenharia Mecânica da Universidade Federal
do Ceará, como parte dos requisitos para
obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Alexandre Costa
Rocha.

FORTALEZA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- M29i Marinho, Felipe Pinto.
Implementação de algoritmo para identificação de estados de sombreamento e não sombreamento de nuvens usando sensores de baixo custo / Felipe Pinto Marinho. – 2017.
38 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Mecânica, Fortaleza, 2017.
Orientação: Prof. Dr. Paulo Alexandre Costa Rocha.
1. Energia Solar. 2. Algoritmo. 3. Sombreamento e não Sombreamento de nuvens. I. Título.
CDD 620.1
-

FELIPE PINTO MARINHO

IMPLEMENTAÇÃO DE ALGORITMO PARA A IDENTIFICAÇÃO DE ESTADOS DE
SOMBREAMENTO E NÃO SOMBREAMENTO DE NUVENS USANDO SENSORES DE
BAIXO CUSTO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Graduação em Engenharia
Mecânica do Departamento de Engenharia
Mecânica da Universidade Federal do Ceará,
como parte dos requisitos para a obtenção do
título de Engenheiro Mecânico.

Aprovada em: ___/___/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Paulo Alexandre Costa Rocha (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. André Valente Bueno
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^a. Dr^a. Ana Fabíola Leite Almeida
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

A Deus por tudo.

À minha mãe Raimunda Pinto Marinho Melo por ter, nos momentos mais difíceis me motivado a continuar e nunca desistir.

À minha família que sempre concedeu-me assistência para continuar neste caminho.

Ao Prof. Dr. Paulo Alexandre Costa Rocha pelo excelente trabalho e orientação.

Aos colegas e amigos que contribuíram e prestigiaram esse trabalho, em especial aos; alunos; Levi Pio Souza Arrais Alencar, Lucas Freitas Campos e também à professora Emanuele Marques dos Santos, que contribuíram com importantes sugestões para a realização desse trabalho.

RESUMO

No cenário energético atual, as energias renováveis tais como solar e eólica apresentam relevância significativa. No que diz respeito à energia solar, faz-se necessário se realizar um levantamento de dados para se estabelecer em que dias e quais são os horários em que se tem maior ou menor nível de sombreamento, podendo assim se utilizar destas informações para a obtenção de um melhor aproveitamento na captação de energia. Tendo em vista a importância de tais informações, foi implementado um algoritmo no software SCILAB que fornece dois estados: sombra ou não sombra, a partir de dados obtidos pelo dispositivo MTIS, que é formado por um conjunto de LDR's, sensores utilizados para medição de luminosidade. Além disso, realizou-se um estudo estatístico em que os resultados fornecidos pelo algoritmo foram confrontados com aqueles encontrados pelo equipamento pireliômetro, sendo este considerado o dispositivo de calibração. Foram considerados diferentes cenários para a realização do estudo comparativo, tendo esta distinção sido proporcionada pela alteração do valor limite para se estabelecer a ocorrência de transição devido a nuvem, não nuvem ou caso não tenha existido mudança de estado. Após este estudo verificou-se o percentual de acertos do algoritmo, avaliando-se houve ou não melhora na quantidade de acertos devido à variação no valor limite, e com isso verificando a viabilidade de se utilizar o algoritmo como meio de se conseguir resultados de forma prática e fácil. Ao final, os percentuais de acertos médios assumiram valores na faixa de 33,87% até 79,23%.

Palavras-Chave: Energia Solar. Algoritmo. Sombreamento e não sombreamento. Nuvens.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Pireliômetro.....	11
Figura 2- Dispositivo MTIS.....	12
Figura 3- Placa Arduino Mega 2560 R3.....	13
Figura 4- LDR.....	14

LISTA DE TABELAS E GRÁFICOS

Tabela 1-Matriz de confusão para duas classes.....	17
Tabela 2-Exemplo do cálculo das médias setoriais.....	20
Tabela 3-Resultados.....	22
Tabela 4-Matriz de confusão de junho.....	25
Tabela 5-Matriz de confusão de julho.....	25
Tabela 6-Matriz de confusão de agosto.....	25
Tabela 7-Matriz de confusão de setembro.....	25
Tabela 8-Matriz de confusão para o intervalo de 9h às 10h.....	26
Tabela 9-Matriz de confusão para o intervalo de 10h às 11h.....	26
Tabela 10-Matriz de confusão para o intervalo de 11h às 12h.....	26
Tabela 11-Matriz de confusão para o intervalo de 12h às 13h.....	26
Tabela 12-Matriz de confusão para o intervalo de 14h às 15h.....	27
Tabela 13-Matriz de confusão para o intervalo de 15h às 16h.....	27
Tabela 14-Matriz de confusão para o intervalo de 16h às 17h.....	27
Gráfico 1-Percentuais médios x horário de medição.....	28
Gráfico 2-Percentuais médios x meses de medição.....	28

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

LESGN – Laboratório de Energia Solar e Gás Natural

LDR – Light Dependent Resistor

MTIS – Medidor de Tempo de Irradiação Solar

MMS – Média Móvel Simples

PWM – Pulse Width Modulation

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	JUSTIFICATIVA.....	12
1.2	OBJETIVOS.....	13
2	RADIAÇÃO SOLAR.....	13
2.1	RADIAÇÃO DIRETA, DIFUSA E REFLEIDA.....	14
2.2	A INSOLAÇÃO GLOBAL.....	14
3	INSTRUMENTOS UTILIZADOS.....	15
3.1	PIRELIÔMETRO.....	15
3.2	MEDIDOR DE TEMPO DE IRRADIAÇÃO SOLAR.....	15
4	PRINCIPAIS COMPONENTES ELETRÔNICOS UTILIZADOS.....	16
4.1	ARDUINO.....	16
4.2	LDR's.....	17
5	CONCEITOS MATEMÁTICOS UTILIZADOS.....	17
5.1	MÉDIA MÓVEL SIMPLES.....	17
5.2	CLASSIFICADOR.....	18
5.3	MATRIZ DE CONFUSÃO.....	19
6	METODOLOGIA.....	20
6.1	MÉTODO UTILIZADO PELO ALGORITMO.....	20
6.2	MÉTODO UTILIZADO PELO PIRELIÔMETRO	21
6.3	PROCEDIMENTO DE PARAMETRIZAÇÃO.....	22
7	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
8	CONCLUSÃO.....	31
	REFERÊNCIAS.....	32
	APÊNDICE A-PROGRAMA FINAL COMPLETO.....	33

1. INTRODUÇÃO

A necessidade de utilizar meios menos poluentes e renováveis para a obtenção de energia é um dos principais dilemas da sociedade contemporânea. A energia solar é um caminho que pode ser seguido para que tal dilema possa ser resolvido. Neste sentido, o trabalho realizado visa o desenvolvimento de um programa no software SCILAB, que forneça de uma forma prática e fácil resultados direcionados à ocorrência de dois estados: sombra ou não sombra, a partir de dados fornecidos por sensores LDR.

