



UFRJ



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIA – DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

UTILIZAÇÃO DE INSTRUMENTAÇÃO DE BAIXO CUSTO PARA A DETECÇÃO DE
NUVENS COM APLICAÇÃO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR
FOTOVOLTAICA

GRISEL ARENILLAS TEIXEIRA

2019

UTILIZAÇÃO DE INSTRUMENTAÇÃO DE BAIXO CUSTO PARA A DETECÇÃO
DE NUVENS COM APLICAÇÃO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR
FOTOVOLTAICA

GRISEL ARENILLAS TEIXEIRA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Meteorologia do Instituto de Geociências do Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza da Universidade Federal do Rio de Janeiro (PPGM-IGEO-CCMN-UFRJ), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências (área: Meteorologia).

Orientadores: Luiz Paulo Freitas Assad e Márcio Cataldi

Rio de Janeiro
Novembro de 2019

UTILIZAÇÃO DE INSTRUMENTAÇÃO DE BAIXO CUSTO PARA A DETECÇÃO
DE NUVENS COM APLICAÇÃO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR
FOTOVOLTAICA

GRISEL ARENILLAS TEIXEIRA

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA DO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS DO CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO (PPGM-IGEO-CCMN-UFRJ) COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM METEOROLOGIA.

Examinada por:

Prof. Doutor Luiz Paulo Freitas Assad (Orientador)

Prof. Doutor Márcio Cataldi (Co-Orientador)

Prof. Doutor Gutemberg Borges França

Prof. Doutor Ivanovich Lache Salcedo

Prof. Doutor Wallace Figueiredo Menezes

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

NOVEMBRO DE 2019

A681u Arenillas, Grisel Teixeira

Utilização de Instrumentação de Baixo Custo Para a Detecção de Nuvens Com Aplicação Para Geração de Energia Solar Fotovoltaica/ Grisel Arenillas Teixeira – Rio de Janeiro: UFRJ/PPGM/IGEO/CCMN, 2019.

189 f.

Orientadores: Luiz Paulo Freitas Assad e Márcio Cataldi.

Dissertação (Mestrado) – UFRJ/PPGM/IGEO/CCMN Programa de Pós-graduação Meteorologia, 2019.

Referências Bibliográficas: p. 146-155.

1. Equipamento de Baixo Custo. 2. Sensor de Raio UV. 3. Detecção de Nuvens. I. Assad, Luiz. II. Cataldi, Márcio. III. Universidade Federal do Rio de Janeiro, PPGM/IGEO/CCMN, Programa de Pós-graduação em Meteorologia. IV. Título.

*Dedico este trabalho aos meus pais Catarineta
Oliveira Arenillas e Esteban Carlos Arenillas.*

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, pelo amor, apoio e incentivo ao longo desses anos. Também, aos meus irmãos, Murana, Ramsés e Nahuel, meu eterno professor. Aos meus avós, tios e todos meus familiares.

Ao amor da minha vida, Amauri, por me acompanhar, apoiar, incentivar e proporcionar momentos de amor e alegria nessa trajetória.

A todos os professores que contribuíram para o meu crescimento profissional. Agradecimento especial ao Prof. Dr. Márcio Cataldi pelo grande aprendizado, orientação, paciência e dedicação para que este trabalho fosse realizado. Ao Prof. Dr. Luiz Paulo Freitas Assad por me amparar nessa etapa importante da minha carreira acadêmica. Ao Prof. Dr. Ivanovich Lache Salcedo por ter colaborado imensamente para o desenvolvimento do trabalho. Aos colegas de curso de mestrado e do Laboratório de Monitoramento e Modelagem Climática da Universidade Federal Fluminense, especialmente ao Douglas e Angelus, por auxiliarem na montagem do equipamento.

Agradeço também a Universidade Federal do Rio de Janeiro, pela formação e ao Laboratório de Monitoramento e Modelagem Climática da Universidade Federal Fluminense, pela estrutura. Também à CAPES, pelo apoio financeiro ao longo do mestrado.

E, aos meus amigos queridos que a vida me presenteou, especialmente minha irmã, Laurinha.

Resumo da Dissertação apresentada ao PPGM/IGEO/CCMN/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M. Sc.)

UTILIZAÇÃO DE INSTRUMENTAÇÃO DE BAIXO CUSTO PARA A DETECÇÃO DE
NUVENS COM APLICAÇÃO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR
FOTOVOLTAICA

GRISEL ARENILLAS TEIXEIRA

Novembro/2019

Orientadores: Luiz Paulo Freitas Assad

Márcio Cataldi

Programa de Pós-graduação em Meteorologia

Neste estudo é desenvolvido um equipamento de baixo custo para a detecção de nebulosidade que, conseqüentemente, possa ser utilizado na previsão da geração de energia solar fotovoltaica, em pequenos horizontes temporais (de 15 min a 1 hora). Foi empregado, como plataforma o Arduino em conjunto com o sensor de raio ultravioleta UVM-30A fabricado pela Logoele Electronic e, posteriormente, realizaram-se testes experimentais para verificar a aplicabilidade do equipamento. Os resultados mostraram que as medidas do equipamento são correspondentes com as variações de nebulosidade no céu. A análise da diferença entre os experimentos, revelou que dias com céu predominantemente encoberto/nublado podem causar uma diferença de tensão de até 0,46V no equipamento de baixo custo, evidenciando ainda mais a importância em se utilizar um sistema de previsão de tempo para amenizar os impactos causados pela variabilidade da nebulosidade. A análise da relação entre o painel solar e o equipamento de detecção de nuvens para cada experimento mostrou que o painel solar possui uma relação linear positiva e majoritariamente forte, evidenciando que as variáveis tendem a aumentar e diminuir em conjunto. Por fim, foi analisado o desempenho para a previsão de nebulosidade e insolação, de dois sensores UV (da mesma marca), sendo que sensor mais

recente obteve maior grau de associação com a geração do painel solar. Diante disso, pode-se inferir que o equipamento desenvolvido neste trabalho, além de permitir a detecção de nebulosidade, pode ser aplicável para a realização das previsões de geração solar fotovoltaica, ajudando no planejamento energético das empresas e usuários que utilizam essa fonte de energia.

Palavras chave: equipamento de baixo custo, sensor de raios UV, Arduino, detecção de nuvens, geração solar fotovoltaica.

Abstract of Dissertation presented to PPGM/IGEO/CCMN/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

USE OF LOW-COST INSTRUMENTATION FOR THE DETECTION OF CLOUDS WITH
APPLICATION TO GENERATE PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY

GRISEL ARENILLAS TEIXEIRA

November/2019

Advisors: Luiz Paulo Freitas Assad

Márcio Cataldi

Department: Meteorology

In this study a low cost cloud detection equipment is developed that can therefore be used to predict solar photovoltaic power generation in small time horizons (from 15 min to 1 hour). Arduino was used as a platform in conjunction with the UVM-30A ultraviolet ray sensor manufactured by Logoele Electronic and, subsequently, experimental tests were performed to verify the applicability of the equipment. The results showed that the measurements of the equipment correspond with the variations of cloudiness in the sky. Analysis of the difference between the experiments revealed that days with predominantly overcast / cloudy skies can cause a voltage difference of up to 0.46V in low cost equipment, further highlighting the importance of using a weather forecasting system to mitigate the impacts caused by cloud variability. The analysis of the relationship between the solar panel and the cloud detection equipment for each experiment showed that the solar panel is a positive and mostly strong linear relationship, showing that the variables tend to increase and decrease together. Finally, the performance for cloud prediction and insolation prediction of two UV sensors (of the same brand) was analyzed. The most recent sensor obtained a higher degree of association with the solar panel generation. Given this, it can be inferred that the equipment developed in this work, besides allowing the detection of cloudiness, can be applicable for the realization of

photovoltaic solar generation forecasts, helping in the energy planning of companies and users using this energy source.

Key words: low cost equipment, UV ray sensor, Arduino, cloud detection, solar photovoltaic generation.

ÍNDICE

RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	ix
ÍNDICE.....	xi
LISTA DE FIGURAS.....	xiv
LISTA DE TABELAS.....	xxiii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	xxv
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....	01
1.1 Objetivos.....	02
1.1.1 Objetivo Geral.....	02
1.1.2 Objetivos Específicos.....	02
CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	03
2.1 Energia.....	03
2.2 Energias Renováveis.....	04
2.3 Energia Solar.....	05
2.4 Energia Solar Fotovoltaica.....	07
2.4.1 Breve História.....	08
2.4.2 Mecanismo.....	09
2.4.3 Células Fotovoltaicas.....	09
2.4.4 Sistema Fotovoltaico.....	10
2.4.5 Energia Solar Fotovoltaica no Mundo.....	11
2.4.6 Energia Solar Fotovoltaica no Brasil.....	12
2.4.7 Benefícios e desafios.....	15
2.5 Nuvens e Sua Influência na Energia Solar Fotovoltaica.....	16
2.5.1 Definição e Formação das Nuvens.....	16
2.5.2 Transporte e Dissipação das Nuvens.....	17
2.5.3 Classificação das Nuvens.....	18
2.5.3.1 Nuvens Altas.....	19
2.5.3.2 Nuvens Médias.....	19
2.5.3.3 Nuvens Baixas.....	20
2.5.4 Influência das Nuvens na Energia Solar Fotovoltaica.....	21

2.6	Previsão de Geração Solar.....	25
2.6.1	Métodos de Previsão.....	25
2.6.2	Desempenho da Previsão.....	27
2.7	Instrumentação.....	28
2.7.1	Instrumentação Tradicionais Para Medir Radiação Solar.....	28
2.7.1.1	Pireliômetros.....	28
2.7.1.2	Piranômetros.....	29
2.7.2	Alternativas de Baixo Custo Para Medir Radiação Solar.....	30
2.7.2.1	Microcontroladores.....	31
2.7.2.2	Arduino.....	32
2.7.2.2.1	Plataforma Arduino.....	32
2.7.2.2.2	Dispositivos Interativos.....	33
2.7.2.2.3	Diferença do Arduino e Outras Plataformas.....	34
	CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS.....	35
3.1	Materiais.....	35
3.1.1	Placa Arduino MEGA2560.....	36
3.1.1.1	Alimentação da Placa Arduino MEGA2560.....	38
3.1.2	Sensor de Raios Ultravioleta UVM-30A.....	39
3.1.3	Módulo Relógio de Tempo Real RTC DS3231.....	41
3.1.4	Módulo Cartão de Memória MicroSD Card Adapter.....	42
3.1.5	Cabo USB.....	43
3.1.6	Fios Para Conexão (Jumpers).....	43
3.1.7	Placa de Circuito Impresso.....	44
3.1.8	Barra de Pinos Macho.....	45
3.1.9	Webcam.....	46
3.1.10	Painel Solar Fotovoltaico 2W.....	47
3.1.11	Cabo Adaptador CC.....	49
3.1.12	Cabo de Teste Plug P4 Fêmea/Garras de Jacaré.....	49
3.1.13	Micro Protoboard.....	50
3.1.14	Resistor.....	51
3.1.15	Notebook.....	52

3.1.16 Bateria 9V.....	52
3.1.17 Conector de Bateria 9V Plug P4.....	53
3.2 Métodos.....	54
3.2.1 Montagem do Equipamento.....	54
3.2.2 Testes Experimentais do equipamento.....	57
3.2.2.1 Detecção de Nuvens – Experimento 1.....	59
3.2.2.2 Detecção de Nuvens – Experimento 2.....	61
3.2.2.3 Detecção de Nuvens – Experimento 3.....	63
3.2.2.4 Detecção de Nuvens – Experimento 4.....	66
3.2.3 Tratamento dos Dados e Elaboração dos Resultados.....	68
CAPÍTULO 4 – RESULTADOS.....	73
4.1 Avaliação Individual dos Experimentos de Detecção de Nuvens.....	73
4.1.1 Detecção de Nuvens 1.....	73
4.1.2 Detecção de Nuvens 2.....	79
4.1.3 Detecção de Nuvens 3.....	83
4.1.4 Detecção de Nuvens 4.....	94
4.2 Avaliação Geral dos Experimentos de Detecção de Nuvens.....	100
4.3 Sumário dos Resultados.....	140
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES.....	143
5.1 Trabalhos Futuros.....	144
REFERÊNCIAS.....	146
ANEXOS.....	155

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Taxas médias anuais de crescimento do fornecimento mundial de energia renovável para o período de 1990 a 2015.....	05
Figura 2.2: Valores da soma diária e anual para irradiação global horizontal em todo o globo. Dados: SOLARGIS, período compreendido entre janeiro de 1994/1999 e 2007 até dezembro de 2015.....	06
Figura 2.3: Estrutura básica de uma célula fotovoltaica.....	10
Figura 2.4: Sistema fotovoltaico inteiro.....	11
Figura 2.5: Totais diário e anual do potencial de energia fotovoltaica para o Brasil. Dados: SOLARGIS, período compreendido entre janeiro de 1994/1999 e 2007 até dezembro de 2015.....	13
Figura 2.6: Matriz elétrica brasileira de 2016.....	14
Figura 2.7: As localizações dos empreendimentos contratados no LER e sua capacidade de geração.....	15
Figura 2.8: (a) Variação da potência do módulo com a variação do índice de insolação. (b) Variação da potência do módulo com a variação da temperatura.....	16
Figura 2.9: Todos os gêneros de nuvens, localizado conforme seus estágios.....	21
Figura 2.10: Saída do PV para cidade de Kansas, Missouri, Estados Unidos em um (a) dia claro, (b) nublado e (c) parcialmente nublado.....	23
Figura 2.11: Variações da luz solar associadas a saída de geradores fotovoltaicos para (a) linha de instabilidade e (b) nuvens cumulus. Para áreas de serviço de vários tamanhos.....	24
Figura 2.12: Pireliômetro de Compensação de Ångstrom.....	29

Figura 2.13: Piranômetro Eppley.....	30
Figura 2.14: Arduino Uno REV3.....	33
Figura 3.1: Placa Arduino MEGA2560.....	37
Figura 3.2: Sensor de Raio Ultravioleta UVM30A.....	39
Figura 3.3: Sensor de raios ultravioleta UVM-30A: curva de resposta típica (esquerda) e valor de tensão de saída padrão (direita).....	41
Figura 3.4: Relógio de Tempo Real Módulo RTC DS3231.....	42
Figura 3.5: Módulo cartão de memória MicroSD Card Adapter.....	42
Figura 3.6: Cabo USB.....	43
Figura 3.7: Jumpers.....	44
Figura 3.8: Placa de circuito impresso de fibra de vidro.....	45
Figura 3.9: Barra de pinos macho.....	46
Figura 3.10: Webcam 16Mp da Multilaser.....	47
Figura 3.11: Painel solar fotovoltaico.....	48
Figura 3.12: Cabo adaptador CC.....	49
Figura 3.13: Cabo de teste plug P4 fêmea/garras de jacaré.....	50
Figura 3.14: Micro protoboard.....	51
Figura 3.15: Resistores de 750 ohm de filme de metal.....	52
Figura 3.16: Ilustração de um notebook.....	52

Figura 3.17: Bateria 9V.....	53
Figura 3.18: Conector de bateria 9V plug P4.....	53
Figura 3.19: Esquema da montagem (conexões) do equipamento de detecção de nuvens. Composição: 1. Placa Arduino MEGA2560. 2. Sensor de raio ultravioleta UVM-30A. 3. Módulo cartão de memória MicroSD Card Adapter. 4. Módulo relógio de tempo real RTC DS3231. e 5. Micro protoboard.....	56
Figura 3.20: Configuração final do equipamento de detecção de nuvens. Composição: 1. Módulo cartão de memória MicroSD Card Adapter. 2. Módulo relógio de tempo real RTC DS3231. 3. Placa Arduino MEGA2560. 4. Micro protoboard. e 5. Sensor de raio ultravioleta UVM-30A.....	57
Figura 3.21: Imagens dos experimentos DN1, realizado para um dia encoberto a nublado (DN1.1) e um dia predominantemente claro com poucas nuvens (DN1.2).....	60
Figura 3.22: Esquema da montagem (conexões) do equipamento de detecção de nuvens para os experimentos DN2. 1. Placa Arduino MEGA2560. 2. Sensor de raio ultravioleta UVM-30A. 3. Módulo cartão de memória MicroSD card adapter. 4. Módulo relógio de tempo real RTC DS3231. 5. Micro protoboard. 6. Segunda micro protoboard. 7. Resistores. 8. Cabo de teste plug P4 fêmea/garras de jacaré. 9. Cabo adaptador CC. 10. Painel solar fotovoltaico. 11. Cabo USB para alimentação via notebook.....	62
Figura 3.23: Imagens dos experimentos DN2 em Niterói (imagens superiores) e Rio de Janeiro (imagens inferiores).....	62
Figura 3.24: Esquema da montagem (conexões) do equipamento de detecção de nuvens para os experimentos DN3. 1. Placa Arduino MEGA2560. 2. Sensor de raio ultravioleta UVM-30A. 3. Segundo sensor de raio ultravioleta UVM-30A. 4. Módulo cartão de memória MicroSD card adapter. 5. Módulo relógio de tempo real RTC DS3231. 6. Micro protoboard. 7. Segunda micro protoboard. 8. Resistores. 9. Cabo de teste plug P4 fêmea/garras de jacaré. 10. Cabo adaptador CC. 11. Painel solar fotovoltaico. 12. Cabo USB para alimentação via notebook.....	64

Figura 3.25: Imagens dos experimentos DN3 em Manaus (primeira e terceira imagem) e Cantá (segunda imagem).....	64
Figura 3.26: Esquema da montagem (conexões) do equipamento de detecção de nuvens para os experimentos DN4. 1. Placa Arduino MEGA2560. 2. Sensor de raio ultravioleta UVM-30A. 3. Segundo sensor de raio ultravioleta UVM-30A. 4. Módulo cartão de memória MicroSD card adapter. 5. Módulo relógio de tempo real RTC DS3231. 6. Micro protoboard. 7. Segunda micro protoboard. 8. Resistores. 9. Cabo de teste plug P4 fêmea/garras de jacaré. 10. Cabo adaptador CC. 11. Painel solar fotovoltaico. 12. Conector de bateria 9V plug P4 para alimentação.....	66
Figura 3.27: Imagens dos experimentos DN4 em Manaus.....	67
Figura 4.1: Dados medidos pelo equipamento de detecção de nuvens de baixo custo (sensor UV1) durante o experimento DN1.1.....	74
Figura 4.2: Imagens registradas durante DN1.1 para o céu (a) encoberto (09:00 horas), (b) parcialmente nublado (12:10) e (c) nublado (12:20 horas).....	75
Figura 4.3: Dados medidos pelo equipamento de detecção de nuvens de baixo custo (sensor UV1) durante o experimento DN1.2.....	76
Figura 4.4: Imagens registradas durante DN1.2 para o céu (a) claro com poucas nuvens (09:00 horas), (b) claro com poucas nuvens e presença de pássaro (12:34) e (c) parcialmente nublado (14:10 horas).....	77
Figura 4.5: Dados medidos pelo equipamento de detecção de nuvens de baixo custo para horários concomitantes de DN1.1 (linha azul), DN1.2 (linha verde) e a diferença (DN1.2 – DN1.1) entre eles (linha tracejada cinza).....	78
Figura 4.6: Dados medidos pelo equipamento de detecção de nuvens de baixo custo (sensor UV1) durante o experimento DN2.1.....	80