Grandes avanços foram obtidos no que diz respeito a investimentos em energias renováveis, principalmente em energia eólica. O uso em grande escala de energia solar ainda esbarra no elevado custo que a mesma apresenta. No trabalho em questão, Os resultados fornecidos pelo algoritmo são obtidos a partir de dados fornecidos por sensores LDR, que são sensores de baixo custo, diferentemente do instrumento pireliômetro que caracteriza-se por ser mais oneroso, portanto a utilização do algoritmo implementado, fornece um meio prático, fácil e de baixo custo para a obtenção de resultados de sombreamento e não sombreamento. A tabela 1 ilustra a diferença de custo entre os sensores LDR e pireliômetro.

Tabela 1: Preços dos sensores no mercado

	Quantidade	Preço
Pireliômetro	1	R\$ 3000,00 à R\$ 3200,00
LDR	12	R\$20,00 à R\$25,00

Fonte - Autor

1.1 Justificativa

A implementação de um algoritmo que forneça resultados de sombreamento e não sombreamento, possibilita a realização de um estudo estatístico com os resultados fornecidos pelo programa, em que tal análise proporciona um mapeamento inicial, acerca, dos dias e dos horários em que se tem um maior ou menor nível de sombreamento, podendo assim, com a posse de tais informações, se ter um aumento da eficiência na captação de energia.

1.2 Objetivos

Objetivo Geral

Realizar a implementação do algoritmo no software SCILAB e com isso obter os resultados de sombreamento, a partir, de um conjunto de dados fornecidos pelos sensores LDR após a realização da medição em certos intervalos de tempo durante os meses de junho, julho, agosto e setembro de 2016.

Objetivos específicos

- Coletar dados de radiação utilizando o sensor pireliômetro
- Utilizar os dados de radiação para a obtenção de resultados de sombreamento e não sombreamento
- Comparar os resultados obtidos pelo algoritmo com aqueles obtidos utilizando os valores de radiação
- Obter e avaliar o percentual de acerto do algoritmo

2. RADIAÇÃO SOLAR

Irradiação solar é a energia por unidade de área na superfície da Terra produzida pelo Sol na forma de radiação eletromagnética, a qual é perceptível por seres humanos na forma de luz solar. A radiação solar numa zona específica pode ser medida como insolação (energia da radiação solar por unidade de área), durante um determinado tempo, ou como insolação direta (insolação que atinge um local após a absorção e dispersão na atmosfera). A Irradiação solar total ou *Total Solar Irradiation* (TSI) é uma medida da radiação por unidade de área normal aos raios, incidente sobre a atmosfera superior da Terra. A constante solar é uma medida convencional de TSI, medida a uma unidade astronômica (UA) de distância.

A emissão de energia Solar varia ao longo do ciclo solar, portanto, a irradiação solar varia significativamente de um lugar para outro e há mudanças ao longo do ano, estas também sendo ocasionadas pelas variações da distância entre a Terra e o Sol, proporcionada pela órbita elíptica descrita pela terra em torno do sol. A luz solar atinge apenas as partes da

Terra que estão de frente para o Sol em um determinado momento. A radiação mais intensa é esperada nesses lugares que são praticamente perpendiculares ao Sol, enquanto a Terra realiza o movimento de rotação.

A radiação solar é constituída de ondas eletromagnéticas que vão de infravermelho (IR) até os raios ultravioletas (UV). Portanto, inclui a luz visível, que é entre IR e UV do espectro eletromagnético (WATSON, 2011).

2.1 Radiação direta, difusa e refletida

A **Radiação direta** é a radiação solar recebida pela Terra que não sofre dispersão pela atmosfera. Já a **Radiação difusa** é a radiação solar recebida pela Terra que sofre dispersão pela atmosfera e tem-se também a **Radiação refletida** que é a radiação solar recebida pela terra que alcança a superfície terrestre, sendo refletida ao incidir sobre a mesma (DUFFIE e BECKMAN, 2013).

Existe também um quociente de radiação direta para radiação difusa. Quando o céu está claro e o Sol muito alto no céu, a radiação direta é de cerca de 85% da insolação total a atingir o solo e radiação difusa é de cerca de 15%. À medida que o sol vai descendo no céu, a porcentagem de radiação difusa continua a subir até atingir 40%, quando o Sol é de 10° acima do horizonte (WATSON, 2011).

Condições atmosféricas como nuvens e poluição também aumentam o percentual de radiação difusa. Em um dia extremamente nublado, praticamente 100% da radiação solar é difusa. De um modo geral, quanto maior for a porcentagem de radiação difusa, menor a insolação total.

2.2 A Insolação Global

A Insolação global é a insolação em seu total, a soma da radiação direta, difusa e luz refletida. O termo é muito usado para se referir à insolação total numa superfície horizontal e quando se quer falar, por exemplo, sobre o total de radiação que atinge uma superfície com alguma inclinação específica (WATSON, 2011).

3. INSTRUMENTOS UTILIZADOS

3.1 Pireliômetro

Instrumentos que tem a finalidade de medir a radiação direta devido à presença de uma pequena abertura que visualiza o disco solar e sua região próxima, denominada circunsolar, como representado na figura 1. O instrumento segue o movimento solar onde é frequentemente ajustado para melhor focalizar a região do sensor, geralmente sua montagem é equatorial com movimentação sobre um único eixo. O uso adequado dos pireliômetros na medição de radiação direta, pode gerar uma incerteza incipiente, em torno de cinco por cento (Chigueru Tiba et al, 2000).



Figura 1 - Pireliômetro

Fonte:

3.2 Medidor de tempo de irradiação solar

O medidor de tempo de irradiação solar (MTIS), figura 2, é um aparelho para obter variáveis necessárias para a avaliação de determinada região quanto ao seu potencial energético. Ele dispõe de 6 sensores LDR's que por meio da luminosidade proporcionada pela radiação solar desenvolvem seus respectivos valores de resistência e, a partir destes valores e com o uso do algoritmo, é possível agrupar conjunto de dados em duas categorias (sombra ou não sombra). O protótipo desenvolvido pelo LESGN foi feito utilizando a plataforma Arduino em conjunto com dispositivos periféricos (Araújo, 2015).

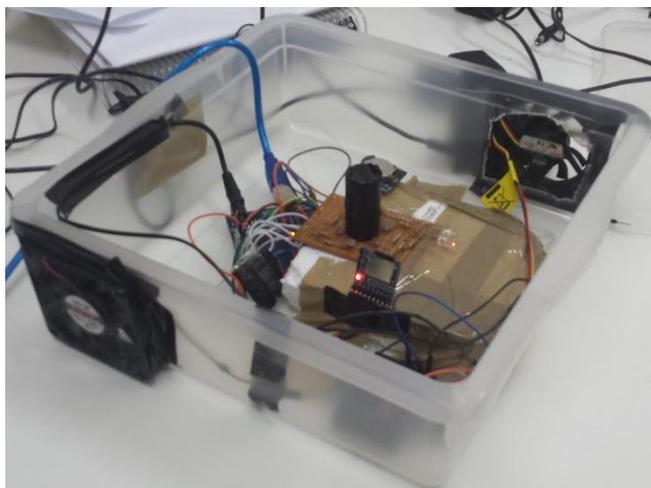


Figura 2 – Dispositivo MTIS

4. Principais componentes eletrônicos presentes nos medidores

4.1 Arduino

Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica de hardware composto com placa única, desenvolvido com um micro controlador Atmel AVR com suporte de entrada/saída em sua própria estrutura. O seu software interage diretamente com o hardware, possibilitando sua adaptação com sensores, motores e outros dispositivos eletrônicos (Arduino,2014).

A placa MEGA 2560, figura 3, foi uma das placas de plataforma Arduino utilizadas no desenvolvimento do MTIS. Ela possui um controlador Atmega2560, tendo 54 pinos de entradas e saídas digitais, que são variáveis lógicas discretas, 15 destes podem ser utilizados como saída PWM, que convertem valores digitais em analógicos. Possui, também, 16 entradas analógicas, que são variáveis contínuas e 4 portas de comunicação (Arduino, 2014).

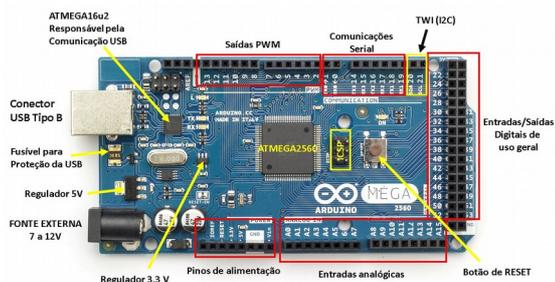


Figura 3 - Placa Arduino MEGA 2560 R3

Fonte: <http://www.embarcados.com.br/arduino-mega-2560/>

4.2 LDR's

O foto-resistor, fotocélula ou *light-dependent resistor* (LDR) é um resistor variável de luz controlada. A resistência de um foto-resistor diminui com o aumento da intensidade da luz incidente; em outras palavras, ela exhibe fotocondutividade. Um foto-resistor pode ser aplicado em circuitos detectores sensíveis à luz, e os circuitos de comutação luminosa e escura podem ser ativados.

Os LDR vêm em muitos tipos. Células cádmio sulfureto de baixo custo podem ser encontradas em muitos itens de consumo, tais como medidores de luz da câmera, luzes de rua, rádio-relógio, dispositivos de alarme, luzes da noite, relógios e lâmpadas de rua solares. A aplicação do LDR no projeto foi na medição da luz solar para posterior uso, inserindo tais dados no programa para que o mesmo possa fornecer resultados de sombreamento ou não sombreamento. O LDR usado no sensor pode ser visto na Figura 4 (WIKIPEDIA).



Figura 4 - LDR

Fonte: ARAUJO, 2015

5. Conceitos matemáticos utilizados

5.1 Média Móvel Simples

A média móvel simples ou MMS é uma técnica de previsão utilizada em séries temporais quando se há poucos dados históricos disponíveis. Ela é indicada em casos que se têm previsões de curto prazo e que as componentes de tendência e sazonalidade não existem ou podem ser descartadas.

A sazonalidade existe em casos em que ocorrem padrões cíclicos de mudanças retidas em intervalos aproximadamente constantes com o tempo. A tendência ocorre em casos

em que se têm situações onde a série se comporta de maneira ascendente ou descendente quando interpretada ao longo de certo período temporal (MAKRIDAKIS,1998).

O modelo é uma técnica que calcula a média aritmética de r observações mais recentes. A média é dita móvel, pois a cada novo período dado, a observação mais antiga é descartada e substituída pela mais recente. Desta maneira, quando se determina o valor da MMS está se tentando eliminar as componentes de tendência e sazonalidade (ARCHER, 1980).

Para o trabalho em questão o parâmetro r utilizado foi de cinco, como ilustração do cálculo da média móvel simples, considera-se um conjunto A constituído dos seguintes elementos;

$$A = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \quad (1)$$

A primeira MMS seria dada pela expressão:

$$M_{M1} = (x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5) / 5 \quad (2)$$

para o valor da segunda tem-se:

$$M_{M2} = (x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6) / 5 \quad (3)$$

Por recorrência obtém-se a relação geral:

$$M_{mi} = (x_i + x_{i+1} + x_{i+2} + x_{i+3} + x_{i+4}) / 5 \quad (4)$$

para $i = 1, \dots, n-4$

Um bom resultado do método pode ser obtido escolhendo-se um valor desejável do número de observações. Um valor grande de r pode fazer com que a previsão acompanhe a média de uma forma devagar, caso seja escolhido um valor pequeno a reação obtida será mais acelerada.

5.2 Classificador

O algoritmo implementado é, na verdade, em termos técnicos um classificador. Este por sua vez, trata-se de uma função discriminante que busca atribuir

diferentes classes a um conjunto de objetos com características mensuráveis, no caso, as duas classes envolvidas são sombra e não sombra. Em termos matemáticos tem-se:

‘Um classificador é uma aplicação $C: S \rightarrow \Omega$ que associa a cada observação pertencente a S a uma classe $\hat{\omega}$ pertencente a Ω ’, (Marques,2005). Os elementos do conjunto são designados por padrões ou características, que podem ser discretas ou contínuas dependendo da natureza do problema..

5.3 Matrizes de confusão

É uma matriz quadrada P_{ij} com ordem igual ao número de classes de um determinado classificador. A matriz de confusão de uma hipótese, oferece uma medida efetiva do modelo de classificação, ao mostrar, o número de classificações corretas versus as classificações preditas para cada classe, sobre um determinado conjunto de exemplos.

Neste trabalho, como se trata de um problema de duas classes, a matriz terá a estrutura apresentada conforme a Tabela 1.

Tabela 1-Matriz de confusão para duas classes

CRITÉRIO	NÃO-SOMBRA _A	SOMBRA _A
NÃO-SOMBRA _P	X	Y
SOMBRA _P	Z	U

Onde os subscritos P e A indicam que os resultados foram fornecidos pelo pireliômetro e pelo algoritmo, respectivamente. Além disso, tem-se que:

X = Número de acertos, em que o algoritmo e o pireliômetro forneceram não-sombra, como resultado.