Figura 4.7: Imagens registradas durante DN2.1 para o céu (a) claro com a presença de sombra indesejáveis (08:49 horas), (b) claro com presença de sombras indesejáveis (09:03 horas) e (c) claro (11:35 horas).....	81
Figura 4.8: Dados medidos pelo equipamento de detecção de nuvens de baixo custo (sensor UV1) durante o experimento DN2.2.....	82
Figura 4.9: Imagens registradas durante DN2.2 para o céu (a) nublado (08:35 horas), (b) com poucas nuvens (10:21 horas) e (c) nublado (10:38 horas).....	83
Figura 4.10: Dados medidos pelo equipamento de detecção de nuvens de baixo custo (sensor UV1 e sensor UV2) e painel solar durante o experimento DN3.1.....	85
Figura 4.11: Imagens registradas durante DN3.1 para o céu (a) parcialmente nublado (08:00 horas), (b) claro com presença de um pássaro (08:54 horas) e (c) claro (09:15 horas).....	86
Figura 4.12: Dados medidos pelo equipamento de detecção de nuvens de baixo custo (sensor UV1 e sensor UV2) e painel solar durante o experimento DN3.2.....	87
Figura 4.13: Imagens registradas durante DN3.2 para o céu (a) nublado (13:34 horas), (b) parcialmente nublado (13:51 horas) e (c) nublado (14:26 horas).....	88
Figura 4.14: Dados medidos pelo equipamento de detecção de nuvens de baixo custo (sensor UV1 e sensor UV2) e painel solar durante o experimento DN3.3.....	89
Figura 4.15: Imagens registradas durante DN3.3 para o céu (a) parcialmente nublado (11:26 horas), (b) nublado (11:59 horas) e (c) parcialmente nublado (14:54 horas).....	90
Figura 4.16: Dados medidos pelo equipamento de detecção de nuvens de baixo custo (sensor UV1 e sensor UV2) e painel solar durante o experimento DN3.4.....	91
Figura 4.17: Imagens registradas durante DN3.4 para o céu (a) parcialmente nublado (12:49 horas), (b) nublado (14:02 horas) e (c) com poucas nuvens (14:23 horas).....	92

Figura 4.18: Dados medidos pelo equipamento de detecção de nuvens de baixo custo (sensor UV1 e sensor UV2) e painel solar durante o experimento DN3.5.....	93
Figura 4.19: Imagens registradas durante DN3.5 para o céu (a) claro (10:35 horas), (b) parcialmente nublado (13:09 horas) e (c) parcialmente nublado (15:59 horas).....	93
Figura 4.20: Dados medidos pelo equipamento de detecção de nuvens de baixo custo (sensor UV1 e sensor UV2) e painel solar durante o experimento DN4.1.....	95
Figura 4.21: Dados medidos pelo equipamento de detecção de nuvens de baixo custo (sensor UV1 e sensor UV2) e painel solar durante o experimento DN4.2.....	96
Figura 4.22: Dados medidos pelo equipamento de detecção de nuvens de baixo custo (sensor UV1 e sensor UV2) e painel solar durante o experimento DN4.3.....	97
Figura 4.23: Dados medidos pelo equipamento de detecção de nuvens de baixo custo (sensor UV1 e sensor UV2) e painel solar durante o experimento DN4.4.....	98
Figura 4.24: Gráficos de dispersão para todos os experimentos. Esquerda: para as variáveis X: sensor UV1 e Y: painel solar, para (a) todos os horários, (b) 09:30 às 15:00 horas, (c) 11:00 às 13:00 horas e (d) sem 11:00 às 13:00 horas. Direita: para as variáveis X: sensor UV2 e Y: painel solar, para (e) todos os horários, (f) 09:30 às 15:00 horas, (g) 11:00 às 13:00 horas e (h) sem 11:00 às 13:00 horas.....	101
Figura 4.25: Gráficos de dispersão para os experimentos com alimentação via porta USB do notebook. Esquerda: para as variáveis X: sensor UV1 e Y: painel solar, para (a) todos os horários, (b) 09:30 às 15:00 horas, (c) 11:00 às 13:00 horas e (d) sem 11:00 às 13:00 horas. Direita: para as variáveis X: sensor UV2 e Y: painel solar, para (e) todos os horários, (f) 09:30 às 15:00 horas, (g) 11:00 às 13:00 horas e (h) sem 11:00 às 13:00 horas.....	103

Figura 4.26: Gráficos de dispersão para os experimentos com alimentação via bateria 9V. Esquerda: para as variáveis X: sensor UV1 e Y: painel solar, para (a) todos os horários, (b) 09:30 às 15:00 horas, (c) 11:00 às 13:00 horas e (d) sem 11:00 às 13:00 horas. Direita: para as variáveis X: sensor UV2 e Y: painel solar, para (e) todos os horários, (f) 09:30 às 15:00 horas, (g) 11:00 às 13:00 horas e (h) sem 11:00 às 13:00 horas.....105

Figura 4.27: Gráficos de dispersão para todos os experimentos. Esquerda: para as variáveis X: MMS sensor UV1 e Y: MMS painel solar, para (a) todos os horários, (b) 09:30 às 15:00 horas, (c) 11:00 às 13:00 horas e (d) sem 11:00 às 13:00 horas. Direita: para as variáveis X: MMS sensor UV2 e Y: MMS painel solar, para (e) todos os horários, (f) 09:30 às 15:00 horas, (g) 11:00 às 13:00 horas e (h) sem 11:00 às 13:00 horas.....109

Figura 4.28: Gráficos de dispersão para os experimentos com alimentação via porta USB do notebook. Esquerda: para as variáveis X: MMS sensor UV1 e Y: MMS painel solar, para (a) todos os horários, (b) 09:30 às 15:00 horas, (c) 11:00 às 13:00 horas e (d) sem 11:00 às 13:00 horas. Direita: para as variáveis X: MMS sensor UV2 e Y: MMS painel solar, para (e) todos os horários, (f) 09:30 às 15:00 horas, (g) 11:00 às 13:00 horas e (h) sem 11:00 às 13:00 horas.....111

Figura 4.29: Gráficos de dispersão para os experimentos com alimentação via bateria 9V. Esquerda: para as variáveis X: MMS sensor UV1 e Y: MMS painel solar, para (a) todos os horários, (b) 09:30 às 15:00 horas, (c) 11:00 às 13:00 horas e (d) sem 11:00 às 13:00 horas. Direita: para as variáveis X: MMS sensor UV2 e Y: MMS painel solar, para (e) todos os horários, (f) 09:30 às 15:00 horas, (g) 11:00 às 13:00 horas e (h) sem 11:00 às 13:00 horas.....113

Figura 4.30: Gráficos de dispersão para todos os experimentos. Esquerda: para as variáveis X: delta sensor UV1 e Y: delta painel solar, para (a) todos os horários, (b) 09:30 às 15:00 horas, (c) 11:00 às 13:00 horas e (d) sem 11:00 às 13:00 horas. Direita: para as variáveis X: delta sensor UV2 e Y: delta painel solar, para (e) todos os horários, (f) 09:30 às 15:00 horas, (g) 11:00 às 13:00 horas e (h) sem 11:00 às 13:00 horas.....117

Figura 4.31: Gráficos de dispersão para os experimentos com alimentação via porta USB do notebook. Esquerda: para as variáveis X: delta sensor UV1 e Y: delta painel solar, para (a) todos os horários, (b) 09:30 às 15:00 horas, (c) 11:00 às 13:00 horas e (d) sem 11:00 às 13:00 horas. Direita: para as variáveis X: delta sensor UV2 e Y: delta painel solar, para (e) todos os horários, (f) 09:30 às 15:00 horas, (g) 11:00 às 13:00 horas e (h) sem 11:00 às 13:00 horas.....119

Figura 4.32: Gráficos de dispersão para os experimentos com alimentação via bateria 9V. Esquerda: para as variáveis X: delta sensor UV1 e Y: delta painel solar, para (a) todos os horários, (b) 09:30 às 15:00 horas, (c) 11:00 às 13:00 horas e (d) sem 11:00 às 13:00 horas. Direita: para as variáveis X: delta sensor UV2 e Y: delta painel solar, para (e) todos os horários, (f) 09:30 às 15:00 horas, (g) 11:00 às 13:00 horas e (h) sem 11:00 às 13:00 horas.....121

Figura 4.33: Gráficos de dispersão para todos os experimentos. Esquerda: para as variáveis X: delta sensor UV1 e Y: delta painel solar maior ou igual a 0,1V, para (a) todos os horários, (b) 09:30 às 15:00 horas, (c) 11:00 às 13:00 horas e (d) sem 11:00 às 13:00 horas. Direita: para as variáveis X: delta sensor UV2 e Y: delta painel solar maior ou igual a 0,1V, para (e) todos os horários, (f) 09:30 às 15:00 horas, (g) 11:00 às 13:00 horas e (h) sem 11:00 às 13:00 horas.....125

Figura 4.34: Gráficos de dispersão para os experimentos com alimentação via porta USB do notebook. Esquerda: para as variáveis X: delta sensor UV1 e Y: delta painel solar maior ou igual a 0,1V, para (a) todos os horários, (b) 09:30 às 15:00 horas, (c) 11:00 às 13:00 horas e (d) sem 11:00 às 13:00 horas. Direita: para as variáveis X: delta sensor UV2 e Y: delta painel solar maior ou igual a 0,1V, para (e) todos os horários, (f) 09:30 às 15:00 horas, (g) 11:00 às 13:00 horas e (h) sem 11:00 às 13:00 horas.....127

Figura 4.35: Gráficos de dispersão para os experimentos com alimentação via bateria 9V. Esquerda: para as variáveis X: delta sensor UV1 e Y: delta painel solar maior ou igual a 0,1V, para (a) todos os horários, (b) 09:30 às 15:00 horas, (c) 11:00 às 13:00 horas e (d) sem 11:00 às 13:00 horas. Direita: para as variáveis X: delta sensor UV2 e Y: delta painel solar maior ou igual a 0,1V, para (e) todos os horários, (f) 09:30 às 15:00 horas, (g) 11:00 às 13:00 horas e (h) sem 11:00 às 13:00 horas.....129

Figura 4.36: Gráficos de dispersão para todos os experimentos. Esquerda: para as variáveis X: delta sensor UV1 e Y: delta painel solar menor ou igual a -0,1V, para (a) todos os horários, (b) 09:30 às 15:00 horas, (c) 11:00 às 13:00 horas e (d) sem 11:00 às 13:00 horas. Direita: para as variáveis X: delta sensor UV2 e Y: delta painel solar menor ou igual a -0,1V, para (e) todos os horários, (f) 09:30 às 15:00 horas, (g) 11:00 às 13:00 horas e (h) sem 11:00 às 13:00 horas.....133

Figura 4.37: Gráficos de dispersão para os experimentos com alimentação via porta USB do notebook. Esquerda: para as variáveis X: delta sensor UV1 e Y: delta painel solar menor ou igual a -0,1V, para (a) todos os horários, (b) 09:30 às 15:00 horas, (c) 11:00 às 13:00 horas e (d) sem 11:00 às 13:00 horas. Direita: para as variáveis X: delta sensor UV2 e Y: delta painel solar menor ou igual a -0,1V, para (e) todos os horários, (f) 09:30 às 15:00 horas, (g) 11:00 às 13:00 horas e (h) sem 11:00 às 13:00 horas.....135

Figura 4.38: Gráficos de dispersão para os experimentos com alimentação via bateria 9V. Esquerda: para as variáveis X: delta sensor UV1 e Y: delta painel solar menor ou igual a -0,1V, para (a) todos os horários, (b) 09:30 às 15:00 horas, (c) 11:00 às 13:00 horas e (d) sem 11:00 às 13:00 horas. Direita: para as variáveis X: delta sensor UV2 e Y: delta painel solar menor ou igual a -0,1V, para (e) todos os horários, (f) 09:30 às 15:00 horas, (g) 11:00 às 13:00 horas e (h) sem 11:00 às 13:00 horas.....137

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Estágios das nuvens para distintas regiões do globo.....	18
Tabela 2.2: Flutuações de potência e tensão associadas ao nível de cobertura de nuvens.....	22
Tabela 2.3: Resumo das principais características das nuvens que impactam na geração solar fotovoltaica.....	23
Tabela 2.4: Perda de potência de uma célula fotovoltaica sombreada.....	24
Tabela 3.1: Materiais utilizados para compor o equipamento de baixo custo, quantidade e preço.....	35
Tabela 3.2: Materiais adicionais utilizados na realização dos testes experimentais do equipamento de baixo custo.....	36
Tabela 3.3: Características da placa Arduino MEGA2560.....	38
Tabela 3.4: Características do sensor UVM-30A.....	40
Tabela 3.5: Características do painel solar fotovoltaico 2W.....	48
Tabela 3.6: Características dos experimentos realizados.....	59
Tabela 3.7: Características dos experimentos de detecção de nuvens 1 (DN1).....	61
Tabela 3.8: Características dos experimentos de detecção de nuvens 2 (DN2).....	63
Tabela 3.9: Características dos experimentos de detecção de nuvens 3 (DN3).....	65
Tabela 3.10: Características dos experimentos de detecção de nuvens 4 (DN4).....	68
Tabela 4.1: Resumo das características e estatística descritiva dos sensores UV e painel solar para cada experimento de detecção de nuvens.....	99

Tabela 4.2: Estatística descritiva dos dados normais para painel solar, sensor UV1 e sensor UV2, considerando os diferentes horários (todos, de 09:30 às 15:00 horas, de 11:00 às 13:00 horas e sem 11:00 às 13:00 horas) para: todos os experimentos, via porta USB do notebook e via bateria de 9V.....107

Tabela 4.3: Estatística descritiva da MMS painel solar, MMS sensor UV1 e MMS sensor UV2, considerando os diferentes horários (todos, de 09:30 às 15:00 horas, de 11:00 às 13:00 horas e sem 11:00 às 13:00 horas) para: todos os experimentos, via porta USB do notebook e via bateria de 9V.....115

Tabela 4.4: Estatística descritiva do delta painel solar, delta sensor UV1 e delta sensor UV2, considerando os diferentes horários (todos, de 09:30 às 15:00 horas, de 11:00 às 13:00 horas e sem 11:00 às 13:00 horas) para: todos os experimentos, via porta USB do notebook e via bateria de 9V.....123

Tabela 4.5: Estatística descritiva do delta painel solar, delta sensor UV1 e delta sensor UV2 para os valores de delta painel solar maiores ou iguais a 0,1V, considerando os diferentes horários (todos, de 09:30 às 15:00 horas, de 11:00 às 13:00 horas e sem 11:00 às 13:00 horas) para: todos os experimentos, via porta USB do notebook e via bateria de 9V.....131

Tabela 4.6: Estatística descritiva do delta painel solar, delta sensor UV1 e delta sensor UV2 para os valores de delta painel solar menores ou iguais a -0,1V, considerando os diferentes horários (todos, de 09:30 às 15:00 horas, de 11:00 às 13:00 horas e sem 11:00 às 13:00 horas) para: todos os experimentos, via porta USB do notebook e via bateria de 9V.....139

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Ac	Alto cumulus
AMS	American Meteorological Society
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
As	Altostratus
BOS	Balance Of System
CA	Corrente Alternada
Cb	Cumulonimbus
Cc	Cirrocumulus
CC	Corrente Contínua
CdTe	Telureto de Cádmio
Ci	Cirrus
CIGS	Cobre-Índio-Gálio-Selênio
CNN	Cloud Condensation Nuclei
CO ₂	Dióxido de Carbono
CPV	Células Fotovoltaicas
CS	Chip Selection
Cs	Cirrostratus
CSP	Concentrated Solar Power
Cu	Cumulus
DEE	Departamento de Engenharia Elétrica
DN1	Detecção de Nuvens 1
DN2	Detecção de Nuvens 2
DN3	Detecção de Nuvens 3
DN4	Detecção de Nuvens 4
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read Only Memory
EERE	Energy Efficiency And Renewable Energy
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GMT	Greenwich Mean Time
GND	Ground

IDE	Integrated Development Environment
IEA	International Energy Agency
IN	Ice Nucleus
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
ISE	Institute For Solar Energy Systems
LAMMOC	Laboratório de Monitoramento e Modelagem de Sistemas Climáticos
Lat	Latitude
LER	Leilões de Energia de Reserva
Lon	Longitude
MISO	Master In Slave Out
MMS	Média Móvel Simples
MOSI	Master Out Slave In
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NREL	National Renewable Energy Laboratory
Ns	Nimbostratus
OECD	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OMS	Organização Mundial de Saúde
PCI	Placas de Circuito Impresso
PNT	Modelo de Previsão Numérica do Tempo
PV	Sistema Fotovoltaico
PVPS	Photovoltaic Power Systems Programme
PWM	Pulse Width Modulation
RTC	Real Time Clock
Sc	Stratocumulus
SCK	Serial Clock
SCL	Serial Clock
SDA	Serial Data
SPI	Serial Peripheral Interface
SPV	Solar Photovoltaic
SQW	Square Wave Output
SRAM	Static Random Access Memory
St	Stratus

STE	Solar Thermal Energy
TPES	Total Primary Energy Supply
UFF	Universidade Federal Fluminense
USB	Universal Serial Bus
UV	Raio Ultravioleta
VCC	Voltage Common Collector
WEA	World Energy Assessment
WEO	World Energy Outlook
WMO	World Meteorological Organization

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A energia é um dos pilares para o desenvolvimento econômico e industrial de um país. A matriz energética disponível atualmente ainda é em grande parte suprida pelas fontes tradicionais. Por seu centenário desenvolvimento, seus custos ainda são economicamente imbatíveis, mas o mundo de hoje está inserido em mais variáveis além da questão puramente comercial. Segundo Twidell e Weir (2006), o uso predominante de energia derivada de combustíveis fósseis não é sustentável ao longo prazo, pois as mesmas possuem reservas finitas, e representam uma ameaça para o meio ambiente considerando os danos causados pelas emissões de CO₂ na atmosfera terrestre que contribuem para o aumento do efeito estufa.

De acordo com os estudos realizados pela Agência Internacional de Energia (*International Energy Agency* - IEA, 2017) e pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2017), a demanda por energia possui estimativas de crescimento acelerado, motivando a busca pelo uso eficiente e integração de novas fontes que concedam menores impactos sociais, econômicos e ambientais.

Com isso, as energias renováveis surgiram nesse contexto diminuindo ligeiramente seus custos de produção inserindo sustentabilidade, por meio de tecnologias menos invasivas. A energia fotovoltaica, uma das variantes da energia solar, representa atualmente a maior taxa de crescimento da produção das renováveis. Com sua fonte inesgotável, ocupa hoje um lugar de destaque, diminuindo seus custos de produção mais rapidamente (IEA, 2017).

O Brasil possui uma posição privilegiada para a utilização e produção de energia solar, diante disso é imperativo que esse potencial seja explorado. Atualmente existem diversos incentivos governamentais para sua implementação em solos brasileiros, com estimativas de que a energia fotovoltaica se fortaleça nos próximos anos (EPE, 2017). Embora seja uma energia de fonte inesgotável, a mesma apresenta interferência da variabilidade temporal e espacial da insolação solar, sendo relevante o uso de previsões de tempo (CHATURVEDI e ISHA, 2016). Jewell (1994) e Soares (2014) constataram em seus trabalhos que a saída do sistema fotovoltaico é intermitente e depende diretamente da luz solar. Condições atmosféricas de céu nublado, por exemplo, podem acarretar a perda quase que total da geração de energia fotovoltaica.

Por isso, conforme Pelland et al. (2013), o uso das previsões de tempo, em diferentes escalas temporais, está ganhando cada vez mais ênfase na geração solar fotovoltaica e possui

papel determinante para o planejamento energético destes sistemas. Tuohy et al. (2015), destacam em seu trabalho, alguns métodos de previsão, como por exemplo, os modelos de previsão numérica de tempo. Contudo, os mesmos fazem uso de variáveis meteorológicas que são medidas por equipamentos com preços elevados, dificultando sua implementação.

Ao longo dos últimos anos, como ressalta Pearce (2012), o desenvolvimento da tecnologia possibilitou a chegada de microcontroladores versáteis, baseados em conceito de hardware e software de código aberto que viabilizam a elaboração de equipamentos com custos bem menores se comparados àqueles empregados tradicionalmente.

Portanto, considerando a expressiva expansão do uso da energia solar como uma fonte de energia para a sociedade e, alertando para a carência de métodos de baixo custo que contribuam para sua estimativa, é apresentado, por meio deste trabalho, o desenvolvimento de um equipamento de detecção de nebulosidade que pode permitir o barateamento e a eficiência da previsão de tempo à curto prazo para o planejamento energético da geração solar fotovoltaica.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolvimento de um equipamento de baixo custo apropriado para detectar nebulosidade em pequenos horizontes temporais (de 15 min a 1 hora).

1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- i. Avaliar e monitorar a nebulosidade, usando instrumentação de baixo custo, sensor de raio ultravioleta.
- ii. Analisar a relação entre o equipamento de baixo custo e a geração de energia solar fotovoltaica.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A previsão para geração de energia solar é um tema ainda pouco explorado na atualidade, mas que está crescendo em conjunto com a utilização da energia solar fotovoltaica e o desenvolvimento de novas tecnologias (CHATURVEDI e ISHA, 2016). Estas tecnologias abrangem a instrumentação de baixo custo, sendo utilizadas cada vez mais nos últimos anos, sobretudo, com o alcance de novos sistemas de prototipagem que impulsionam projetos de hardware de código aberto (PEARCE, 2012), assunto que será introduzido ao longo deste trabalho.

Para facilitar a compreensão e desenvolvimento do tema a ser tratado é fundamental explorá-lo com intuito de desvendar, entender e transparecer os aspectos que o envolve, para então, evidenciar seus benefícios e desafios para sociedade. Por conseguinte, neste capítulo será elaborada uma revisão teórica abordando os seguintes subtemas que compõe este estudo: energia, energia renovável, energia solar, energia solar fotovoltaica, nuvens e sua influência na energia solar fotovoltaica, previsão para energia solar fotovoltaica e instrumentação de baixo custo.

2.1 ENERGIA

É evidente a relevância da energia para o desenvolvimento econômico e industrial de um país. De acordo com o Balanço Mundial de Energia (*World Energy Balances*) de 2017 da IEA, entre 1971 e 2015, o consumo final total de energia cresceu de 4244 para 9384Mtoe¹, respectivamente, sendo o setor industrial seu maior consumidor. Por isso, a demanda de energia, transformou-se numa verdadeira preocupação para a humanidade e progressivamente a utilização de diversas fontes para compor a matriz energética, sobretudo àquelas consideradas renováveis, tornou-se um consenso.

Como principais fontes de energia na atualidade, encontram-se a geração nuclear e o combustível fóssil que utiliza carvão, gás e petróleo (TWIDELL e WEIR, 2006). A energia gerada por meio de combustíveis fósseis, através do seu consumo excessivo, é esgotável, além de causar danos para o meio ambiente e seres vivos. Segundo a Perspectiva de Energia Mundial

¹ Mtoe é uma unidade de medida de energia e significa milhões de toneladas de óleo equivalente. 1 Mtoe equivale $4,187 \times 10^4$ TJ (terajoule) (IEA, 2018).

(*World Energy Outlook* - WEO) de 2014 da IEA, estima-se que se as taxas atuais de produção e consumo permanecerem constantes, as reservas comprovadas² de petróleo do mundo possam esgotar em cerca de 50 anos, as de gás natural em cerca de 60 anos e as de carvão em 135 anos.

As projeções realizadas pela IEA disponibilizadas em WEO de 2017, mostram que a demanda global por energia terá um crescimento de 30% entre 2016-2040, revelando a Índia com a maior contribuição para esse crescimento. No Brasil, a perspectiva foi realizada pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2017), onde foi mostrado que a projeção para a demanda total de eletricidade aumentará 3,5% ao ano de 2016 até 2026.

2.2 ENERGIAS RENOVÁVEIS

As energias renováveis vêm se tornando uma aposta global, não apenas por serem fontes não poluidoras para o meio ambiente, sendo uma preocupação atual referente as mudanças climáticas de causa antropogênica, mas por se tratar de fontes inesgotáveis (KAUSHIKA, MISHRA e RAI, 2018).

Segundo Twidell e Weir (2006), a energia renovável é aquela proveniente de fluxos naturais e constantes de energia que ocorrem no meio ambiente, são repostos quase que simultaneamente enquanto são usados. Elas reduzem as emissões atmosféricas de poluentes, sem agredir o meio ambiente e causar grandes impactos socioambientais.

Dentre as fontes mais comuns de energia renovável, pode-se citar: a solar fotovoltaica, proveniente do Sol; a eólica, provocada pela força dos ventos; hídrica, fornecida pelo fluxo da água; geotérmica, proveniente do calor do interior da Terra e algumas formas de biomassa, derivado de organismos vivos (Informações Renováveis, IEA 2017).

Os avanços que obtiveram as energias renováveis, nestes últimos anos, devem-se especialmente as reduções dos custos da energia solar fotovoltaica e eólica. De acordo com o Relatório Global de Status de Energia e CO₂ da IEA (2017), elas representaram um quarto do crescimento da demanda global de energia no ano de 2017.

Ainda, segundo o Informações Renováveis da IEA (2017), elas apresentaram crescimento médio anual de 2,0% desde 1990 até 2015, estando acima da taxa de 1,8% de

² As reservas comprovadas são quantidades de fontes de energia estimada com razoável certeza (alto grau de confiança), a partir da análise de dados de geociências e engenharia, consideradas recuperáveis comercialmente, de reservatórios bem estabelecidos ou conhecidos com o equipamento existente e sob as condições operacionais existentes (ANP, 2018).

crescimento mundial do Fornecimento Total de Energia Primária³ (*Total Primary Energy Supply* - TPES), como mostra a **Figura 2.1**. Em 2015, o TPES pelas renováveis, correspondeu a 13,4% em todo o globo, enquanto nos países Não-OECD Américas (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico) representou 29,6%. No Brasil, a matriz elétrica é de origem predominantemente renovável, com a geração hidráulica representando sua principal fonte. O TPES atribuído às renováveis atingiu 40,3% no Brasil.

Taxas médias anuais de crescimento do fornecimento mundial de energia renovável de 1990 a 2015

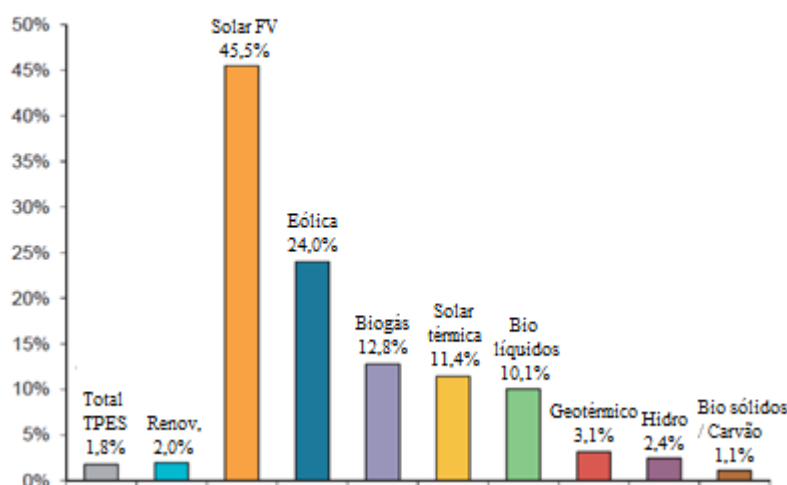


Figura 2.1: Taxas médias anuais de crescimento do fornecimento mundial de energia renovável para o período de 1990 a 2015.

Fonte: adaptado de Informações Renováveis, IEA 2017.

Desde 1990 até 2015, a energia solar fotovoltaica e a eólica, cresceram com taxas anuais médias de 45,5% e 24%, respectivamente (**Figura 2.1**), devido particularmente a queda dos seus preços (IEA, 2017), como mencionado anteriormente.

2.3 ENERGIA SOLAR

O Sol constitui a força motriz para diversos processos físicos do planeta e a energia solar utiliza como fonte, a luz e calor deste astro. A radiação térmica abrange a faixa do espectro eletromagnético que se estende do infravermelho ao ultravioleta, de comprimento de onda entre

³ TPES é fornecimento total de energia primária, ele é composto de produção + importações - exportações ± variações de estoque (IEA, 2017).

0,2 e 1000 μm , onde a maior parte da radiação solar é considerada de comprimento de onda curta, com limiar variável de 3 a 4 μm (IQBAL, 1983; TWIDELL e WEIR, 2006).

De acordo com Iqbal (1983), a radiação solar que entra na atmosfera, pode ser considerada, direta, difusa e global. Quando uma porção da energia incidente é removida por espalhamento e outra porção por absorção, é chamada de radiação difusa. Uma parte da radiação difusa chega ao solo, enquanto outra parte, retorna ao espaço. A radiação direta, é aquela que atinge o solo na linha do disco solar. Somando a radiação direta e difusa, recebida em um plano horizontal, obtém-se, a radiação solar global (horizontal).

A energia solar que chega à Terra anualmente é de $\sim 1,37 \text{kW}/\text{m}^2$, da qual uma fração dessa energia é refletida de volta para a atmosfera ($\sim 0,3 \text{kW}/\text{m}^2$), variando de acordo com a superfície interceptada. No geral, o potencial utilizável ou densidade de fluxo máximo é de $\sim 1,0 \text{kW}/\text{m}^2$, (WEA, 2000).

Segundo Pereira et al. (2006), a irradiação solar global incidente no Brasil, varia de 1500 a 2500 kWh/m^2 , dependendo da região. Esses valores são mais significativos para o incentivo da implementação da energia solar, do que em outros países de grande investimento no ramo, como a Alemanha (900 a 1250 kWh/m^2) e Espanha (1200 a 1850 kWh/m^2). Tais valores podem ser verificados na **Figura 2.2**.

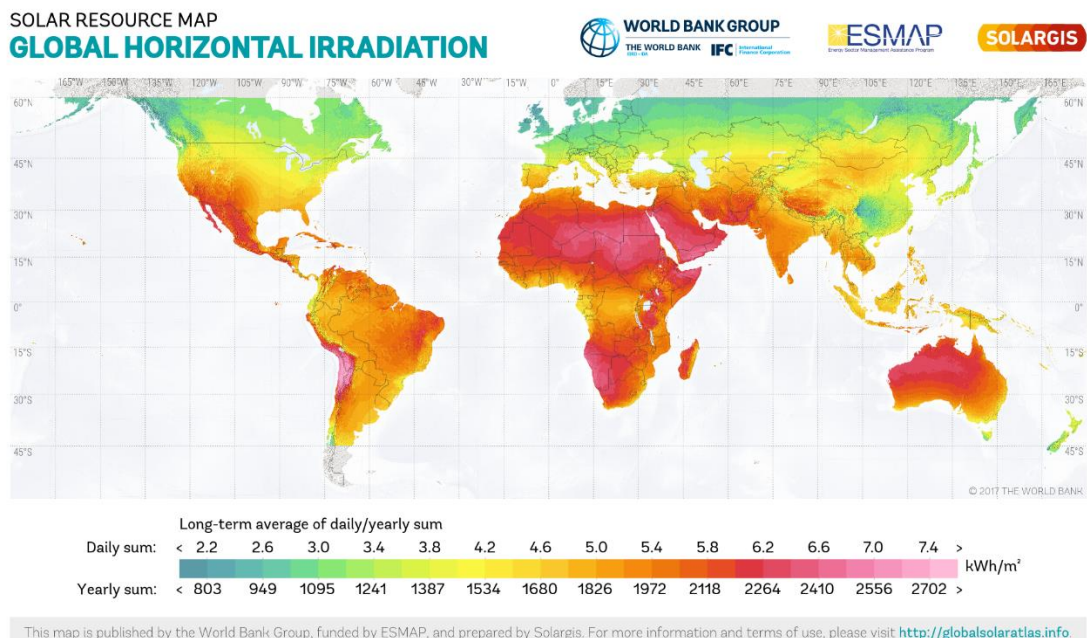


Figura 2.2: Valores da soma diária e anual para irradiação global horizontal em todo o globo. Dados: SOLARGIS, período compreendido entre janeiro de 1994/1999 e 2007 até dezembro de 2015. Fonte: Global Solar Atlas, 2018.

O fluxo solar pode ser explorado para geração de eletricidade e produção de água quente, por meio térmico (energia solar térmica) ou, por processos fotoquímicos e fotofísicos (energia solar fotovoltaica e fotossíntese, respectivamente), além disso ela é utilizada para iluminação, resfriamento e aquecimento de casas e edifícios (TWIDELL e WEIR, 2006; IEA, 2017).

A Energia Solar Térmica (*Solar Thermal Energy* - STE) consiste basicamente, na produção de calor de alta temperatura o que pode resultar em energia elétrica. Nela, a radiação é usada para aquecimento de ambientes e de fluidos, assim como, para a geração de eletricidade por usinas termoelétricas solares. A STE utiliza a irradiação direta (não difusa) conseqüentemente, ela precisa ser implementada em regiões com alta incidência solar e menor nebulosidade.

A STE faz uso de concentradores (para atingir elevadas temperaturas) ou coletores solares. Seu processo termodinâmico é construído pelas seguintes etapas: coletor/concentrador, receptor, transporte/armazenamento e conversor de energia. Neste procedimento, a radiação solar incide sobre o coletor, que concentra o calor recebido e transporta, em seguida, para o receptor. O receptor absorve e conduz a energia térmica para um fluido de trabalho que, por sua vez, transfere para o sistema de conversão de energia (WEA, 2000; KAUSHIKA, MISHRA e RAI, 2018). Quando o calor é absorvido pelo fluido, ele é convertido em energia mecânica através de uma turbina a vapor. Posteriormente, a energia mecânica é transformada em energia elétrica por meio de um gerador embutido na turbina (SILVA, 2015). Esse processo, também é conhecido como energia heliotérmica ou energia solar concentrada (*Concentrated Solar Power* – CSP) e sua principal vantagem é a capacidade de integração com centrais térmicas convencionais (KAUSHIKA, MISHRA e RAI, 2018).

A Solar fotovoltaica é o objeto deste estudo e, portanto, será abordada seguidamente com mais ênfase.

2.4 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A Energia Solar Fotovoltaica (*Solar PhotoVoltaic* - SPV) é o método que transforma diretamente a radiação eletromagnética em eletricidade por meio de células fotovoltaicas, baseadas no efeito fotovoltaico (TWIDELL e WEIR, 2006; KAUSHIKA, MISHRA e RAI, 2018).

2.4.1 Breve História

A história do efeito fotovoltaico teve início em 1839, quando Edmond Becquerel, em sua observação, constatou que placas metálicas mergulhadas em eletrólito e expostas a luz, produziam diferença de potencial. Posteriormente, Adams e Day, em 1877, comprovaram o efeito no selênio, desenvolvendo o primeiro dispositivo sólido de produção de eletricidade (PROENÇA, 2007).

Albert Einstein foi laureado com o Nobel de Física de 1921, por seus estudos sobre o efeito fotoelétrico, princípio de funcionamento da energia solar fotovoltaica, corroborando com avanços significativos para tecnologia. Contudo, o efeito fotovoltaico como uma fonte de energia, foi desenvolvido apenas em 1954 por Chapin, Fuller e Pearson, usando silício semiconductor dopado (TWIDELL e WEIR, 2006).

Sua primeira aplicação relevante, ocorreu em 1958, alimentando o satélite Vanguard da Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço (*National Aeronautics and Space Administration* - NASA). Logo então, este procedimento tornou-se habitual para esta função, ocasionando seu aprimoramento com o aumento de eficiência das células fotovoltaicas comerciais (PROENÇA, 2007).

O verdadeiro crescimento da tecnologia fotovoltaica, no entanto, sucedeu em 1973, em meio à crise petrolífera, induzindo programas de investigação de células solares com objetivo da redução dos custos de produção por meio da utilização de novos materiais. Até então, o elevado preço tornava a energia SPV uma opção inacessível, cerca de US \$ 10 milhões por kW, diminuindo para US \$ 1 milhão por kW em 1975 com produção em média de 100 kW por ano (KAUSHIKA, MISHRA e RAI, 2018).

Em 1982, a primeira central solar de maior potência foi instalada na Califórnia, e alguns anos depois, na Alemanha e Japão, criaram-se programas de telhados solares. Os governos do Estados Unidos, Alemanha e Japão, foram os grandes investidores da SPV, buscando soluções alternativas para a geração de energia, fomentando o desenvolvimento exponencial através de incentivo político (PROENÇA, 2007; KAUSHIKA, MISHRA e RAI, 2018).

A partir de então, vários investimentos e parcerias foram realizadas através de programas de financiamento na maioria dos países, para a expansão do uso desta tecnologia renovável e a diminuição do custo de sua produção.

2.4.2 Mecanismo

A luz do Sol é composta de fótons com grande quantidade de energia. Quando esses fótons incidem as células fotovoltaicas originam reflexão, refração ou absorção. A absorção dos fótons pelas células gera eletricidade devido à diferença de potencial (tensão) entre duas camadas, produzindo corrente para uso em um circuito elétrico externo (lâmpada incandescente) (TWIDELL e WEIR, 2006; PARRY-HILL, SUTTER e DAVIDSON, 2018).

2.4.3 Células Fotovoltaicas

As Células Fotovoltaicas (CPV) são fabricadas com material de características intermédias entre um condutor e um isolante, denominados de semicondutor e por isso produzem diferença de potencial. Tipicamente é utilizado o silício, constituinte apresentado na natureza como areia, que se carrega eletricamente quando exposto à luz solar (PROENÇA, 2007).

O silício puro não possui elétrons livres e por isso é um mau condutor, havendo necessidade da adição de substâncias, ditas dopantes, que são constituídas de porcentagens de outros elementos. Elas são adicionadas para proporcionar mais eficiência na conversão da potência relacionada à radiação solar em potência elétrica (NASCIMENTO, 2004).

Convencionalmente, acrescenta-se fósforo ao silício para dopá-lo, criando um material com portadores de carga negativa (silício do tipo *n*). Da mesma maneira, pode-se adicionar boro ao silício e assim obter um material com portadores de carga positiva (silício do tipo *p*). As CPV possuem uma camada fina do tipo *n* e do tipo *p*, a união das duas camadas (chamada de junção *pn*) gera o campo elétrico (TWIDELL e WEIR, 2006). A estrutura básica de uma CPV é apresentada na **Figura 2.3**.

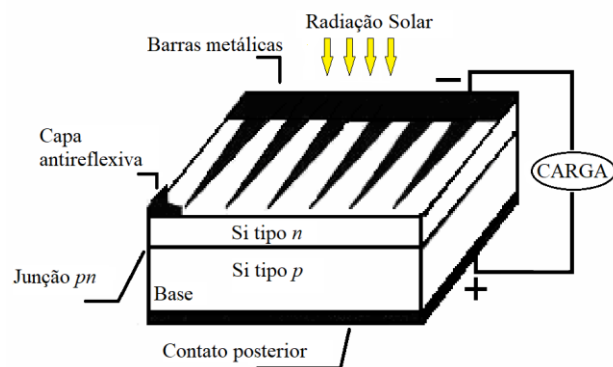


Figura 2.3: Estrutura básica de uma célula fotovoltaica.
Fonte: Solarno, 2004.

Outras substâncias também podem ser utilizadas para dopagem do silício, porém os tipos de CPV mais comuns, produzidas e comercializadas para SPV, são: silício monocristalino, com eficiência em laboratório de 26,7%; silício multicristalino, com eficiência em laboratório de 22,3% e de filme fino, com eficiência em laboratório de 21,7% para CIGS (Cobre-Índio-Gálio-Selênio) e 21,0% para células solares de CdTe (telureto de cádmio) (ISE, 2018).