Y = Números de erros, em que o algoritmo e o pireliômetro forneceram sombra e não-sombra, respectivamente.

Z = Números de erros, em que o algoritmo e o pireliômetro forneceram não-sombra e sombra, respectivamente.

U = Número de acertos, em que o algoritmo e o pireliômetro forneceram sombra, como resultado.

Ressaltando algumas observações:

- O traço da matriz de confusão consiste na quantidade total de acertos
- Os demais elementos representam erros na classificação
- O percentual de acerto do algoritmo para uma medição é dado pela razão entre o traço da matriz e soma de todos os seus elementos.

6. METODOLOGIA

Nesta seção os métodos utilizados pelo algoritmo e pelo pireliômetro para a obtenção dos resultados de sombra e não sombra serão explicados.

6.1 Método utilizado pelo algoritmo

Este método foi desenvolvido nos trabalhos de Lappalainen e Valkealahti. (2015). Para seu funcionamento, o algoritmo recebe os dados obtidos pelos sensores LDR's, com estes, ele calcula as médias móveis do conjunto de dados tomando como base cinco elementos. Este processo é ilustrado abaixo.

Seja $D = \{ x_1, x_2, \dots, x_n \}$ o conjunto formado por todos os dados, tem-se que as médias móveis obtidas de D são dadas por:

$$f_1 = (x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5) / 5 ; \quad (5)$$

$$f_2 = (x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6) / 5 ; \quad (6)$$

Por recorrência, determina-se a seguinte expressão:

$$f_{n-4} = (x_{n-4} + x_{n-3} + x_{n-2} + x_{n-1} + x_n) / 5 \quad (7)$$

Desta forma, o algoritmo gera um novo conjunto M , constituído de todas as médias móveis de D , onde o número de elementos de M é $n-4$.

O próximo passo, consiste em determinar as variações encontradas para as médias sucessivas. Este procedimento é representado, como se segue:

$$q_1 = f_2 - f_1 ; \quad (8)$$

$$q_2 = f_3 - f_2 ; \quad (9)$$

Novamente, por recorrência, tem-se que:

$$q_{n-5} = f_{n-4} - f_{n-5} \quad (10)$$

Daí tem-se o conjunto das variações das médias móveis e, finalmente com estas, o processamento seguinte será a realização da comparação destas variações com um valor limite (VL). Para o trabalho em questão, foram tomados os valores de 3, 5, 10, 20 e 30, sendo este fato, justificado pela busca de se avaliar em quais destes valores houve uma melhora no percentual de acerto e em qual intervalo de tempo durante o dia de medição que ocorre tais melhoras. Este último procedimento é ilustrado abaixo:

- Se q_k for maior ou igual a VL, então atribui-se à classe não sombra
- Se q_k for menor ou igual a -VL, então atribui-se à classe sombra
- Se q_k estiver no intervalo (-VL, VL), tem-se uma não transição

Desta forma, obtém-se um conjunto de resultados que deve ser confrontado com os resultados do sensor verdade, o pireliômetro, e com isto verificar a viabilidade de tal algoritmo.

6.2 Método utilizado pelo pireliômetro

Como já foi dito anteriormente, a ideia é obter resultados com a utilização do algoritmo já implementado e compará-los com os resultados obtidos pelo pireliômetro, entretanto, o algoritmo indicará se houve um estado de sombra ou não-sombra, já o pireliômetro fornecerá resultados de radiação. Faz-se necessário estabelecer um critério para converter estes valores de radiação em estados de sombra ou não-sombra, e para tanto utilizou-se o seguinte método:

Para cada média fornecida pelo pireliômetro, y_i , calcula-se uma média aritmética de N+1 dados, incluindo o próprio y_i e os N registros seguintes, no caso, seria:

$$M.S(i) = (y_i + y_{i+1} + y_{i+2} + \dots + y_{i+N}) / N + 1;$$

(Média Setorial)

O valor N será escolhido de forma arbitrária: Para o presente trabalho foi selecionado o N=5. No caso, o pireliômetro obtém seus registros no intervalo de 2 minutos,

daí, para um $N=5$, os registros envolvidos na determinação da média setorial seriam aqueles obtidos no intervalo de 10 minutos. Como exemplo do cálculo da média setorial, tem-se a tabela 2 com dados fornecidos pelo pireliômetro na coluna da esquerda e suas respectivas médias setoriais na coluna da direita:

Tabela 2 – Exemplo do cálculo das médias setoriais

RADIAÇÃO (W/m ²)	MÉDIAS SETORIAIS (W/m ²)
485	647,8333333
518	598,8333333
691	610,6666667
821	640,8333333
578	648,1666667
794	683,5
191	616,8333333
589	724,3333333

Fonte: Araujo (2015)

Essa média setorial é comparada ao valor médio, y_i , avaliando-se a seguinte desigualdade:

$$y_i < (M.S(i)).(0,8)$$

(I)

Caso, (I) seja verdadeira implica que: Tem-se uma classe sombra

Caso, (I) seja falso implica que: Tem-se uma classe não sombra

6.3 Procedimento de parametrização

A frequência utilizada para a captação dos dados dos sensores LDR's pelo Arduíno foi de 1Hz, o que significa que a cada 1 segundo, um novo dado era armazenado. Já para o pireliômetro, os valores eram fornecidos a cada 2 minutos, então, como se pode constatar, para cada média obtida pelo sensor verdade, já se tinha um grande número de dados proporcionados pelos sensores de luminosidade, portanto, foi necessário desenvolver um

procedimento para que a quantidade de resultados fornecidos pelos dois sensores fossem equivalentes.

A ideia básica foi a de se estabelecer um critério de agrupamento, onde para cada média fornecida pelo pireliômetro, corresponderia um grupo de dados de luminosidade. Este critério é representado abaixo:

Sejam os conjuntos $A=\{a_1, \dots, a_n\}$ e $B=\{b_1, \dots, b_m\}$ de dados do LDR e pireliômetro, respectivamente, para cada conjunto corresponde às coleções $D=\{d_1, \dots, d_n\}$ e $E=\{e_1, \dots, e_m\}$ dos instantes em que foram obtidos os dados do LDR e pireliômetro, respectivamente, então, como exemplo, tomando o j -ésimo elemento do conjunto D , d_j , este representa o instante de tempo que a_j foi coletado. O próximo passo, foi converter os tempos que foram representados por hora, minuto e segundo em números reais. Para tal finalidade, utilizou-se o comando `datenum` do software SCILAB que atribui um valor real a um tempo tendo como referência a data 1 de janeiro do ano 0000, no instante 00:00:00, para qual, o software atribui o valor unitário. Pois bem, o procedimento consiste em tomar e_i e analisar a seguinte condição:

Se d_j pertencer ao intervalo $[e_i - \varepsilon, e_i + \varepsilon]$ então este faz parte do grupo C_i , para valores de j variando na lista $\{1, \dots, n\}$, sendo esta comparação realizada para $i = 1, \dots, m$, ao fim desta etapa, geram-se m grupos de dados de luminosidade, de tal forma, que, dado b_k tem-se o grupo C_k correspondente, com isso, aplica-se a metodologia utilizada pelo algoritmo para cada grupo C , produzindo assim, para apenas um grupo, vários resultados de sombra e não sombra, entretanto, deve-se fornecer apenas uma classe para cada C .

Com esse intuito, realizou-se uma contagem da quantidade de vezes que se tem sombra e não sombra, de maneira que, sendo p o número de vezes que se teve o resultado sombra e q o análogo para o resultado não sombra, tem-se que:

- Se $p > q$, então o resultado para o grupo C correspondente será sombra
- Se $p < q$, então o resultado para o grupo C correspondente será não sombra

Desta forma, o algoritmo fornecerá sempre a mesma quantidade de resultados do pireliômetro, permitindo o confrontamento dos resultados e a geração da matriz de confusão correspondente. Vale ressaltar que no trabalho questão utilizou-se $\varepsilon = 0,0006944$

7. Resultados e Discussão

Foram realizadas medições durante os meses de junho, julho, agosto e setembro de 2016, na maioria dos dias, colocou-se o MTIS para coletar durante um intervalo de tempo de 1 hora, por exemplo, para o dia 11 de julho, a medição foi realizada no período de 9h às 10h, valendo lembrar que os resultados foram encontrados para os seguintes valores limites(VL): 3, 5, 10, 20 e 30. Diante destas considerações os resultados seguem na tabela 3:

Onde na tabela em questão, têm-se as seguintes definições:

- **P.a:** Percentual de Acerto
- **Média M:** Média aritmética dos percentuais de acerto com relação à mudança do mês
- **Média H:** Média aritmética dos percentuais de acerto com relação à mudança nos horários
- **D.P_M:** Desvio Padrão dos percentuais de acerto com relação à mudança do mês²⁴
- **D.P_H:** Desvio Padrão dos percentuais de acerto com relação à mudança nos horários
- **VL:** Valor limite

Tabela 3 - Resultados

		Junho	Julho	Agosto	Setembro		
V.L	Horário	P.a	P.a	P.a	P.a	Média M	D.P _M
3	9h às 10h	61,29%	61,29%	54,84%	51,61%	57,26%	0,04839
3	10h às 11h	58,06%	54,84%	9,68%	25,80%	37,1%	0,23335
3	12h às 13h	67,74%	54,84%	54,84%	41,94%	54,84%	0,10533
3	13h às 14h	48,39%	100%	19,35%	50%	54,44%	0,33483
3	14h às 15h	61,29%	41,94%	36,67%	72,41%	53,08%	0,16678
3	15h às 16h	9,68%	51,61%	100%	58,06,%	54,84%	0,36967
3	16h às 17h	58,06%	83,33%	80,65%	56,67%	69,68%	0,14271
3	Média H	52,07%	63,98%	50,86%	50,93%		
3	D.P _H	0,19569	0,20351	0,32207	0,14485		
						Média M	D.P _M
5	9h às 10h	54,80%	61,29%	54,84%	51,61%	55,64%	0,04062

5	10h à 11h	58,06%	54,84%	9,68%	25,80%	37,1%	0,23335
5	12h à 13h	67,74%	54,84%	100,00%	44,83%	66,85%	0,24006
5	13h à 14h	48,39%	100,00%	19,35%	51,61%	54,84%	0,33421
5	14h à 15h	70,97%	41,94%	36,67%	45,16%	48,69%	0,15263
5	15h à 16h	9,68%	51,61%	100,00%	61,29%	55,65%	0,37095
5	16h à 17h	54,84%	87,10%	80,65%	54,84%	69,36%	0,16969
5	Média H	52,07%	64,52%	57,31%	47,88%		
5	D.P _H	0,20266	0,20988	0,37263	0,11257		
						Média M	D.P _M
10	9h à 10h	54,84%	61,29%	54,84%	48,39%	54,84%	0,05266
10	10h à 11h	51,61%	54,84%	9,68%	25,80%	35,48%	0,21559
10	12h à 13h	67,74%	54,84%	100,00%	41,94%	66,13%	0,24916
10	13h à 14h	48,39%	100,00%	19,35%	54,84%	55,65%	0,33357
10	14h à 15h	90,32%	41,94%	36,67%	45,16%	53,52%	0,24780
10	15h à 16h	16,67%	58,06%	45,16%	61,29%	45,30%	0,20316
10	16h à 17h	41,94%	87,1%	80,65%	63,33%	68,26%	0,20211
10	Média H	53,07%	65,44%	49,48%	48,68%		
10	D.P _H	0,22652	0,20462	0,32216	0,12864		
						Média M	D.P _M
20	9h à 10h	51,61%	61,29%	54,84%	48,39%	54,03%	0,05508
20	10h à 11h	54,84%	54,84%	9,68%	25,80%	36,29%	0,22407
20	12h à 13h	67,74%	54,84%	100,00%	41,95%	66,13%	0,24912
20	13h à 14h	48,39%	100,00%	19,35%	54,84%	55,65%	0,33357
20	14h à 15h	90,32%	41,94%	36,67%	45,16%	53,52%	0,24780
20	15h à 16h	16,13%	58,06%	100,00%	48,39%	55,65%	0,34579
20	16h à 17h	51,61%	77,42%	80,64%	70,97%	70,16%	0,13004
20	Média H	54,38%	64,06%	57,31%	47,93%		
20	D.P _H	0,22303	0,19031	0,37262	0,13615		
						Média M	D.P _M
30	9h à 10h	51,61%	61,29%	54,84%	48,39%	54,03%	0,05508
30	10h à 11h	64,52%	54,84%	9,68%	22,58%	37,91%	0,25991
30	12h à 13h	67,74%	54,84%	100,00%	41,95%	66,13%	0,24913
30	13h à 14h	48,39%	100,00%	19,35%	54,84%	55,65%	0,33357
30	14h à 15h	93,55%	41,94%	36,67%	45,16%	54,33%	0,26380
30	15h à 16h	32,62%	58,06%	100,00%	64,52%	63,80%	0,27785

30	16h às 17h	67,74%	93,33%	80,65%	61,29%	75,75%	0,14216
30	Média H	60,88%	66,33%	57,31%	48,39%		
30	D.P _H	0,19215	0,21662	0,37263	0,14061		