2.4.4 Sistema Fotovoltaico

A CPV é o bloco de construção básico de um sistema fotovoltaico. Elas fornecem, normalmente, potências elétricas de 1,5 W, equivalente a uma tensão de 0,5 V e uma corrente de 3 A (PARRY-HILL; SUTTER; DAVIDSON, 2018). Para obter potências maiores, elas são conectadas em série/paralelo, que são denominados de módulos. Estes também podem ser acoplados para formarem unidades ainda maiores, conhecidas como matrizes, que igualmente suportam mais interconexões com a finalidade de gerar mais energia (EERE, 2018).

Porém, para compor o sistema SPV inteiro são necessárias a utilização de estruturas para posicionar os módulos (ou matrizes) em direção ao sol. Como os módulos produzem energia em corrente contínua, faz-se uso de inversor para convertê-la em corrente alternada. Também são utilizadas baterias, para armazenar um pouco de eletricidade para a noite, por exemplo. Usa-se ainda, fios e cabos que transportam a energia (condutores) e os controladores de carga que controlam a voltagem do gerador e o estado de carga das baterias. Todos esses elementos são chamados de componentes de equilíbrio do sistema (*Balance Of System - BOS*) e quando combinados aos módulos cria um sistema fotovoltaico inteiro, como mostrado na **Figura 2.4** (EERE, 2018).

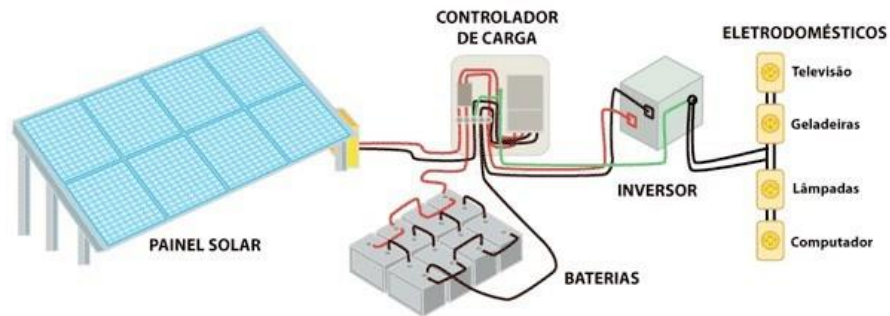


Figura 2.4: Sistema fotovoltaico inteiro.
Fonte: S4 Solar do Brasil, 2018.

Segundo Pinho e Galdino (2014), os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados em dois tipos, isolados (*off grid*) e conectados em rede (*on grid*):

Sistemas fotovoltaicos isolados: são aqueles que possuem como única fonte de eletricidade a energia fotovoltaica. A produção de energia por parte deste sistema é pequena, por isso é utilizada para uma única unidade consumidora bem como, em miniredes para um grupo pequeno de consumidores. Ele necessita de bateria para armazenamento da energia e normalmente são empregados em regiões sem rede elétrica.

Sistemas fotovoltaicos conectados em rede: são aqueles onde a energia produzida é diretamente fornecida em rede elétrica convencional, são mais difundidos e fazem uso de inversor para transformar a corrente contínua para alternada. Quando a produção de SPV é excessiva, ela é armazenada na rede elétrica e quando não é suficiente para realizar a operação, a rede elétrica é acionada para compensar o restante.

Sistemas fotovoltaicos híbridos: são aqueles que, além de operarem com a fonte fotovoltaica, usam outras fontes, como diesel e a eólica.

2.4.5 Energia Solar Fotovoltaico no Mundo

Segundo as Informações Renováveis do IEA (2017), a SPV teve um crescimento de 45,5% nas taxas anuais médias desde 1990 até 2015 (mostrado na **Figura 2.1**). No período de 1990 até 2016, a eletricidade a partir da SPV aumentou de 19 para 218283GWh (Giga-Watt-hora), respectivamente, e atingiu a taxa de crescimento anual mais rápida dentre todas as renováveis (43,3% para membros da OECD). No geral, incluindo todos os países, esse valor cresceu de 18 para 213333 GWh. Ainda para países da OECD, a produção de eletricidade SPV

de 2016 foi de 218,3 TWh e entre os países que mais se destacaram na produção, encontram-se os Estados Unidos (50,1 TWh), Japão (43,8 TWh) e Alemanha (38,2 TWh).

Todas essas conquistas da SPV, devem-se principalmente ao barateamento da tecnologia. Para ilustrar a queda do preço, pode-se citar a Alemanha, onde os preços de um sistema fotovoltaico típico de 10 a 100 kWp (quilo-watt pico) custavam em torno de 14.000 € / kWp em 1990 (2018 US\$ ~16.907). E em 2016, esses sistemas passaram a custar cerca de 1.270 € / kWp (2018 US\$ ~1.533). Havendo, portanto, uma regressão de cerca de 90% no preço líquido em 25 anos, com uma taxa de diminuição média anual de 9% no preço (ISE, 2018). Nos Estados Unidos, o custo da SPV para corrente contínua atingiu US\$ 2.130/kW em 2016 e US\$ 1.850/kW em 2017, considerando sistemas comerciais de 10kW até 2 MW (NREL, 2016 e 2017).

A queda dos preços de sistemas fotovoltaicos não ocorreu de forma espontânea, pelo contrário, esta é consequência de muitos investimentos por partes dos países desenvolvidos, fundamentados especialmente, em fortes políticas públicas de incentivos, como eficientes mecanismos regulatórios e privilégios fiscais (SILVA, 2015).

2.4.6 Energia Solar Fotovoltaica no Brasil

Para as áreas brasileiras, a potência para SPV é bastante significativa e pode ser observada no mapa (**Figura 2.5**). O mapa foi obtido através do *site* Global Solar Atlas, dos totais diário e anual do potencial de energia fotovoltaica para o Brasil. Nele, verifica-se, maior capacidade desta fonte de energia, majoritariamente, para a região Nordeste e os estados de Tocantins, Goiás e Minas Gerais (destacadas em roxo no mapa).

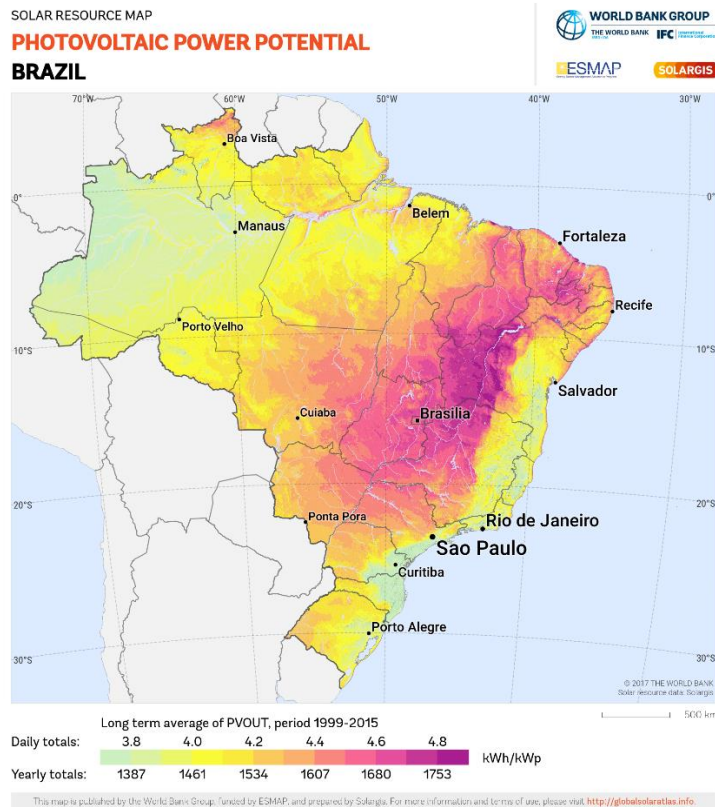


Figura 2.5: Totais diário e anual do potencial de energia fotovoltaica para o Brasil. Dados: SOLARGIS, período compreendido entre janeiro de 1994/1999 e 2007 até dezembro de 2015.
 Fonte: Global Solar Atlas, 2018.

Porém, esse potencial ainda é pouco explorado, em 2012 a geração de eletricidade a partir de SPV equivalia à 2 GWh (do total de 552.498 GWh) aumentando para 85 GWh (do total 578.898 GWh) em 2016, representando 0,0% de atribuição na matriz energética (mostrado na **Figura 2.6**) conforme as informações do Balanço Energético Nacional da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2017) para o ano de 2016.

Matriz Elétrica Brasileira (2016)

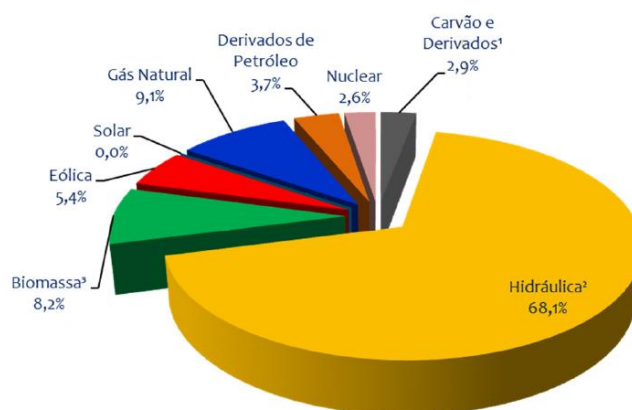


Figura 2.6: Matriz elétrica brasileira de 2016.
Fonte: EPE, 2017.

Espera-se que nos próximos anos, estes valores aumentem ocasionando maior desenvolvimento desta tecnologia no Brasil, em razão dos incentivos governamentais, principalmente por ações regulatórias, que implicam na redução dos custos dos sistemas SPV para que possa competir com as outras fontes de energia. Segundo o Plano Decenal de Expansão de Energia 2026 (EPE, 2017), até 2016 foram contratados 94 empreendimentos de SPV através dos Leilões de Energia de Reserva (LER, 2014), com capacidade total de 2653 MW, concentrados nas regiões Sudeste e Nordeste. Este último, configura 75% do total de usinas e de acordo com a projeção realizada no plano decenal do EPE, para energia de 2021 até 2026, espera-se que SPV deverá atingir 7 GW no Brasil. As localizações dos empreendimentos e sua capacidade de geração, são apresentadas na **Figura 2.7**.

Localização dos empreendimentos solares fotovoltaicos contratados no Leilão de Energia de Reserva de 2014

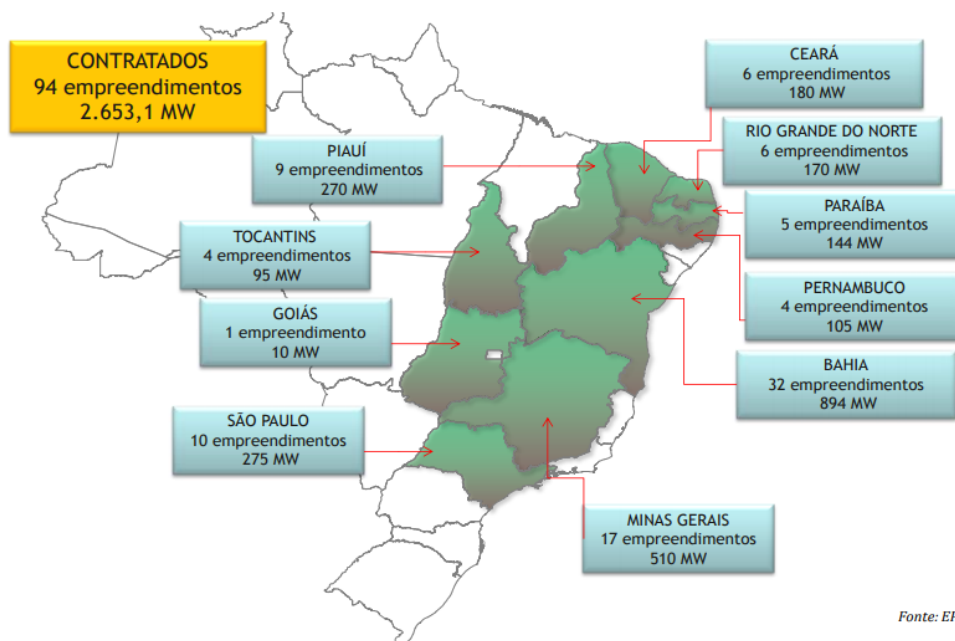


Figura 2.7: As localizações dos empreendimentos contratados no LER e sua capacidade de geração. Fonte: EPE, 2017.

2.4.7 Benefícios e Desafios

O uso da energia solar fotovoltaica pode trazer muitas vantagens para a sociedade, no entanto, alguns desafios precisam ser solucionados para que haja sua integração em rede pública. Dentre os benefícios da energia solar fotovoltaica, caracteriza, a sua capacidade de instalação em regiões de difícil acesso, como áreas montanhosas e outras regiões onde não há linhas de transmissões, por serem impraticáveis economicamente. Dessa maneira, estas regiões podem gerar sua própria energia (KAUSHIKA, MISHRA e RAI, 2018).

Destaca-se ainda, a disponibilidade em abundância durante a maior parte do ano (convertendo a luz do Sol diretamente em eletricidade), além de não provocar ruídos, ser benéfica ao meio ambiente e fácil de manter e operar. Outras características positivas são os módulos que também podem ser expandidos para aumentar sua potência, assim como, gerar energia mesmo em dias nublados (SALERNO, 2004; KAUSHIKA, MISHRA e RAI, 2018).

Ressalta-se também, a evolução da tecnologia através de incentivo político que está, não apenas atingindo maior eficiência das células fotovoltaicas, mas também, reduzindo os custos de produção e assim, tornando-a mais acessível.

Apesar da redução dos custos de produção, o seu maior desafio consiste no fato de ser uma tecnologia cara, uma vez que, sua eficiência energética também depende da qualidade dos equipamentos que formam o sistema fotovoltaico inteiro (SALERNO, 2004).

Fatores como, variação de temperatura, índice de radiação solar e nebulosidade, também influenciam no seu desempenho. Quanto maior temperatura do ambiente, ocorre a diminuição da potência máxima, por efeito da corrente continuar praticamente constante e a tensão diminuir (ver **Figura 2.8a**). O contrário ocorre para a variação da insolação, quanto maior é o índice de insolação, verifica-se o aumento logarítmico da tensão e o aumento linear da corrente (ver **Figura 2.8b**), influenciando de maneira proporcional na ampliação da potência máxima (SALERNO, 2004).

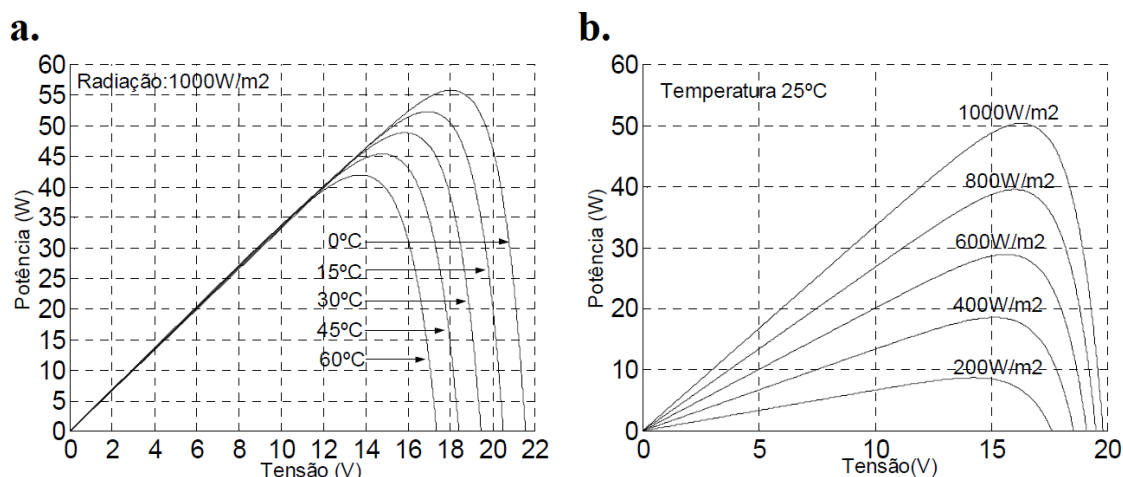


Figura 2.8: (a) Variação da potência do módulo com a variação do índice de insolação. (b) Variação da potência do módulo com a variação da temperatura.

Fonte: Adaptada de Salerno, 2004.

2.5 NUVENS E SUA INFLUÊNCIA NA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

2.5.1 Definição e Formação das Nuvens

Conforme a Sociedade Americana de Meteorologia (*American Meteorological Society* – AMS, 2018) e o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2018), as nuvens são definidas como um aglomerado de micropartículas de água líquida e/ou gelo em suspensão na atmosfera. Elas podem formar-se por meio de diferentes mecanismos e a sua forma mais usual ocorre como consequência da ascensão e expansão de uma parcela de ar. Ao expandir-se, a parcela remove o calor do sistema (energia interna) para realizar trabalho. Esse processo é denominado

adiabático, onde não há troca de calor entre o meio e o sistema. Dessa maneira, a parcela é resfriada, resultando na condensação ou congelamento do vapor de água existente.

Contudo, para a formação de nuvens em uma atmosfera com umidade relativa próxima à 100%, é necessária a presença de pequenas partículas higroscópicas, como aerossóis ou sais minerais, referidos como núcleos de condensação (*Cloud Condensation Nuclei* - CNN) ou núcleos de gelo (*Ice Nucleus* - IN), que atuam como uma superfície sobre qual o vapor de água pode condensar (AMS, 2018).

2.5.2 Transporte e Dissipação das Nuvens

O transporte das nuvens é dado em decorrência dos ventos em duas direções, ascendentes e descendente. Quando a nuvem é forçada a subir, como em casos de elevação do terreno, o processo é denominado de ascendente e nele ocorre o resfriamento da parcela, resultando no congelamento parcial ou total das pequenas partículas de água líquida. Enquanto no processo descendente ocorre o inverso, a parcela de ar se aquece, resultando na evaporação das gotículas de água e dissipação das nuvens. Esse aumento de temperatura pode ocorrer devido a intrusão de massas de ar seco ou mais aquecidas. Fatores como a temperatura e altura da sua posição, influenciam, portanto, de maneira determinante na constituição das nuvens (SOARES, 2014; INMET, 2018).

É importante destacar, que a dinâmica das nuvens é considerada de grande complexidade. Seus processos físicos são regidos pela dinâmica da atmosfera, em que os princípios da dinâmica dos fluidos são aplicados. A dinâmica dos fluidos, por sua vez, é regida por uma série de equações básicas, como equações do movimento e da termodinâmica, entre outras (HOUZE, 1993). Essas equações são, em grande parte, resolvidas por modelos de previsão numérica de tempo e demandam amplo desenvolvimento computacional para o seu cálculo.

Portanto, apesar das nuvens serem transportadas pelos ventos nas duas direções, como referido anteriormente, de acordo com Fujita, Pearl e Shenk (1975), o rastreamento de nuvens, através de imagens de satélites e medidas de ventos em superfície, revelam significantes diferenças, concluindo que não é coerente associar velocidades dos ventos em superfície, com velocidades das nuvens. Outros processos físicos que ocorrem na atmosfera e dentro das nuvens, também devem ser considerados.

2.5.3 Classificação das Nuvens

Segundo o Atlas Internacional da Nuvem da Organização Meteorológica Mundial (*World Meteorological Organization - WMO, 1975*), existem infinitudes de tipos de nuvens que podem ser classificadas principalmente, de acordo com seu gênero, espécies e variedades. Os gêneros são divididos em dez grandes grupos, que se subdividem conforme a espécie, levando em conta a sua forma e estrutura interna, enquanto a variedade considera as características especiais de cada nuvem. Ademais, as nuvens também podem ser separadas verticalmente em três estágios, conforme a altura típica na qual a sua base é identificada. Na **Tabela 2.1**, é possível verificar os três estágios, com suas respectivas alturas para as regiões polares, temperadas e tropicais, além dos tipos de nuvens frequentemente encontradas em cada estágio.

Tabela 2.1: Estágios das nuvens para distintas regiões do globo.

Gênero	Estágios	<i>Regiões Polares</i>	<i>Regiões Temperadas</i>	<i>Regiões Tropicais</i>
Cirrus Cirrocumulus Cirrostratus	Alto	3 – 8 km	5 – 13 km	6 – 18 km
Alto cumulus Altostratus	Médio	2 – 4 km	2 – 7 km	2 – 8 km
Nimbostratus Stratocumulus Stratus Cumulus Cumulonimbus	Baixo	Da superfície da Terra até 2 km	Da superfície da Terra até 2 km	Da superfície da Terra até 2 km

Fonte: Adaptada de WMO (1975) e Houze (1993).

A seguir serão apresentadas as características mais relevantes dos dez gêneros de nuvens, elas são fundamentais para análise da influência das nuvens em sistemas fotovoltaicos. A categorização seguirá a estrutura denotada por Houze (1993), que leva em conta os três estágios das nuvens. Também serão consideradas as definições da WMO (1975), assim como características complementares encontradas no trabalho de Soares (2014).

2.5.3.1 Nuvens Altas

Três nuvens constituem este estágio, a cirrus, cirrocumulus e cirrostratus e podem ser observados na **Figura 2.9**.

Cirrus (Ci): são nuvens visualmente delicadas, finas, brancas, podendo ser fibrosas ou sedosas. Apresenta formato de filamentos brancos, são constituídas por cristais de gelo e possuem altitude de 8 a 12 km.

Cirrocumulus (Cc): são nuvens de tempo estável, finas, brancas, constituídas majoritariamente por pequenos cristais de gelo e as vezes de pequenas gotas de água. Apresentam aspecto de minúsculos componentes em forma de grânulos e ondas, arrumados regularmente, com menos de um grau de espaçamento. Possuem altitudes de 6 a 10 km.

Cirrostratus (Cs): são nuvens finas, brancas, quase transparente como um véu. Pode cobrir parcialmente o céu ou totalmente e ocasionalmente produz halos em volta do sol ou da lua. Também são constituídas por pequenos cristais de gelo e aparecem quando o tempo está estável, precedendo uma precipitação. Possuem altitudes de 6 a 8 km.

2.5.3.2 Nuvens Médias

Duas nuvens compõe o nível médio, a altocumulus e a altostratus. As mesmas também podem ser observadas na **Figura 2.9**.

Altocumulus (Ac): são nuvens brancas e/ou cinzas, constituídas por elementos com forma variada entre redondo, globular ou como rolos longos dispostos regularmente, com um a cinco graus de espaçamento. Podem apresentar-se de maneira difusa ou fibrosa e com sombras próprias. Possuem altitudes de 2 a 6 km.

Altostratus (As): são nuvens de cor azul ou cinza, que possuem formato de folha podendo ter aspecto uniforme ou mais fibroso. Estas nuvens cobrem o céu parcialmente ou totalmente. O sol é levemente encoberto por essas nuvens, mas não apresenta halo. Produz precipitação muito leve e por isso não atinge a superfície. Surgem em frentes de tempestades e possuem altitudes de 2 a 6 km.

2.5.3.3 Nuvens Baixas

Cinco nuvens integram o estágio de nível baixo, a nimbostratus, stratocumulus, stratus, cumulus e cumulonimbus. As mesmas podem ser verificadas na **Figura 2.9**.

Nimbostratus (Ns): são nuvens acinzentadas e escuras, base difusa e baixa, com o topo que pode alcançar a tropopausa (estágio de nível alto). São constituídas por gotículas de água, chuva e cristais de gelo. Elas são nuvens extensas que possuem cobertura espessa capaz de encobrir completamente o sol. Produzem precipitação intermitente que pode durar horas, variando de fraca à moderada.

Stratocumulus (Sc): são nuvens de cor branca a cinza, com a camada de nuvem em grande parte escura. Possuem formatos redondos, de glóbulos ou rolos suaves, compostos regularmente com mais de cinco graus de espaçamento, assemelhando-se à um mosaico. Podem cobrir aproximadamente 1000 km em escala horizontal, produzindo chuva leve e contínua. Possuem altitude de 500 m a 2 km.

Stratus (St): são nuvens acinzentadas, muito baixas, que apresentam topo brilhante e base bem uniforme, produzindo garoa e chuviscos. E, assim como as stratocumulus, elas podem se estender horizontalmente em cerca de 1000 km, com 51 km de espessura. Possuem altitudes de 0 a 2 km.

Cumulus (Cu): são nuvens brancas, densas, bem definidas, com formato similar a couve-flor. A base destas nuvens é escura e estendida horizontalmente, cobrindo o sol, ocasionando definidas sombras em superfície. Elas podem chegar ao estágio de nível médio, mas praticamente não se desenvolvem acima de 1000 km na horizontal e na vertical. Ocasionalmente ocasionam pancadas de chuva quando estão bem desenvolvidas

Cumulonimbus (Cb): são nuvens de tempestades, com grande desenvolvimento vertical, podendo alcançar o estágio de nível alto, apesar da sua base possuir nível baixo. Possuem altitude de 500 m a 2 km e apresentam formato de torres muito altas, com topo achatado, estriado, liso ou fibroso. Também obstruem o sol, gerando sombras bem definidas em superfície. A presença de fortes ventos em alto nível, produz uma estrutura semelhante à bigorna. Sua base apresenta coloração cinza bem escuro podendo conter outras nuvens de baixo

nível estando unificada a ela ou não. Essas nuvens são constituídas por cristais de gelo em seu topo e pequenas gotas de água, gotas superesfriadas, granizo e flocos de neve. Sua estrutura vertical pode atingir em média 9 a 12 km (INMET, 2018).

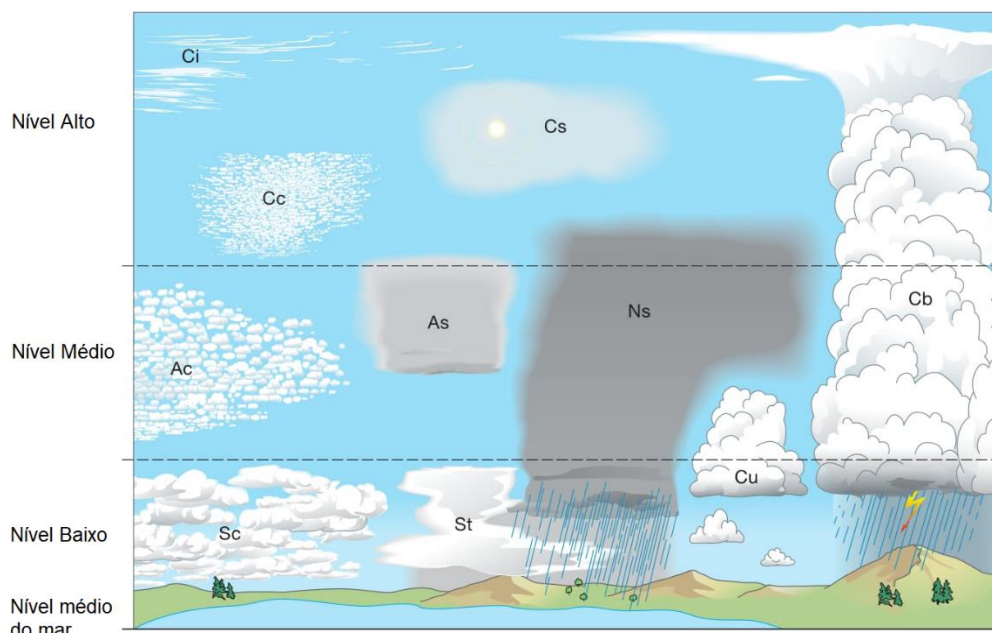


Figura 2.9: Todos os gêneros de nuvens, localizado conforme seus estágios.
Fonte: Adaptada de WMO, 2018.

2.5.4 Influência das Nuvens na Energia Solar Fotovoltaica

Para discutir a influência das nuvens na geração da energia solar fotovoltaica, é relevante discorrer sobre o balanço da radiação solar para Terra. A radiação solar que incide na atmosfera, pode ser parcialmente absorvida, parcialmente refletida e parcialmente transmitida (IQBAL, 1983). Segundo Peixoto e Oort (1992), a cada 100 unidades de radiação solar recebida, 4 são absorvidas pelas nuvens, 50 pela superfície terrestre e 16 por aerossóis, vapor de água troposférico e ozônio estratosférico. As nuvens são responsáveis pela refletividade de 20 unidades da radiação solar e a superfície terrestre por 4 unidades. As 6 unidades restantes são retransmitidas pelo ar. Conseqüentemente, as nuvens impactam diretamente na radiação solar recebida por uma determinada superfície. Tanto o processo de absorção da radiação solar

pelas nuvens, quanto a refletividade provocada por elas, vão depender diretamente do tipo da nuvem, da sua espessura e do número de camadas (IQBAL, 1983).

Com isso, a influência das nuvens na energia solar fotovoltaica foi avaliada em alguns trabalhos na literatura, como no manuscrito de Soares (2014), onde ele descreve a influência de cada gênero de nuvem na geração de energia solar fotovoltaica.

De acordo com Soares (2014), os sistemas fotovoltaicos são influenciados pela presença das nuvens em virtude da intermitência delas e atenuação da radiação solar direta causada por elas. No caso da intermitência, a potência gerada e a tensão fornecida em rede, flutuam, e como consequência, a qualidade da geração de energia é afetada. Enquanto a atenuação da radiação solar direta pelas nuvens afeta diretamente a potência gerada.

As flutuações de potência e tensão associadas ao nível de cobertura de nuvens foram resumidas por Soares (2014) e são apresentadas na **Tabela 2.2**.

Tabela 2.2: Flutuações de potência e tensão associadas ao nível de cobertura de nuvens.

Condições atmosféricas	Irradiância	Flutuações de potência/tensão
<i>Nublado</i>	Baixa	Baixa
<i>Parcialmente nublado</i>	Alta/Baixa	Alta
<i>Céu claro</i>	Alta	Baixa

Fonte: Soares, 2014.

Através da **Tabela 2.2**, pode-se aferir que, mesmo em casos de céu nublado, a flutuação da potência e tensão é baixa, como em casos onde há presença de nimbostratus, onde a irradiância é reduzida em até 20%. Porém, quando o céu está parcialmente nublado, as flutuações são altas e implicam na qualidade da geração. Nuvens cumulus e stratus estão associadas a esta condição atmosférica (SOARES, 2014).

A **Tabela 2.3** apresenta um resumo das principais características das nuvens que impactam na geração solar fotovoltaica, elaborado por Soares (2014). A capacidade de sombreamento de cada gênero de nuvem é avaliada de acordo com o estágio (altitude onde a sua base é tipicamente encontrada), suas sombras e tamanho (extensão). A variação da amplitude da irradiância (variação do sombreamento) é atribuída a extensão e intermitência de cada nuvem. Através da tabela, é possível observar qual nuvem provoca maior influência na variação da geração, produzindo intermitência de elevada frequência. São elas, altocumulus, stratocumulus e cumulus. No geral, estas nuvens possuem alta opacidade, extensão variando de média a grande e sombras bem definidas.

Tabela 2.3: Resumo das principais características das nuvens que impactam na geração solar fotovoltaica.

Gênero	Estágios	Sombras	Opacidade	Extensão	Intermitência
<i>Cirrus</i>	Alto	Indefinida	Baixa	Pequena	Baixa
<i>Cirrocumulus</i>		Indefinida	Baixa	Variável	Baixa
<i>Cirrostratus</i>		Indefinida	Baixa	Grande	Baixa
<i>Alto cumulus</i>	Médio	Definida	Alta	Média/Grande	Alta
<i>Altostratus</i>		Indefinida	Baixa	Grande	Média
<i>Nimbostratus</i>	Baixo	Indefinida	Alta	Grande	Baixa
<i>Stratocumulus</i>		Indefinida	Média	Média/Grande	Média/Alta
<i>Stratus</i>		Indefinida	Baixa	Média/Grande	Baixa
<i>Cumulus</i>		Definida	Alta	Média/Grande	Alta
<i>Cumulonimbus</i>		Definida	Alta	Grande	Baixa

Indefinida: nuvens que impactam na irradiância em superfície, mas não produzem sombras com contornos bem definidos.

Fonte: Adaptada de Soares, 2014.

A influência da intermitência das nuvens na SPV, apresentadas no trabalho de Soares (2014), também foi verificada no estudo elaborado por Jewell (1994). Ele mostra que a saída dos sistemas fotovoltaicos é intermitente e depende totalmente da luz solar. Conforme é observado na **Figura 2.10**, a saída fotovoltaica sofre uma forte diminuição ao longo de um dia com condições de céu nublado, chegando a quase zero (**Figura 2.10b**). Para dias com predominância de parcialmente nublado (**Figura 2.10c**), verifica-se uma oscilação da saída do sistema fotovoltaico.

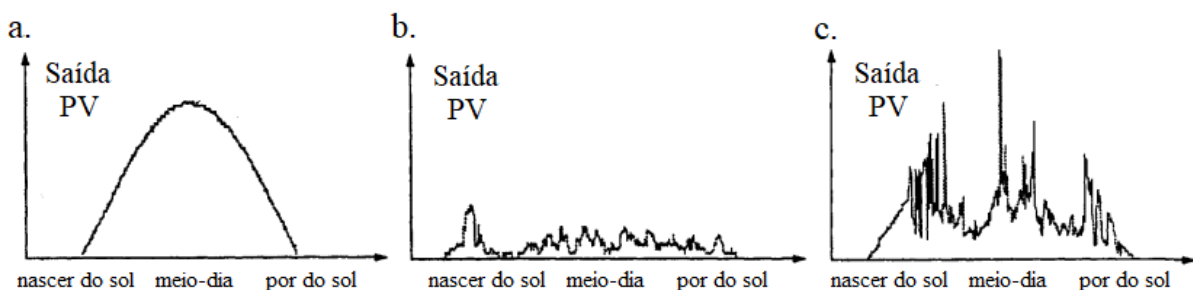


Figura 2.10: Saída do PV para cidade de Kansas, Missouri, Estados Unidos em um (a) dia claro, (b) nublado e (c) parcialmente nublado.

Fonte: Adaptada de Jewell, 1994.

Jewell (1994) também determinou o impacto de um sistema de linha de instabilidade na variação da luz solar associada a saída de geradores fotovoltaicos (**Figura 2.11a**), assim, como a influência de nuvens cumulus (**Figura 2.11b**). É possível observar, através dos gráficos, que uma linha de instabilidade (sistema composto por nuvens convectivas e estratiformes), ocasionam a perda total da geração de energia. Enquanto a presença de nuvens cumulus produzem uma oscilação nessa geração, que pode também resultar numa possível perda.

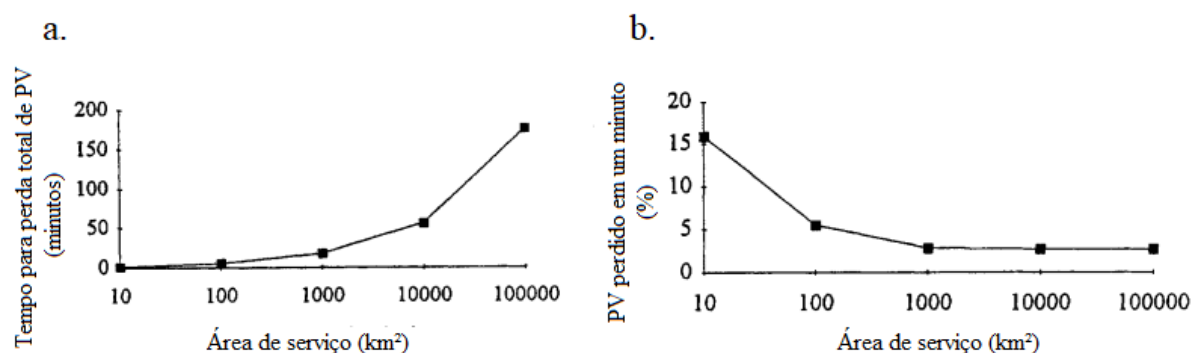


Figura 2.11: Variações da luz solar associadas a saída de geradores fotovoltaicos para (a) linha de instabilidade e (b) nuvens cumulus. Para áreas de serviço de vários tamanhos.
Fonte: Adaptada de Jewell, 1994.

Caluianu et al. (2009) apresentaram em sua pesquisa informações relevantes sobre o impacto do sombreamento em 36 células fotovoltaicas. Estas informações compõem a **Tabela 2.4** e evidenciam o quanto do sombreamento (em porcentagem) pode causar a perda da geração de energia. Com apenas 50% de sombra em uma célula solar fotovoltaica a perda de geração é da ordem de 25,93% e para 100%, esse valor cresce para 56,56%.

Tabela 2.4: Perda de potência de uma célula fotovoltaica sombreada.

Porcentagem de sombras por célula (%)	Potência em condições de Máximas Potência (W)	Porcentagem de Perda de Potência (%)
0	55,39	0
25	53,6	3,23
50	41,03	25,93
75	24,18	56,35
100	24,06	56,56

Célula fotovoltaica (810 W/m²) à temperatura de 40 °C.
Fonte: Caluianu, 2009.

2.6 PREVISÃO DE GERAÇÃO SOLAR

Como exposto na seção anterior, a energia solar fotovoltaica é uma energia renovável com potencial para atender as demandas da população por energia elétrica. Esta, vem crescendo rapidamente, devido especialmente aos incentivos governamentais, desempenhando um papel importante na incorporação das usinas SPV em infraestruturas de rede e em operações de serviços públicos existentes.

Segundo o Programa de Sistemas de Energia Fotovoltaica da IEA (IEA- *Photovoltaic Power Systems Programme* – PVPS), o grande objetivo relacionado a SPV é a sua alta integração em redes elétricas (PELLAND *et al.*, 2013). Por ser uma fonte de energia que depende diretamente da disponibilidade solar (ver seção 2.4.7), a variabilidade e incerteza configuram seus principais desafios. Sua produção possui variabilidade em diferentes escalas de tempo e esta é de difícil previsão, estando diretamente associada ao movimento aparente das nuvens (PELLAND *et al.*, 2013; TUOHY *et al.*, 2015). Portanto, é categórico a previsão de sua variação, em especial, para sua integração em rede.

Para realizar uma previsão SPV são necessários conhecimentos das condições atmosféricas, assim como, seus processos físicos de dispersão e as particularidades da usina SPV. Porém, a maior complexidade consiste em estimar a irradiância real dos painéis solares na presença de aerossóis, nuvens e demais constituintes atmosféricos. Bem como, a eficiência do painel que sofre influência da temperatura na parte de trás dos módulos fotovoltaicos (PELLAND *et al.*, 2013; TUOHY *et al.*, 2015; CHATURVEDI e ISHA, 2016).

De acordo com Pelland et al. (2013) e Tuohy et al. (2015), realizar a previsão da produção de energia provável e operar o sistema através deste prognóstico, é uma das maneiras que demandam menor custo e mais eficiência na incorporação da SPV em rede. As previsões estão sendo utilizadas tanto para o planejamento da geração de energia, quanto para a compra de reservas operacionais, e até mesmo, na gestão de mudanças de produção. Além do mais, a previsão da produção SPV impacta diretamente no mercado de energia, sendo usufruída também por quem não a vende.