Fonte: Autor

Percebe-se pela observação dos percentuais de acerto que os resultados em geral foram abaixo do esperado, uma vez que aqueles que foram obtidos por Lappalainen e Valkealahti. (2015), utilizando o mesmo algoritmo, foram coerentes. Alguns fatores podem ter contribuído para que este fato tenha ocorrido, estes são citados abaixo:

- O algoritmo desenvolvido nos trabalhos de Lappalainen e Valkealahti. (2015), utilizava dados de irradiação, ao invés de, valores obtidos por sensores LDR's.
- O dispositivo MTIS estava passando por aperfeiçoamentos durante um período dentro dos meses de medição.
- O algoritmo foi desenvolvido, tendo como principal fundamentação a realização de procedimentos empíricos, sendo que os mesmos foram realizados na Universidade Tampere, que se localiza na Finlândia, região com menor nível de incidência de radiação solar quando comparado com o que é observado no estado do Ceará.
- O sensor verdade utilizado no artigo de Lappalainen e Valkealahti. (2015) era um piranômetro e não um pireliômetro, como no trabalho em questão.

Além disso, foi verificado alguns dias com bons percentuais de acerto, estes ocorreram sempre que o programa atribuía a classe não sombra para a maioria dos resultados, o que de fato é razoável já que a cidade de Fortaleza tem altos níveis de incidência solar durante grande parte dos dias do ano.

Outra análise que foi realizada, refere-se à determinação de qual parâmetro contribui para uma maior alteração do percentual de acerto, tendo sido considerado a mudança do mês e a variação dos horários. Para tanto, observou-se as matrizes de confusão com seus respectivos percentuais de acerto.

Como ilustração, fixou-se o intervalo de tempo 13h às 14h e o valor limite de 10, com isso, observou-se as matrizes de confusão para os meses em que foram realizadas medições, estas são representadas pelas tabelas 4 à 7

Tabela 4 – Matriz de confusão de junho

CRITÉRIO	NÃO-SOMBRA _A	SOMBRA _A
NÃO-SOMBRA _p	3	9
SOMBRA _p	7	12

Fonte: Autor

Percentual de acerto de 48,39%

Tabela 5 – Matriz de confusão de julho

CRITÉRIO	NÃO-SOMBRA _A	SOMBRA _A
NÃO-SOMBRA _p	31	0
SOMBRA _p	0	0

Fonte: Autor

Percentual de acerto de 100%

Tabela 6 – Matriz de confusão de agosto

CRITÉRIO	NÃO-SOMBRA _A	SOMBRA _A
NÃO-SOMBRA _p	5	25
SOMBRA _p	0	1

Fonte: Autor

Percentual de acerto de 19,35%

Tabela 7 – Matriz de confusão de setembro

CRITÉRIO	NÃO-SOMBRA _A	SOMBRA _A
NÃO-SOMBRA _p	12	6
SOMBRA _p	8	5

Fonte: Autor

Percentual de acerto de 54,84%

Posteriormente, considerou-se o mês de agosto, novamente fixando o valor limite de 10 e observaram-se as matrizes de confusão para cada horário em que foram realizadas medições naquele mês, estas em conjunto com seus respectivos percentuais de acerto estão representadas pelas tabelas 8 à 14:

Tabela 8 – Matriz de confusão para o intervalo de 9h às 10h

CRITÉRIO	NÃO-SOMBRA _A	SOMBRA _A
NÃO-SOMBRA _P	17	0
SOMBRA _P	14	0

Fonte: Autor

Percentual de acerto de 54,84%

Tabela 9 – Matriz de confusão para o intervalo de 10h às 11h

CRITÉRIO	NÃO-SOMBRA _A	SOMBRA _A
NÃO-SOMBRA _P	0	26
SOMBRA _P	2	3

Fonte: Autor

Percentual de acerto de 9,68%

Tabela 10 – Matriz de confusão para o intervalo de 11h às 12h

CRITÉRIO	NÃO-SOMBRA _A	SOMBRA _A
NÃO-SOMBRA _P	31	0
SOMBRA _P	0	0

Percentual de acerto de 100%

Tabela 11 – Matriz de confusão para o intervalo de 12h às 13h

CRITÉRIO	NÃO-SOMBRA _A	SOMBRA _A
NÃO-SOMBRA _P	31	0
SOMBRA _P	0	0

Fonte: Autor

Percentual de acerto de 100%

Tabela 12 – Matriz de confusão para o intervalo de 14h às 15h

CRITÉRIO	NÃO-SOMBRA _A	SOMBRA _A
NÃO-SOMBRA _P	10	19
SOMBRA _P	0	1

Fonte: Autor

Percentual de acerto de 36,67%

Tabela 13 – Matriz de confusão para o intervalo de 15h às 16h

CRITÉRIO	NÃO-SOMBRA _A	SOMBRA _A
NÃO-SOMBRA _P	31	0
SOMBRA _P	0	0

Fonte: Autor

Percentual de acerto de 100%

Tabela 14 – Matriz de confusão para o intervalo de 16h às 17h

CRITÉRIO	NÃO-SOMBRA _A	SOMBRA _A
NÃO-SOMBRA _P	25	0
SOMBRA _P	6	0

Fonte: Autor

Percentual de acerto de 80,65%

Pela análise das matrizes e seus respectivos percentuais de acerto, constata-se que as alterações mais significativas nos mesmos, ocorreram com maior frequência quando houve variações nos horários mantendo fixo o mês. Percebeu-se também que, em geral, o valor limite não influencia significativamente no percentual de acerto.

O gráfico 1 e 2, ilustram os percentuais de acertos médios para cada horário de medição e para cada mês de medição, respectivamente. Pela avaliação dos mesmos, pode-se observar que o VL=30 é aquele que fornece os melhores percentuais de acerto.