2.6.1 Métodos de Previsão

Existem alguns métodos de previsão para energia solar fotovoltaica que são mais utilizados na literatura. Eles baseiam-se, majoritariamente, em modelos que são alimentados por dados meteorológicos e tem como objetivo realizar estimativas de irradiância incidente no

plano da matriz para então transformá-la em energia (TUOHY *et al.*, 2015). Os métodos serão apresentados a seguir, de acordo com Pelland et al. (2013); Letendre, Makhyoun e Taylor (2014); Tuohy et al. (2015); Chaturvedi e Isha (2016), levando em consideração o seu horizonte de previsão (minutos até semanas), a saber:

Imagens de céu: É um método que consiste no rastreamento de nuvens através de imagens de alta resolução tiradas em terra com foco no horizonte. Essas imagens são processadas, auxiliando na determinação do movimento e da altura das nuvens. A previsão de irradiância é baseada na sombra da nuvem observada, posteriormente, esta é projetada no tempo de acordo com a direção e velocidade da nuvem observada. É apropriada em previsões com horizontes de 10 a 30 minutos.

Técnicas de aprendizagem estocástica: esta técnica pressupõe que a previsão da irradiação pode ser calculada através de algoritmos baseados em séries históricas. Sua configuração mais simples é a previsão de persistência, onde são extrapolados a saída atual da usina SPV para o futuro, podendo ser ajustada pela saída do radiômetro. É apropriada em previsões com horizontes de 0 a 3 horas.

Imagens de satélite: é um método similar ao “imagens do céu”. As imagens de satélites podem ser utilizadas na previsão, pois estas informam sobre os movimentos e propriedades das nuvens. Se combinadas as imagens, podem-se estimar regiões futuras de nuvens através da criação de campos vetoriais de deslocamento. Porém, satélites possuem baixa resolução temporal e espacial, o que leva à diminuição da precisão da previsão, sendo menos recomendada para previsões intra-hora se comparadas as “imagens do céu”. É considerado o melhor método em previsões com horizontes de até 5 horas.

Modelo de Previsão Numérica do Tempo (PNT): este método além de disponibilizar dados meteorológicos, importante para verificar a temperatura dos módulos, faz uso de um ou vários modelos climáticos globais para estimar o plano de irradiação da matriz. É um modelo complexo de alto custo computacional, que considera a dinâmica da atmosfera, resolvendo equações de transferência radiativa e microfísica de nuvens, entre outras. Nele também são utilizados métodos de estatística para correção de erros na saída do modelo, assim como, pode-se mesclar diversas saídas de modelos, aumentando sua previsão em 10-15%. É apropriado em previsões com horizontes de 6 horas a 2 semanas.

2.6.2 Desempenho da Previsão

Como comentando anteriormente, a variabilidade da produção da SPV é de difícil estimativa, sendo, portanto, relevante avaliar a precisão da previsão. Tal prática, auxilia na análise do desempenho do método utilizado, contribuindo na escolha da metodologia de previsão mais adequada (PELLAND *et al.*, 2013). A precisão da previsão, conforme Letendre, Makhyoun e Taylor (2014), pode ser calculada pela diferença da previsão de saída da usina fotovoltaica e a sua produção observada num determinado período.

Muitas pesquisas têm sido realizadas no âmbito de caracterizar o erro das previsões e, de acordo com Tuohy *et al.* (2015), para avaliar o desempenho das previsões aplicadas para SPV, é necessário a utilização de um conjunto padrão de métricas, com o objetivo de possibilitar a comparação entre as previsões realizadas por diferentes empresas. Dentre as métricas mais aplicadas estão o erro médio (viés), erro médio absoluto e a raiz do erro médio quadrático. Essas métricas podem ser empregadas em diferentes abordagens, como por exemplo, para saber a precisão dos custos dos erros de previsão, por isso a métrica mais adequada dependerá do usuário (PELLAND *et al.*, 2013).

As pesquisas realizadas para verificar o desempenho das previsões, determinaram uma série de fatores que influenciam as mesmas. O clima local e condições meteorológicas são alguns desses fatores, regiões de céus claros, por exemplo, são mais fáceis de prever do que lugares mais nublados (PELLAND *et al.*, 2013). O horizonte de tempo de previsão também é determinante e cada método tem a sua eficiência num horizonte de tempo limitado (ver seção 2.6.1). Os atributos de instalação configuram uma questão a ser considerada, pois as plantas que possuem rastreamento solar apresentam precisão de previsão superior àquelas que não possuem o rastreador (TUOHY *et al.*, 2015). Outro elemento que tem considerável impacto, é a escala espacial, uma vez que as estimativas são menos precisas quando realizadas apenas para um único sistema SPV. Quando agregadas (diversos sistemas SPV espalhados por uma área geográfica estendida), os erros das estimativas diminuem substancialmente. Por exemplo, quando se realiza previsão agregada, efeito locais tendem a desaparecer (PELLAND *et al.*, 2013; TUOHY *et al.*, 2015). Além da presença de nuvens que influenciam nas previsões, as pesquisas mostraram que neve, neblina, nevoeiro e poeira, também são significantes. Um exemplo disso, são épocas de maior ocorrência de nevoeiros (primavera e outono), em que os erros das previsões são bem mais definidos (PELLAND *et al.*, 2013).

2.7 INSTRUMENTAÇÃO

O instrumento de medida é um termo utilizado para caracterizar um sistema de medição que pode conter um ou vários elementos. Esse instrumento recebe a entrada de uma grandeza, transformando-a em um valor numérico do sinal de saída. Seu propósito é fornecer informações de um valor físico de alguma variável a ser medida (RADNAI e KINGHAM, 1986; MORRIS, 2001 e 2002). Os instrumentos podem ter diversas aplicações que abrangem três áreas principais, a primeira é a sua utilização no comércio regulamentado, medindo quantidades físicas (por exemplo, volume e massa) em unidades padronizadas, a segunda utilidade é a de monitoramento, como, prováveis eventos que podem impactar na sociedade e o terceiro é seu uso para sistemas de controle automático, com a finalidade de gerenciar o comportamento de outros dispositivos (MORRIS, 2002).

Na previsão de geração solar, o uso de instrumentação é imprescindível. Conforme mencionado anteriormente, métodos de estimativas de SPV existentes na literatura fazem uso de dados meteorológicos, bem como, de temperatura para os módulos fotovoltaicos e principalmente, de radiação solar (PELLAND *et al.*, 2013). Por conseguinte, os instrumentos mais difundidos para medir radiação solar serão apresentados a seguir.

2.7.1 Instrumentos Tradicionais Para Medir Radiação Solar

Os instrumentos que fornecem medidas da radiação solar são conhecidos tradicionalmente como radiômetros, eles medem desde radiação solar direta, até a radiação solar global, dentre os mais comuns estão os pireliômetros e piranômetros, que serão abordados separadamente.

2.7.1.1 Pireliômetros

Esses instrumentos têm como objetivo medir a radiação que atinge o solo na linha do disco solar, denominada de radiação solar direta. O modelo mais conhecido deste instrumento é o Pireliômetro de Compensação de Ångstrom, mostrado na **Figura 2.12** (VAREJÃO-SILVA, 2006; AMS, 2018).



Figura 2.12: Pireliômetro de Compensação de Ångstrom.
Fonte: Varejão-Silva, 2006.

Em conformidade com Varejão-Silva (2006) e a AMS (2018), este instrumento possui um campo de visão estreito, para coletar apenas a radiação solar direta. O princípio de funcionamento do instrumento é a compensação elétrica. No fundo de seu tubo, estão presentes duas tiras iguais de manganina (composta de manganês e cobre), cujas temperaturas são medidas por termopares acoplados. Uma das tiras é exposta a luz solar e a outra é sombreada. A tira sombreada é aquecida por uma corrente elétrica e a outra é aquecida pela absorção da energia solar direta. A energia elétrica necessária para elevar a temperatura da tira sombreada até a tira exposta é uma medida da radiação solar. Os termopares são acoplados por meio de um galvanômetro⁴ de alta sensibilidade e a corrente é dimensionada em um miliamperímetro. Sua unidade de medida é potência por unidade de área (W/m^2). Hoje no mercado, este instrumento é avaliado em US\$2.763,01 e o sistema completo, para medir radiação solar direta, custa em torno de US\$11.052,02 (MIDDLETON SOLAR, 2018).

2.7.1.2 Piranômetros

Piranômetros medem a quantidade de radiação solar que incide sob uma superfície plana, oriunda de todo o hemisfério, por essa razão, são empregados para medir radiação global e estimar a radiação difusa (radiação global menos a radiação direta). O modelo mais conhecido é o Piranômetro Eppley, apresentado na **Figura 2.13** (VAREJÃO-SILVA, 2006).

⁴ Galvanômetro é um instrumento que tem como finalidade medir corrente elétrica de baixa intensidade (DEE, 2018).

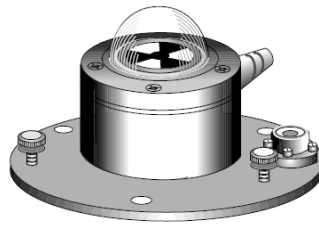


Figura 2.13: Piranômetro Eppley.
Fonte: Varejão-Silva, 2006.

É formado por um conjunto de placas metálicas intercaladas, as brancas que refletem a radiação incidente (são encobertas de sulfato de bário) e as pretas que absorvem a radiação incidente. Quando expostas à radiação solar, as placas geram diferença de potencial, devido a distinção de temperatura de cada placa, resultando em uma corrente elétrica que em seguida é ampliada e registrada em unidades adequadas. Com equipamentos específicos, esse instrumento também permite quantificar isoladamente radiação solar direta, difusa e a global. Sua unidade de medida é potência por unidade de área (W/m^2) (VAREJÃO-SILVA, 2006; VIANELLO, 2011). O custo desse instrumento é de aproximadamente US\$1.854,57, de acordo com a empresa australiana Middleton Solar (2018), e o sistema inteiro, para mensurar radiação solar global e difusa, é avaliado em US\$17.286,69.

2.7.2 Alternativas de Baixo Custo Para Medir Radiação Solar

Medidas de radiação solar são primordiais para diversos propósitos, na geração de energia SPV, analisar as condições atmosféricas do meio onde se pretende implementar sistemas fotovoltaicos é indispensável. A utilização de dados históricos de radiação, permite determinar a eficiência e viabilidade das instalações, resultando no maior controle e otimização da energia gerada. Informações de radiação solar também são aplicadas na realização de estimativas de SPV e nos estudos da sua precisão, mostrada na seção anterior (PELLAND *et al.*, 2013; LETENDRE, MAKHYOUN e TAYLOR, 2014; TUOHY *et al.*, 2015).

O pireliômetro e piranômetro constituem parte da instrumentação fundamental para fornecimento desses dados. Porém, apesar dos avanços da tecnologia, esses instrumentos ainda possuem custos elevados para implementação e manutenção, e por serem equipamentos de precisão com tecnologia de ponta, são, em grande parte, importados de outros países, favorecendo o mercado exterior. Tais características configuram um obstáculo para pequenas e grandes empresas que almejam gerenciar sua produção de energia solar com mais eficiência e menor custo. Por isso, há uma demanda por alternativas de baixo custo que solucionem este

problema, especialmente para alavancar a integração da SPV em rede. Uma possível saída para esta problemática é o uso de microcontroladores do tipo Arduino, que constitui uma inovação tecnológica, cujo potencial aparece como uma alternativa de menor custo para o desenvolvimento de instrumentos (PEARCE, 2012). Logo, eles podem ser aplicados para auxiliar na detecção de nebulosidade e assim contribuir para as estimativas da geração de energia solar fotovoltaica. Especificações de microcontroladores e do Arduino serão apresentadas com mais detalhes a seguir.

2.7.2.1 Microcontroladores

De acordo com Silva (2013) os microcontroladores são pequenos componentes eletrônicos constituídos de inteligência programável, aptos a receber dados, interpretá-los e enviar as respostas para saídas pré-estabelecidas.

Eles surgiram na década de setenta, como consequência da necessidade de criar um componente de única plataforma, que comportasse o microprocessador, dispositivos de comunicação e seus demais componentes (MARTINS, 2005).

Os principais componentes de um microcontrolador são o microprocessador, dispositivos de entrada e saída, memórias e contadores, e temporizadores. O microprocessador tem como principal função, processar os dados, além de gerenciar a memória e controlar a entrada e saída das informações. Os dispositivos de entrada e saída servem como uma interface entre os componentes externos e o microcontrolador (por exemplo, o USB). As memórias são utilizadas para o armazenamento dos dados, enquanto, os contadores e temporizadores são circuitos internos capazes de contar os ciclos de tempo da máquina e servem para coordenar as ações de dois ou mais circuitos, por exemplo, gerando interrupções programadas do sistema (SILVA, 2013).

Sistemas microcontrolados são sinônimos de inovação tecnológica e tem aplicação em diversas áreas, como a automação residencial e industrial. São excelentes alternativas com melhor custo/benefício para soluções de problemas que exigem processamento, delimitado espaço físico e baixo custo de hardware (OLIVEIRA NETO, MONTEIRO e QUEIROGA, 2012). No mercado, existem diversos tipos de microcontroladores, com destaque para o Arduino, que vem sendo amplamente estudado e utilizado pela comunidade acadêmica e outras instituições.

2.7.2.2 Arduino

O Arduino é um tipo de microcontrolador versátil, referido como uma plataforma eletrônica aberta que permite a elaboração de protótipos, fundamentado em software e hardware de código aberto e de fácil uso (PEARCE, 2012). Uns de seus criadores, Banzi (2015), define o Arduino como uma plataforma de computação física, constituída por uma placa simples de entrada e saída, que possui código aberto (*open source*) para permitir a elaboração de objetos interativos independentes ou conectados diretamente ao software do computador.

O Arduino foi originalmente desenvolvido no ano 2000 em Ivrea, Itália por Massimo Banzi, David Cuartielles, David Mellis, Tom Igoe e Gianluca Martino. A ideia era criar um dispositivo de baixo custo (comparado aos disponíveis no mercado) que fosse utilizado por alunos e que permitisse o controle integrado de projetos de design e interação (Arduino, 2018).

2.7.2.2.1 Plataforma Arduino

De acordo com Banzi e Shiloh (2015), a plataforma Arduino é constituída por dois componentes principais: A placa Arduino - elemento hardware usada para construir os projetos; e o Ambiente de Desenvolvimento Integrado Arduino (*Integrated Development Environment - IDE*) - software executado no computador, onde são inseridos os comandos para que a placa processe os dados.

O IDE Arduino possui código aberto e é executado no computador, compatível com sistemas operacionais Linux, Windows e Macintosh. Nele você escreve o programa com as funções a serem carregadas pela placa Arduino por meio de uma linguagem de programação simples, de fácil entendimento, denominada Processing (ambiente de programação baseado em Java). No IDE você carrega o programa escrito através de um botão, que o transforma em outra linguagem, denominada C. Esta linguagem também é de código aberto, porém ela é de difícil compreensão. Posteriormente, o programa é passado para o compilador avr-gcc, responsável pela conversão para uma linguagem compreendida pelo microcontrolador (BANZI e SHILOH, 2015). No IDE também estão disponíveis conjuntos de instruções desenvolvidas para realizar tarefas específicas associadas a um certo dispositivo, denominadas de bibliotecas. Seu uso torna o código mais organizado e simples (FILIFELOP, 2018).

O hardware também é de código aberto e seu principal elemento é o microcontrolador (ver seção anterior) onde são processados e executados os comandos inseridos através do software contido na memória da placa. Existem muitos modelos diferentes de placas Arduino

para atender os mais diversos tipos de projetos, cada placa possui componentes e microcontroladores distintos. Uma das placas mais utilizadas é a Arduino Uno REV3 (**Figura 2.14**), ela possui dois microcontroladores fabricados pela Atmel, o ATmega328 e o ATmega16U2. O primeiro microcontrolador é responsável para o funcionamento do Arduino e o segundo é encarregado de manipular a interface USB. Outros modelos de placa Arduino possuem apenas um microcontrolador que é capaz de executar todas as funções (BANZI e SHILOH, 2015).



Figura 2.14: Arduino Uno REV3.
Fonte: Arduino, 2018.

2.7.2.2.2 Dispositivos Interativos

Os objetos construídos com o uso do Arduino são padronizados e podem ser chamados de dispositivo interativo. Conforme Banzi e Shiloh (2015) esse dispositivo interativo é definido como um circuito eletrônico que detecta o ambiente ao seu redor por meio da recepção de sinais de sensores. As informações medidas pelos sensores e controladas por meio do software (programadas em linguagem Processing no Arduino IDE), são processadas pelo dispositivo e assim, o mesmo pode interagir com o ambiente através de componentes eletrônicos (sensores e atuadores⁵) que convertem o sinal elétrico em uma ação física, controlando luzes, motores e outros (BANZI e SHILOH, 2015).

⁵ Sensores e atuadores são componentes eletrônicos que permitem que uma peça de eletrônica interaja com o mundo. Os sensores transformam as grandezas físicas em grandezas elétricas equivalentes que podem ser medidas

2.7.2.2.3 Diferença do Arduino e Outras Plataformas

Segundo Banzi e Shiloh (2015), o Arduino difere das outras plataformas existentes no mercado, principalmente, pela facilidade de utilização, pois foi desenvolvido em um ambiente educacional e, portanto, é acessível para quem não tem experiência em eletrônica ou programação. Outra vantagem é que todo o projeto eletrônico é de acesso público e gratuito, portanto, aberto à comunidade.

O preço de uma placa de Arduino Uno REV3 (mais utilizadas e mais simples) é de aproximadamente US\$22. O *kit* completo que inclui uma seleção dos componentes eletrônicos mais comuns para começar a usar Arduino custa cerca de US\$87,90 (ARDUINO, 2018). Como o Arduino é de baixo custo, permite cometer erros (como queimar a placa) sem que haja grande prejuízo.

Sua linguagem de programação é utilizada por profissionais de diversas áreas. A quantidade crescente de usuários, disponibilizam, nas comunidades do Arduino na internet, diversos materiais e códigos prontos para serem utilizados, tornando o seu uso ainda mais promissor (ARDUINO, 2018).

pelos módulos eletrônicos. Os atuadores transformam comandos elétricos em ações mecânicas proporcionais (BANZI, 2015)

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão apresentados os materiais e as metodologias empregadas no desenvolvimento de um equipamento de baixo custo para detecção de nebulosidade que pode contribuir para a previsão de curto prazo de geração solar fotovoltaica. Primeiramente, serão expostos os materiais e suas principais características. Em seguida, serão apresentadas as metodologias.

3.1 MATERIAIS

Para o desenvolvimento de um equipamento de baixo custo que possibilite a detecção de nebulosidade para auxiliar na realização de estimativas para geração solar fotovoltaica, foram utilizados ao todo nove materiais. Tais materiais constituem o equipamento de baixo custo e são apresentados na **Tabela 3.1**, juntamente com a quantidade utilizada e o preço de referência no mercado.

Tabela 3.1: Materiais utilizados para compor o equipamento de baixo custo, quantidade e preço.

Materiais	Quantidade	Preço (R\$)
Placa Arduino MEGA2560	1	62
Sensor de Radiação Ultravioleta UVM30A	1	79,9
Módulo Relógio de Tempo Real RTC DS3231	1	26,9
Módulo de Cartão de Memória MicroSD Card Adapter	1	9,9
Cartão de Memória 8G	1	24,9
Cabo USB	1	12,9
Fios para Conexão (Jumpers)	13	3,8
Placa de Circuito Impresso (Fibra de Vidro 10x10)	1	8
Barra de Pinos Macho (1x40)	1	1,9
Total	21	230,2

Referência dos preços: FilipeFlop, 2019.
Fonte: Autoria própria (2019).

Materiais adicionais foram utilizados para realizar os testes experimentais do equipamento de baixo custo. Tais materiais também serão abordados no texto e estão presentes na **Tabela 3.2**.

Tabela 3.2: Materiais adicionais utilizados na realização dos testes experimentais do equipamento de baixo custo.