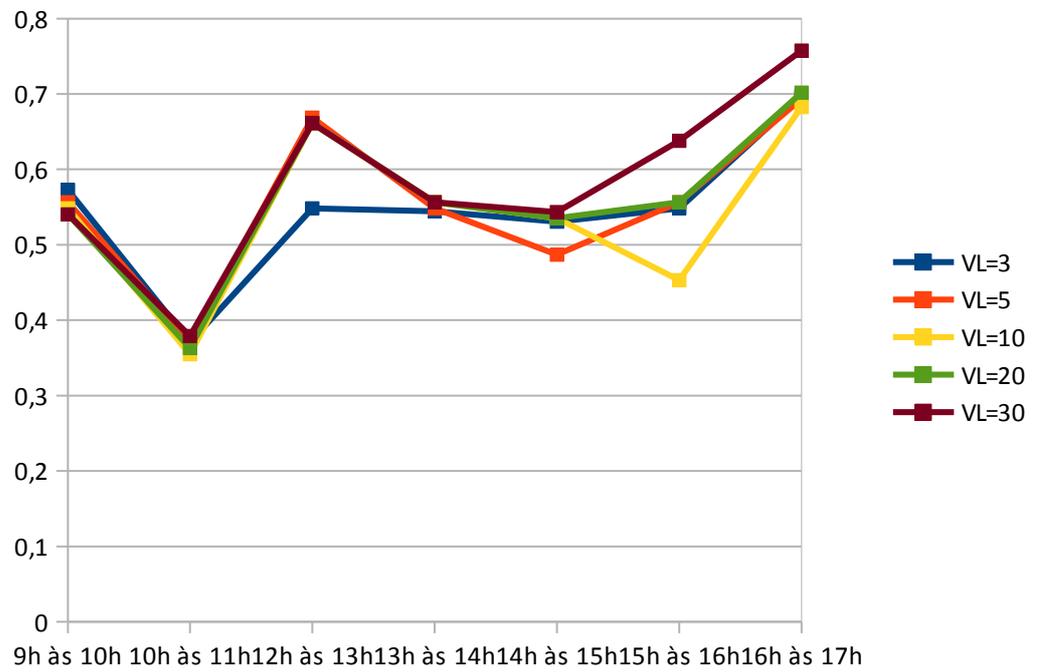


Gráfico 1 – Percentuais médios x horário de medição

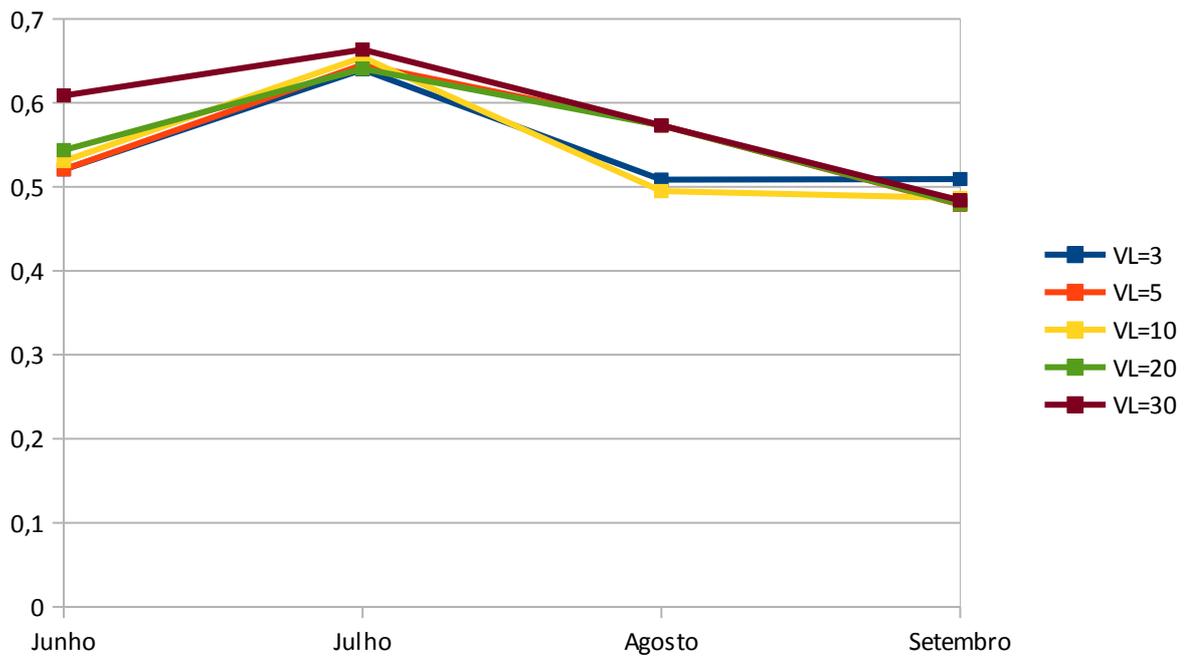


Gráfico 2 – Percentuais médios x meses de medição

8 CONCLUSÃO

Os objetivos inicialmente estabelecidos foram alcançados, estes consistiam em:

- Implementar o algoritmo baseado no trabalho de Lappalainen e Valkealahti. (2015) no software SCILAB;
- Utilizar o programa desenvolvido para realizar a atribuição de classes de sombra e não sombra, a partir de dados coletados por sensores LDR's, e com isso, realizar o confronto dos resultados do algoritmo com aqueles obtidos por um sensor verdade, no caso, um pireliômetro;
- Analisar os percentuais de acerto do algoritmo e daí inferir sobre o desempenho do mesmo.

Com relação ao último objetivo, o que se pode concluir levando em conta a observação dos percentuais de acerto é que o algoritmo não é viável em sua atual forma, novamente ressaltando que houve alguns fatores que contribuíram para que tal inviabilidade ocorresse. Vale pontuar que uma calibração e testes mais aprofundados do mesmo podem ser realizados

Para estudos posteriores, podem-se realizar novas medições utilizando os sensores recentemente calibrados para avaliar se há uma melhora na quantidade de acertos. Além disso, outra ideia que pode ser aplicada, seria a implementação de métodos heurísticos e/ou técnicas de reconhecimentos de padrões, com o intuito de desenvolver um novo algoritmo e avaliar de maneira análoga ao que foi feito neste estudo a viabilidade dos mesmos.

REFERÊNCIAS

1. ARAÚJO, Jonathan Barroso de. **PROTÓTIPO DE MEDIDOR DO TEMPO DE IRRADIAÇÃO SOLAR UTILIZANDO PLATAFORMA ARDUINO**. 2015. 87 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Mecânica. CT. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 2015.
2. ARCHER, B. Forecasting Demand: Quantitative and Intuitive Techniques. *International Journal of Tourism Management*. USA. v. 1, 1980.
3. Atlas Solarimétrico do Brasil : banco de dados solarimétricos coordenador Chigueru Tiba ... et al.- Recife: Ed. Universitária da UFPE. 2000
4. ARDUINO. The Arduino Playground, 2014. Disponível em: <<http://playground.arduino.cc/>>. Acesso em: 11 fev. 2017.
5. Campos Filho. Frederico F. “Fundamentos de SCILAB.” (2010)
6. Duffie, John A., and William A. Beckman. *Solar engineering of thermal processes*. Vol. 3. New York: Wiley, 2013.
7. WIKIPEDIA. LDR. **Wikipedia**. 2017. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/LDR>>. Acesso em : 10 fev. 2017.
8. J. S. Marques (2005).”Reconhecimento de Padrões: Métodos Estatísticos e Neurais”. 2ª. Edição. IST Press.
9. LAPPALAINEN. Kari; VALKEALAHTI. Seppo. Recognition and modelling of irradiance transitions caused by moving clouds. *Solar Energy*. v. 112. p. 55-67. 2015.
10. MAKRIDAKIS. S. *Metaforecasting: Ways of Improving Forecasting Accuracy and Usefulness*. *International Journal of Forecasting*. v. 4. n. 3. p. 467-
11. WATSON, D. E. Direct, Diffuse and Reflected Radiation. **FT Exploring**, 2011. Disponível em: <<http://www.ftexploring.com/solar-energy/direct-and-d>

APENDICE A - PROGRAMA FINAL COMPLETO

```

clc;
clear;
mprintf("\n programa que identifica estados de sombra e não
sombra");
mprintf("\n selecione o arquivo com os dados do ldr");
dadosldr=uigetfile("*.txt",pwd(),"escolha um arquivo");
A=fscanfMat(dadosldr);
mprintf("\n selecione o arquivo com os dados do
pireliômetro");
dadospire=uigetfile("*.txt",pwd(),"escolha um arquivo");
B=fscanfMat(dadospire);
mprintf("\n selecione os tempos do ldr");
tempoldr=uigetfile(title="tempo do ldr:");
D=fscanfMat(tempoldr);
mprintf("\n selecione os tempos do pireliômetro");
tempopire=uigetfile("*.txt",pwd(),"escolha um arquivo");
E=fscanfMat(tempopire);
for i=1:length(A)
    H(i,1)= datenum(2016,8,15,D(i,1),D(i,2),D(i,3));
end
for j=1:length(B)-5
    F(j,1)= datenum(2016,8,15,E(j,1),E(j,2),E(j,3));
end
N=datenum(2017,03,27,00,00,00);
M=datenum(2017,03,27,00,02,00);
epsilon=M-N;
disp(epsilon);
for a=1:length(A)
    if -epsilon <= F(1,1)-H(a,1) & F(1,1)-H(a,1) < 0 then
        C(a,1)=A(a,1);
    end
end

```

```

end
if 0 <= F(1,1)-H(a,1) & F(1,1)-H(a,1) <= epsilon then
    C(a,1)=A(a,1);
end
if F(1,1)-H(a,1) < -epsilon | epsilon < F(1,1)-H(a,1)
    C(a,1)=100000;
end
end
for z=1:length( C )
    f(z)=(C(z,1)+C(z-1,1)+C(z-2,1)+C(z-3,1)+C(z-4,1))/5;
end
Q=0;
J=0;
L=0;
for k=1:length(f)-1
    if f(k+1) < 20000 & f(k) < 20000 then
        q(k)=f(k+1)-f(k);
    else
        q(k)=20000;
    end
end
end
for w=1:length(q)
    if q(w) < 20000 then
        if q(w) >= 5 then
            Q=Q+1;
        end
        if 0 < q(w) & q(w) < 5 then
            J=J+1;
        end
        if 0 >= q(w) & q(w) > -5 then
            J=J+1;
        end
        if q(w) <= -5 then

```

```
                L=L+1;
            end
        end
    end
end
if Q>L & Q>J then
    mprintf("\n o valor de Q é:");
    disp(Q);
    mprintf("\n não sombra");
    teste(1)='NS';
end
if J>Q & J>L then
    mprintf("\n o valor de J é:");
    disp(J);
    O=0;
    T=0;
    for p=1:length(f)
        if f(p)>500 then
            O=O+1;
        else
            T=T+1;
        end
    end
end
if O>T then
    mprintf("\n não sombra");
    teste(1)='NS';
else
    mprint("\n sombra");
    teste(1)='S';
end
end
if L>Q & L>J then
    mprintf("\n o valor de L é :");
    disp(L);
```

```

mprintf("\n sombra");
teste(1)='S';
end
for b=2:length(F)
    for a=1:length(A)
        if -epsilon <= F(1,1)-H(a,1) & F(1,1)-H(a,1) < 0 then
            C(a,1)=A(a,1);
        end
        if 0 <= F(1,1)-H(a,1) & F(1,1)-H(a,1) <= epsilon then
            C(a,1)=A(a,1);
        end
        if F(1,1)-H(a,1) < -epsilon | epsilon < F(1,1)-H(a,1)
            C(a,1)=100000;
        end
    end
end
for z=5:length( C )
    f(z)=(C(z,1)+C(z-1,1)+C(z-2,1)+C(z-3,1)+C(z-4,1))/5;
end
Q=0;
L=0;
J=0;
for k=1:length(f)-1
    if f(k+1)<20000 & f(k)<20000 then
        q(k)=f(k+1)-f(k);
    else
        q(k)=20000;
    end
end
for w=1:length(q)
    if q(w)<20000 then
        if q(w)>=5 then
            Q=Q+1;
        end
    end
end

```

```
        if 0<q(w) & q(w)<5 then
            J=J+1
        end
        if 0>=q(w) & q(w)> -5 then
            J=J+1;
        end
        if q(w) <= -5 then
            L=L+1;
        end
    end
end
if Q>L & Q>J then
    mprintf("\n o valor de Q é:");
    disp(Q);
    mprintf("\n não sombra");
    teste(b)='NS';
end
if J>Q & J>L then
    mprintf("\n o valor de J é:");
    disp(J);
    mprintf("\n permanece o estado anterior");
    teste(b)=teste(b-1);
end
if L>Q & L>J then
    mprintf("\n o valor de L è:");
    disp(L);
    mprintf("\n sombra");
    teste(b)='S';
end
Q=0;
L=0;
J=0;
```

```

end
for i=1:length(B)-5
    MS=(B(i)+B(i+1)+B(i+2)+B(i+3)+B(i+4)+B(i+5))/6
    if B(i) < MS*(0.8) then
        resultpire(i)='S';
    else
        resultpire(i)='NS';
    end
end
end
X=0;
Y=0;
Z=0;
U=0;
for j=1:length(B)-5
    if resultpire(j)=='NS' & teste(j)=='NS' then
        X=X+1;
    end
    if resultpire(j)=='S' & teste(j)=='S' then
        U=U+1;
    end
    if resultpire(j)=='NS' & teste(j)=='S' then
        Y=Y+1;
    end
    if resultpire(j)=='S' & teste(j)=='NS' then
        Z=Z+1;
    end
end
end
disp(X);
disp(Y);
disp(Z);
disp(U);
MC=[X,Y ; Z,U];
mprintf("\n a matriz de confusão será:");

```

```
disp(MC);  
acerto=trace(MC)/sum(MC);  
fprintf("\n o percentual de acerto foi :");  
disp(acerto);
```