Materiais	Quantidade	Preço (R\$)
Sensor de Radiação Ultravioleta UVM30A	1	79,9
Webcam	1	50
*Painel Solar Fotovoltaico 2W	1	111,3
*Cabo Adaptador CC	1	3,7
*Cabo de Teste Plug P4 Fêmea/Garras de Jacaré	1	7,5
Resistor	2	0,2
Micro Protoboard	1	2,1
Fios para Conexão (Jumpers)	1	1,5
Notebook	1	-
Bateria 9V	4	55,6
Conector de Bateria 9V Plug P4	1	3,4
Total	15	315,2

Referência dos preços: FilipeFlop, 2019 e * Adafruit, 2019.
 Fonte: Autoria própria (2019).

3.1.1 Placa Arduino MEGA2560

A plataforma responsável por receber os dados enviados pelo equipamento neste trabalho é a placa Arduino MEGA2560 (**Figura 3.1**).

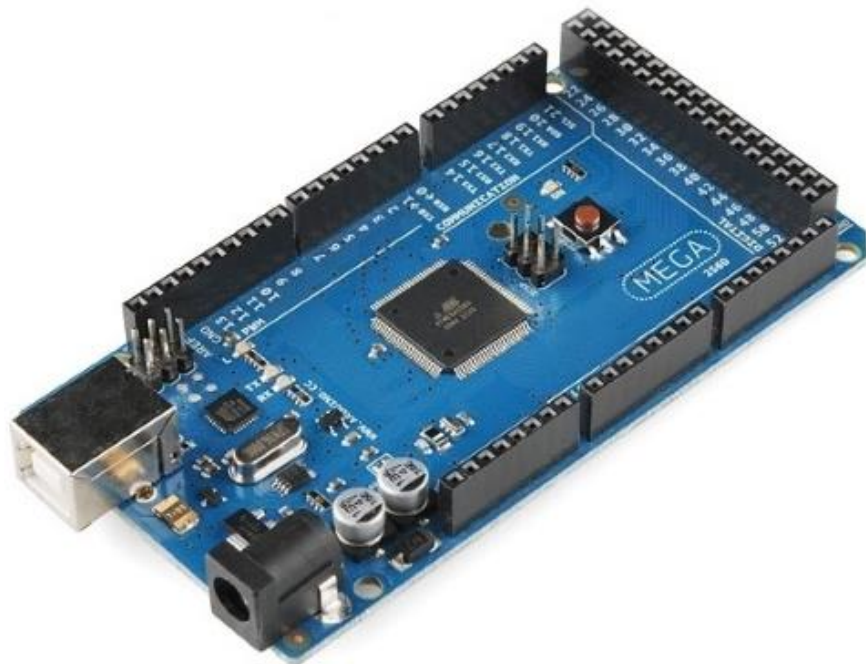


Figura 3.1: Placa Arduino MEGA2560.
Fonte: Filipeflop, 2018.

Ela tem como seu principal componente o microcontrolador ATmega2560. A tensão de operação da placa é de 5V e sua memória flash é de 256KB. Ela contém conexão para USB, 54 portas que podem ser usadas para entradas e saídas digitais e 16 portas analógicas. As 16 portas analógicas possuem um conversor analógico-digital 10 bits (2^{10} ou seja, 1024 valores inteiros) o que significa que as tensões de entrada de 0 e 5V serão mapeadas em valores inteiros de 0 a 1023, sendo necessária a resolução de $5V/1024$ unidades para se obter o verdadeiro valor de entrada do dispositivo em questão (Arduino, 2018). Outras características da placa Arduino MEGA2560 são apresentadas na **Tabela 3.3**.

Esta placa é ideal para projetos que demandam um número alto de pinos de entradas e saídas e maior capacidade de processamento. Neste trabalho, ela foi escolhida pela capacidade de desenvolver o dispositivo interativo (equipamento de baixo custo) e pela falta de disponibilidade da placa Arduino Uno, o que tornaria uma opção mais barata. O preço da placa Arduino MEGA2560 varia em torno de R\$62,00.

Tabela 3.3: Características da placa Arduino MEGA2560.

Microcontrolador:	ATmega2560
Tensão de trabalho:	5V
Tensão de entrada (recomendado):	7-12V
Tensão de entrada (limite):	6-20V
Pinos de I/O digital:	54 (dos quais 15 fornecem saída PWM)
Pinos de entrada analógica:	16
Corrente CC por pino I/O:	20 mA
Corrente CC por pino 3.3V:	50 mA
Memória flash:	256 KB (dos quais 8 KB usados pelo bootloader)
SRAM:	8 KB
EEPROM:	4 KB
Velocidade de clock:	16 MHz
Comprimento:	101,52 mm
Largura:	53, mm
Peso:	37 g

Fonte: Arduino, 2018.

3.1.1.1 Alimentação da Placa Arduino MEGA2560

A operação da placa Arduino MEGA2560 pode ser dada entre os intervalos de 6 a 20V. Porém, de acordo com as especificações apresentadas no *website* Arduino (2018) é aconselhável operar a placa entre os limites de 7 a 12V. Quando a operação é menor a 7V, devido à produção menor do pino de 5V ao valor de referência, pode-se ter instabilidade da placa. Para uma operação acima de 12V, pode haver superaquecimento, danificando a placa e diminuindo sua vida útil. A alimentação pode ser dada através de cabo USB ou por fonte externa, utilizando um adaptador de CA/CC (corrente alternada/corrente contínua).

Para os experimentos realizados neste trabalho, foram utilizadas duas fontes diferentes de alimentação da placa Arduino MEGA2560. A primeira fonte de alimentação foi a conexão USB do notebook utilizado durante os primeiros experimentos, transcorridos a partir do dia 19 de maio de 2018 até 03 de março de 2019 (total de nove experimentos). Esta fonte foi utilizada

para alimentar a placa Arduino e a webcam, com objetivo de registrar o céu acima do equipamento durante os experimentos.

Os experimentos entre 06 de abril até 09 de maio de 2019 (total de quatro experimentos) foram realizados com baterias de 9V (pilhas), tornando-se a segunda opção de fonte de alimentação da placa Arduino MEGA2560. Para esses experimentos não houve o emprego da webcam.

A mudança da fonte de alimentação foi necessária para resolver o problema de superaquecimento do notebook durante alguns dos experimentos realizados. Este superaquecimento ocorreu devido a exposição do notebook ao sol e elevada temperatura ambiente.

3.1.2 Sensor de Raios Ultravioleta UVM-30A

O principal sensor utilizado para a detecção da nebulosidade é o sensor de raios ultravioleta UVM-30A (**Figura 3.2**) da Logoele Electronic.



Figura 3.2: Sensor de Raios Ultravioleta UVM-30A.
Fonte: Logoele, 2016.

Este sensor possui um chip UVM-30A que é capaz de detectar a radiação solar ultravioleta com tamanhos de onda de 200-370nm. A resposta do sensor é rápida (0,5s), possui uma precisão de $\pm 1UV$, a tensão de trabalho varia de 3-5V e a saída dos dados utiliza apenas um pino analógico (LOGOELE, 2016). Outras características sobre o sensor UVM-30A são apresentadas na **Tabela 3.4**.

Tabela 3.4: Características do sensor UVM-30A.

Comprimento de onda de resposta:	200nm - 370nm
Tensão de trabalho:	CC 3 - 5V
Tensão de saída (correspondente ao índice UV 0-10):	CC 0 - 1V
Precisão do teste:	± 1 índice UV
Corrente de trabalho:	0.06mA (valor típico) 0.1mA (valor máximo)
Temperatura de trabalho:	-20°C a 85°C
Estabilidade do trabalho a longo prazo (taxa de deriva anual):	<5%
Tempo de resposta:	<0,5s
Tamanho do produto:	28mm \times 12mm x 10mm

Fonte: Logoele, 2018.

A curva de resposta típica e o valor de tensão da saída padrão são exibidos na **Figura 3.3**. Este sensor foi desenvolvido para medir o índice de radiação ultravioleta de acordo com a escala padronizada pela Organização Mundial da Saúde (OMS), porém, nesse trabalho, o sensor UVM-30A foi utilizado para detectar a nebulosidade. A utilização deste sensor é simples, visto que, através da tensão de operação, ele concede sinais analógicos ao microcontrolador da placa Arduino MEGA2560, variando sua tensão conforme o nível de raios ultravioleta detectados. Essa variação pode ser usada para detectar nuvens, uma vez que, na presença das mesmas, os raios ultravioleta que incidem a superfície, são menores. O valor deste sensor vendido no Brasil se aproxima aos R\$79,90.

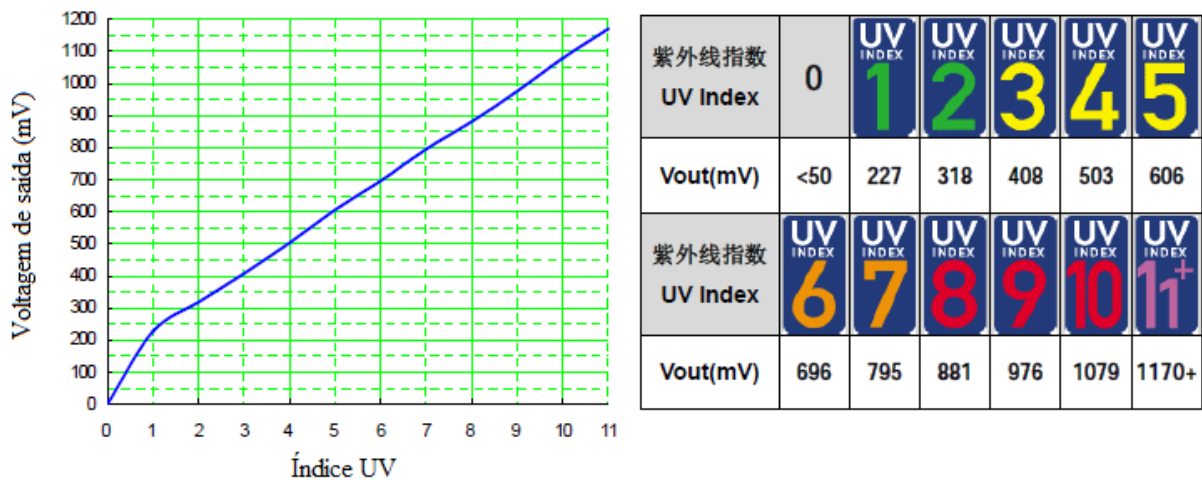


Figura 3.3: Sensor de raios ultravioleta UVM-30A: curva de resposta típica (esquerda) e valor de tensão de saída padrão (direita).

Fonte: Adaptada de Logoele, 2016.

3.1.3 Módulo Relógio de Tempo Real RTC DS3231

Segundo a Maxim Integrated (2015), este módulo relógio de tempo real (*Real Time Clock – RTC*) DS3231 (**Figura 3.4**), é um componente de alta precisão que consome pouca energia e funciona como um relógio de tempo real, fornecendo informações como segundos, minutos, horas, dia, data, mês e ano. Ele apresenta um ajuste automático para meses com menos de 31 dia e correções para ano bissexto. Contém ainda em sua placa, um sensor de temperatura e um cristal oscilador responsáveis por torná-lo mais preciso. No dispositivo, é possível incluir uma bateria que é acionada em casos onde a energia principal do dispositivo seja interrompida, mantendo a hora exata. Sua tensão de operação é de 3,3-5V.

Neste trabalho, ele foi utilizado para demarcar os segundos, horas e datas das medidas do equipamento.

3.1.5 Cabo USB

O cabo USB (*Universal Serial Bus*) (**Figura 3.6**) é imprescindível para a conexão da placa Arduino com o IDE Arduino no computador e como fonte de alimentação para a placa via USB do seu computador.



Figura 3.6: Cabo USB.
Fonte: Filipeflop, 2018.

3.1.6 Fios Para Conexão (jumpers)

Jumpers (**Figura 3.7**) são pequenos fios que tem como objetivo realizar a conexão dos dispositivos à placa Arduino, podendo desviar, ligar ou desligar o fluxo elétrico, de acordo com as configurações especiais do seu projeto. Neste trabalho, foram empregues 14 jumpers para estabelecer as conexões da placa com o sensor, módulos e micro protoboard.

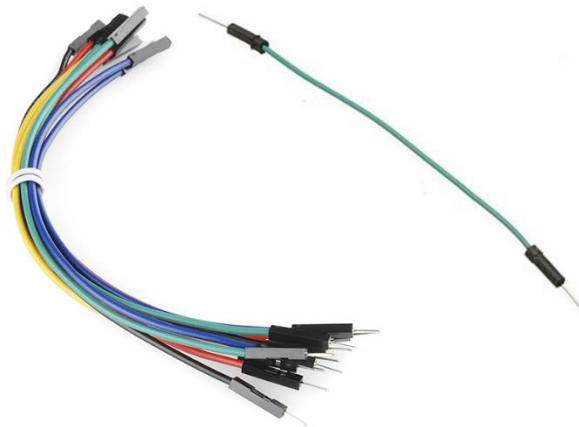


Figura 3.7: Jumpers.
Fonte: Filipeflop, 2018.

3.1.7 Placa de Circuito Impresso

De acordo com Melo, Gutierrez e Rosa (1998), as placas de circuito impresso (PCIs) são amplamente utilizadas na fabricação de eletrônicos e tem como objetivo fornecer sustentação mecânica e interligação elétrica dos componentes. Tais placas são constituídas por finas películas com propriedades de isolamento elétrico e entre as mais difundidas estão as placas feitas de fenolite e de fibra de vidro. Nelas, são impressas trilhas de cobre (elemento conhecido por sua excelente condutividade elétrica) responsáveis pela passagem da corrente elétrica pelos equipamentos eletrônicos soldados a PCI.

Para compor o equipamento de baixo custo, utilizou-se a PCI de fibra de vidro (**Figura 3.8**), que devido as suas propriedades físicas e químicas, a converte numa placa com excelente

capacidade isolante, força mecânica e estabilidade dimensional, possuindo baixo nível de absorção de água e resistência a variadas temperaturas (MEHL, 2011).

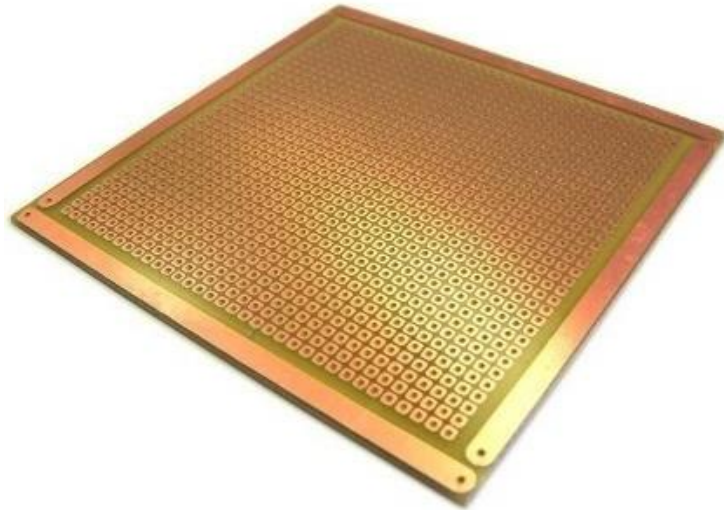


Figura 3.8: Placa de circuito impresso de fibra de vidro.
Fonte: Eletrônica Castro, 2018.

3.1.8 Barra de Pinos Macho

Barras de pino macho (**Figura 3.9**) são conectores comumente utilizados em eletrônica, são responsáveis pelo fluxo da corrente elétrica entre os dispositivos eletrônicos, facilitando a criação de protótipos (FILIFELOP, 2018). Neste trabalho, utilizou-se a barra de pino macho para conectar a PCI junto a placa Arduino Mega2560. Em seguida, foram soldados os jumpers nos dispositivos eletrônicos citados anteriormente e finalmente, os mesmos, foram soldados na PCI, complementando o equipamento de baixo custo.



Figura 3.9: Barra de pinos macho.
Fonte: Filipeplop, 2018.

3.1.9 Webcam

A webcam usada nesse estudo foi da Multilaser (2018) (**Figura 3.10**), que possui transmissão de vídeo de 360 pixels e câmera principal de 16 megapixels. A webcam tem como material da sua composição o plástico, e dispõe de visão noturna, peso de 0,9kg, altura de 15cm e preço acessível (R\$50).

Optou-se por utilizar a webcam para registrar o céu durante os testes experimentais do equipamento de baixo custo, e dessa maneira constatar, através das imagens, se os registros do equipamento coincidiam com a presença de nuvens ou a ausência delas.



Figura 3.10: Webcam 16Mp da Multilaser.
Fonte: Multilaser, 2018.

3.1.10 Painel Solar Fotovoltaico 2W

O painel solar fotovoltaico 2W (**Figura 3.11**) da Voltaic Systems (2018) é resistente a riscos e aos raios ultravioleta, é impermeável e composto por células monocristalinas com eficiência de + 19%. Ele emite 6V a 340mA através do plugue de saída macho impermeável de 3,5x1,1mm, possui revestimento de uretano e substrato composto por alumínio-plástico de 3mm. Outras características do painel solar fotovoltaico podem ser observadas na **Tabela 3.5**. O custo do painel solar fotovoltaico é de US\$29, aproximadamente R\$111,30.

Neste trabalho, o painel solar fotovoltaico foi empregue em conjunto com o equipamento de baixo custo, com o intuito de verificar a relação entre eles e, dessa maneira, estudar sua aplicação para auxiliar na previsão de curto prazo de geração solar fotovoltaica.



Figura 3.11: Painel solar fotovoltaico.
Fonte: Voltaic Systems, 2018.

Tabela 3.5: Características do painel solar fotovoltaico 2W.

Tamanho:	136mm x 112mm x 5mm
Peso:	99g
Tipo de célula:	Monocristalina
Eficiência da célula:	+19%
Voltagem circuito aberto:	7,7V
Tensão de pico:	6,5V
Corrente de pico:	340mA
Potência de pico:	2,2W
Tolerância de potência:	±10%
Faixa de temperatura:	-40°C a 85°C
Fornecedor de células:	Solar World

Fonte: Voltaic Systems, 2018.

3.1.11 Cabo Adaptador CC

O painel solar fotovoltaico utilizado neste trabalho, descrito anteriormente, possui um cabo de saída de 26cm com conector macho de 3,5mm x 1,1mm, no qual exige o cabo adaptador de CC apresentado na **Figura 3.12**.



Figura 3.12: Cabo adaptador CC.
Fonte: Adafruit, 2018.

3.1.12 Cabo de Teste Plug P4 Fêmea/Garras de Jacaré

Este é um cabo de teste que possui uma extremidade composta por um plug (conector) P4 fêmea e o outro lado é formado por garras de jacaré (ver **Figura 3.13**). Ele foi utilizado para realizar a conexão do painel solar junto ao cabo adaptador descrito acima, enquanto as garras de jacaré são prendidas aos resistores dividindo a tensão pela metade, de maneira que a placa Arduino MEGA2560 possa realizar a leitura da tensão de saída do painel solar fotovoltaico.



Figura 3.13: Cabo de teste plug P4 fêmea/garras de jacaré.
Fonte: Adafruit, 2018.

3.1.13 Micro Protoboard

A protoboard é uma placa de ensaio ou uma matriz de contato, que possui furos para conexões condutoras, usadas para montar circuitos elétricos em fase de experimento sem precisar de soldagem. Elas possuem linhas verticais, como mostrado na **Figura 3.14**, onde qualquer componente conectado nos orifícios nessa mesma linha é conectado imediatamente a outros componentes da mesma coluna vertical. São ideais para conexões em 5V ou GND, que são comuns em quase todos os projetos eletrônicos (BANZI e SHILOH, 2015).

Neste trabalho a micro protoboard (**Figura 3.14**) foi utilizada para criar um circuito em conjunto com os dois resistores, de modo que a tensão de saída gerada pelo painel solar fotovoltaico fosse dividida pela metade, permitindo a leitura através do pino analógico da placa Arduino MEGA2560, que possui limite de 5V, enquanto a tensão de saída do painel solar pode chegar até 6V.

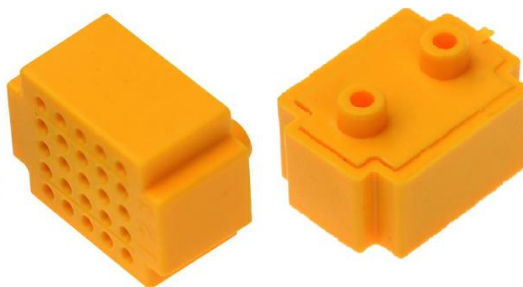


Figura 3.14: Micro protoboard.
Fonte: Adaptada de Filipeflop, 2018.

3.1.14 Resistor

De acordo com Shamieh e McComb (2011), resistores são componentes eletrônicos que proporcionam quantidades controladas de resistência, eles são empregados para limitar o fluxo da corrente em um circuito, impedindo que outros elementos recebam mais elétrons do que podem suportar, assegurando que a voltagem correta seja fornecida ao dispositivo.

Neste trabalho, foram utilizados dois resistores de filme de metal com valor de resistência de 750Ω (Ohms), potência nominal de 1/2Watt e tolerância de $\pm 1\%$ (J) (**Figura 3.15**). Os resistores foram empregues junto à micro protoboard como divisores de tensão, para realizar as leituras da tensão de saída do painel solar fotovoltaico pela placa Arduino MEGA2560. O painel solar fotovoltaico possui tensão de saída de até 6V, enquanto a placa Arduino MEGA2560 opera em 5V. Dessa maneira, foi necessário criar um circuito com os dois resistores em série, dividindo pela metade a voltagem e assim não sobrecarregar a placa. O circuito pode ser observado na **Figura 3.20**.

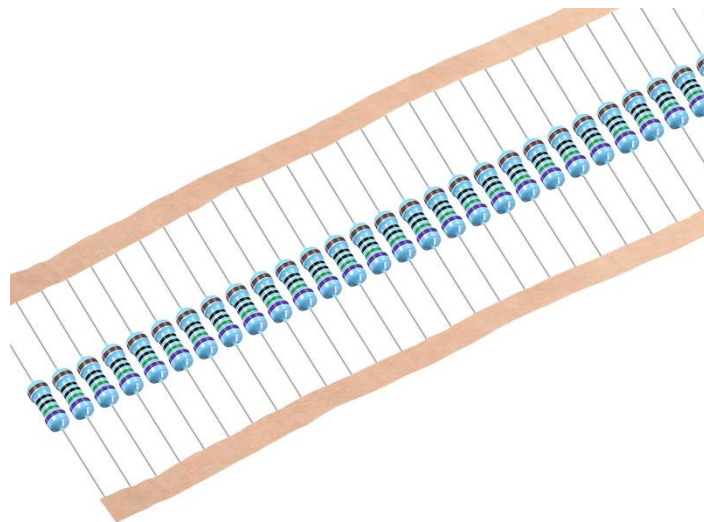


Figura 3.15: Resistores de 750 ohm de filme de metal.
Fonte: Filipeflop, 2018.

3.1.15 Notebook

O notebook ou computador portátil (**Figura 3.16**), foi utilizado neste trabalho com o objetivo de realizar a alimentação de energia da placa Arduino MEGA2560 e da webcam durante os testes experimentais que serão amplamente detalhados na seção de metodologia.



Figura 3.16: Ilustração de um notebook.
Fonte: Unrestrictedstock, 2019.

3.1.16 Bateria 9V

A bateria de 9V (**Figura 3.17**) foi utilizada, assim como o notebook, para fornecer a alimentação para a placa Arduino MEGA2560 e os demais componentes que constituem o equipamento de baixo custo. No total, foram utilizadas 4 baterias de 9V, com custo de R\$55,60.



Figura 3.17: Bateria 9V.
Fonte: Pixabay, 2019.

3.1.17 Conector de Bateria 9V Plug P4

Para realizar a conexão da bateria de 9V na placa Arduino MEGA2560, foi necessário adquirir o suporte chamado de conector de bateria 9V plug P4, mostrado na **Figura 3.18**. Este suporte é composto por um clip conector padrão para bateria 9V de um lado e um plug P4 do outro, permitindo conexão direta com a placa Arduino MEGA2560, e consequentemente, fornecendo a alimentação necessária para o equipamento de baixo custo.



Figura 3.18: Conector de bateria 9V plug P4.
Fonte: FilipeFlop, 2019.

3.2 MÉTODOS

A metodologia a seguir descreve, separadamente, a montagem do equipamento de baixo custo responsável por realizar a detecção da nebulosidade, as especificações dos experimentos do equipamento realizados, o tratamento e estatísticas aplicadas nos resultados e posteriormente, a ideia de como se implementará (próximos passos da pesquisa) o equipamento de detecção de nuvens de baixo custo junto a um parque solar fotovoltaico.

O equipamento de baixo custo é projetado para avaliar e monitorar a nebulosidade que pode afetar a eficiência da produção de energia solar fotovoltaica num pequeno horizonte temporal (de 15 min a 1 hora). A partir desses dados pode-se planejar a produção da energia e gerenciar sua mudança, além de auxiliar na compra de reservas operacionais, reduzindo custos adicionais.

3.2.1 Montagem do Equipamento

A montagem do equipamento de baixo custo para detecção de nebulosidade foi desenvolvida no Laboratório de Monitoramento e Modelagem de Sistemas Climáticos (LAMMOC) da Universidade Federal Fluminense (UFF), com a colaboração dos demais alunos e pesquisadores do laboratório. No LAMMOC foram disponibilizados todos os materiais necessários para a montagem do equipamento.

Primeiramente, a montagem consistiu em conectar o sensor UV (UVM-30A) à placa Arduino Uno e examinar o seu funcionamento. Logo depois, verificou-se a necessidade de incluir um módulo de cartão de memória (MicroSD Card Adapter) para armazenar e ler os dados do sensor. Durante o processo, a placa Arduino Uno, queimou e teve que ser substituída pelo Arduino MEGA2560, disponibilizada no momento. Para que fosse possível identificar os horários das medidas do equipamento, foi incluído o módulo relógio de tempo real (RTC DS3231).

O sensor de raio ultravioleta UVM-30A possui três pinos, o primeiro é constituído pela saída do módulo (pino OUT), que é conectada ao pino analógico A0 da placa Arduino MEGA2560. O programa lê o valor da porta analógica A0 e converte esse valor em volts. As portas analógicas da placa Arduino Mega2560 possuem conversor analógico-digital A/D de 10 bits (2^{10} ou seja, 1024 valores inteiros) o que significa que as tensões de entrada de 0 e 5V são mapeadas em valores inteiros de 0 a 1023, sendo necessária a resolução de 5V/1024 unidades para se obter o valor de entrada do dispositivo. O sensor utiliza a biblioteca U8Glib para realizar

suas funções no IDE. Os outros dois pinos são ligados ao 5V e ao GND (terra), para alimentação do componente.

O módulo cartão de memória MicroSD Card Adapter tem 6 pinos, dois para alimentação, GND conectado ao GND da placa e o VCC conectado ao 5V. Os outros 4 pinos realizam a comunicação do módulo por meio dos pinos SPI, que é um protocolo de comunicação usado para ler e escrever dados na memória flash do cartão. Os pinos SPI são chamados de MOSO, MOSI, SCK, CS e possuem compatibilidade com as portas do Arduino 12, 11, 13 e 10, respectivamente, e por isso devem ser conectadas a elas. A biblioteca SD é utilizada para a execução das tarefas no IDE.

O módulo relógio de tempo real RTC DS3231, contém 6 pinos, dos quais, dois (32k e SQW) podem ser ignorados. Ele é ligado ao GND e ao 5V para alimentação e os dois pinos restantes são para efetuar a comunicação do RTC com a placa Arduino. Eles são denominados de SCL e SDA, e devem ser plugados às portas SCL 21 e SDA 20, respectivamente. A porta SDA (*Serial Data*) é o pino que transfere os dados e o SCL (*Serial Clock*) é o responsável pela temporização entre os dispositivos. A biblioteca utilizada pelo RTC via IDE é a DS3231.

Todos os componentes acima precisam ser conectados ao GND e ao 5V, a placa Arduino MEGA2560 possui quatro portas GND e apenas uma porta de 5V, por esta razão foi usada a micro protoboard, ampliando as conexões 5V. A esquematização do equipamento pode ser observada na **Figura 3.19** e o código que realiza todas essas funções é disponibilizado no Anexo deste trabalho.

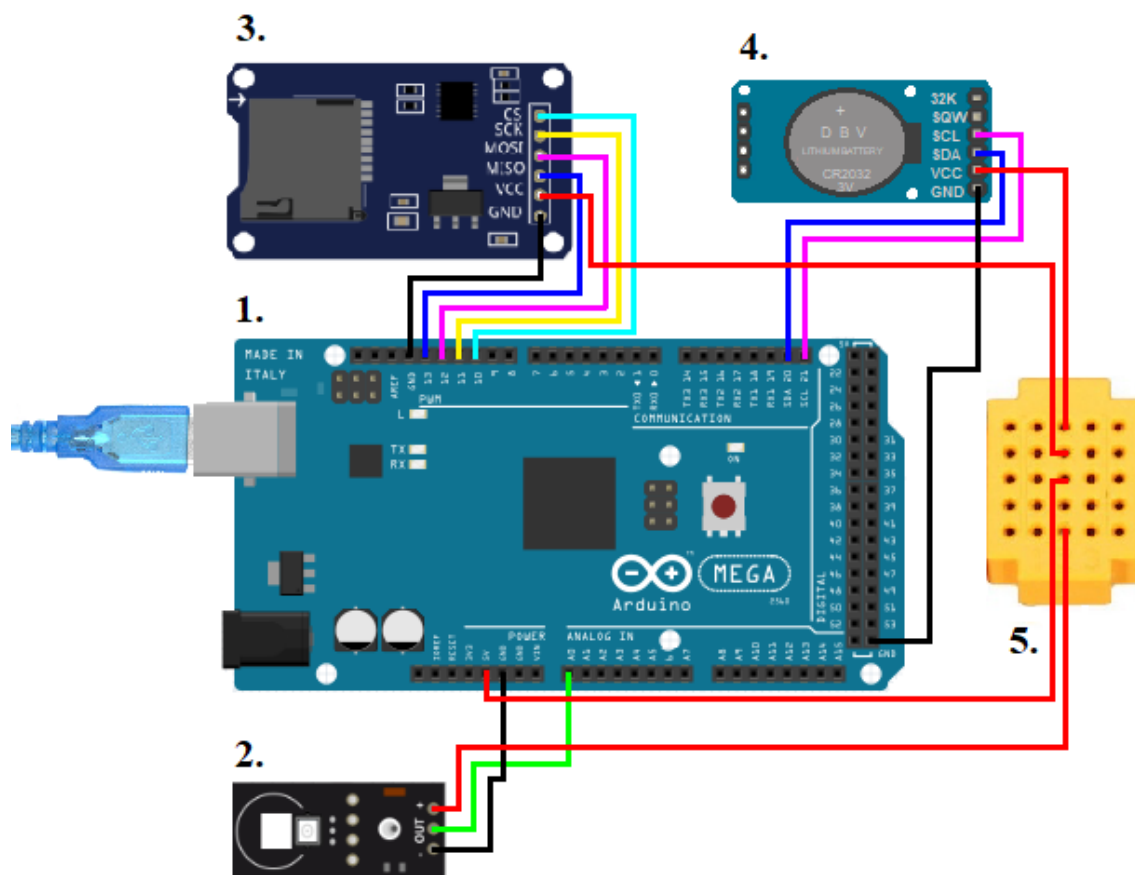


Figura 3.19: Esquema da montagem (conexões) do equipamento de detecção de nuvens. Composição: 1. Placa Arduino MEGA2560. 2. Sensor de raio ultravioleta UVM-30A. 3. Módulo cartão de memória MicroSD Card Adapter. 4. Módulo relógio de tempo real RTC DS3231. e 5. Micro protoboard. Fonte: Autoria própria (2019).

Posteriormente, após a realização do primeiro teste experimental, houve a necessidade de efetuar a soldagem dos componentes do equipamento junto aos cabos (jumpers). A barra de pinos também foi soldada na PCI, de modo que pudesse ser plugada na placa Arduino MEGA2560. Após este passo, foi realizada a soldagem dos cabos na PCI e então foi utilizada uma cola para vedar a soldagem, garantindo maior proteção para as conexões do equipamento. A configuração final do equipamento de baixo custo que permite a detecção de nuvens, pode ser observado na **Figura 3.20**.

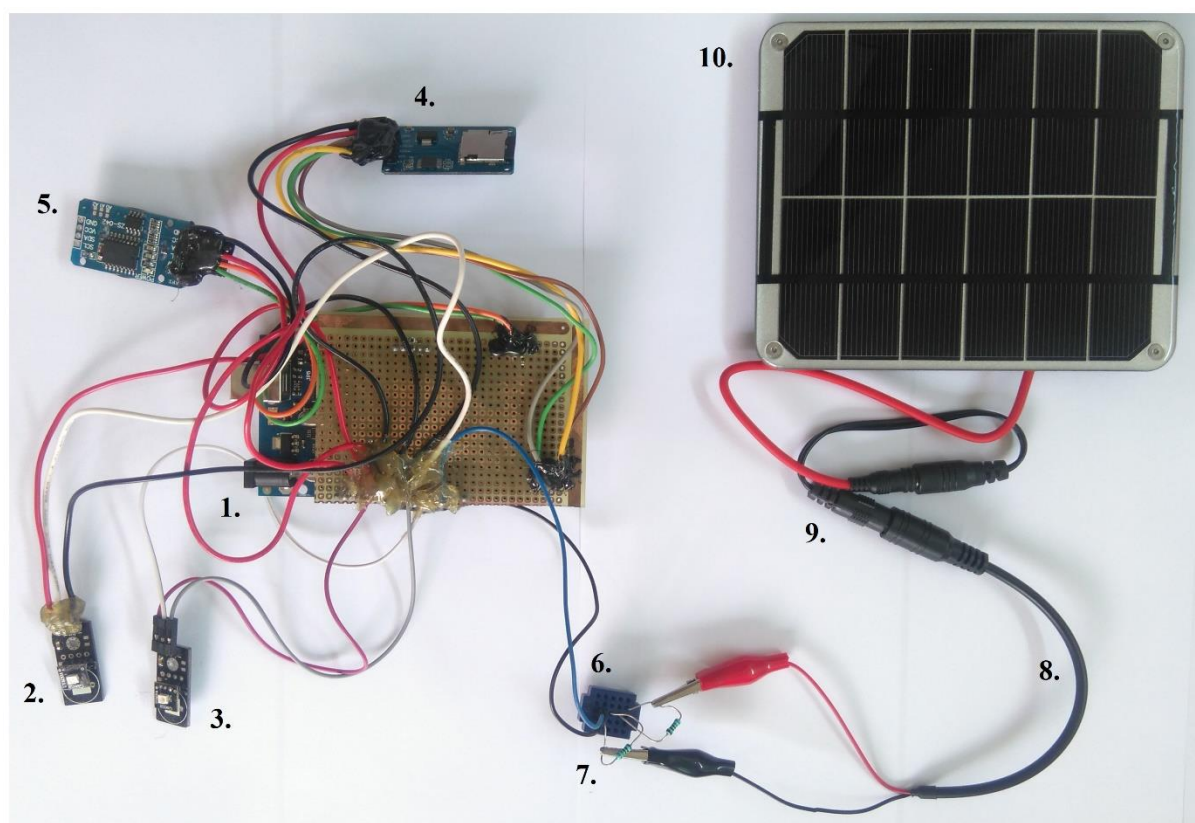


Figura 3.20: Equipamento de detecção de nuvens com o segundo sensor de raios ultravioleta e painel solar. Placa Arduino MEGA2560. 2. Sensor de raio ultravioleta UVM-30A. 3. Segundo sensor de raio ultravioleta UVM-30A. 4. Módulo cartão de memória MicroSD card adapter. 5. Módulo relógio de tempo real RTC DS3231. 6. Micro protoboard. 7. Resistores. 8. Cabo de teste plug P4 fêmea/garras de jacaré. 9. Cabo adaptador CC. 10. Painel solar fotovoltaico.

Fonte: Autoria própria (2019).

3.2.2 Testes Experimentais do Equipamento

Após a montagem do equipamento, para averiguar a sua aplicabilidade em detectar a nebulosidade e para que fosse possível obter os resultados deste trabalho, foram realizados testes experimentais do equipamento descrito na seção anterior. Tais testes experimentais foram

divididos em quatro etapas e são denominados de “Detecção de Nuvens 1” (DN1), “Detecção de Nuvens 2” (DN2), “Detecção de Nuvens 3” (DN3) e “Detecção de Nuvens 4” (DN4).

Para a realização dos experimentos de detecção de nuvens, alguns procedimentos tiveram que ser ponderados, dentre eles, a necessidade de realizar o experimento num local com menor impacto de sombras indesejáveis e maior durabilidade da insolação solar. Outro aspecto muito importante, justificado pela ausência de um abrigo impermeável para o equipamento, foi a necessidade de realizar os experimentos em condições atmosféricas sem chuva, impactando negativamente na duração e execução deles.

Ademais, com o objetivo de verificar a presença de nuvens ao longo dos experimentos (com exceção do experimento DN4), foi utilizada uma câmera de vídeo (webcam) filmando o céu acima do equipamento. Tal procedimento permitiu a análise da influência das nuvens no sinal de medida do equipamento.

As características como data, localização, estrutura e alimentação de energia do equipamento para cada teste experimental, podem ser observadas na **Tabela 3.6**. No total foram realizados 13 dias de experimentos em 4 cidades diferentes. Mais detalhes de estrutura de montagem e características sobre cada um dos testes experimentais, são apresentados separadamente nas seções a seguir.

Tabela 3.6: Características dos experimentos realizados.

Experimentos	Data	Local	Estrutura	Alimentação
DN1	19.05.2018	Buenos Aires - BA	1 sensor UV, MicroSD, RTC, webcam	notebook
	20.05.2018	Buenos Aires - BA		
DN2	22.10.2018	Niterói - RJ	1 sensor UV, MicroSD, RTC, webcam, painel solar fotovoltaico	notebook
	24.10.2018	Niterói - RJ		
DN3	06.02.2019	Manaus - AM	2 sensores UV, MicroSD, RTC, webcam, painel solar fotovoltaico	notebook
	07.02.2019	Manaus - AM		
	15.02.2019	Manaus - AM		
	16.02.2019	Manaus - AM		
	03.03.2019	Cantá - RR		
DN4	06.04.2019	Manaus - AM	2 sensores UV, MicroSD, RTC, painel solar fotovoltaico	bateria 9V
	17.04.2019	Manaus - AM		
	07.05.2019	Manaus - AM		
	09.05.2019	Manaus - AM		

Fonte: Autoria própria (2019).

3.2.2.1 Detecção de Nuvens – Experimento 1

Para a execução dos experimentos de Detecção de Nuvens 1 (DN1), aplicaram-se os materiais descritos anteriormente, seguindo o esquema da montagem do equipamento de baixo custo apresentado na **Figura 3.19**. O equipamento foi conectado ao computador, por meio de um cabo USB, para a alimentação necessária da placa Arduino MEGA2560 e demais componentes. Ademais, com o objetivo de verificar a presença de nuvens ao longo dos testes, foi utilizada a webcam registrando o céu acima do equipamento, tal procedimento permitiu a análise da influência das nuvens no sinal do sensor.

Os dois testes experimentais foram realizados em uma área sem influência da incidência de sombras sobre o equipamento, impedindo variações indesejáveis nos resultados do teste. A **Figura 3.21** mostra as imagens dos experimentos DN1. É importante destacar que as

características principais dos testes experimentais, foram definidas por meio da análise dos registros de dados do equipamento e das imagens gravadas para cada dia de teste.

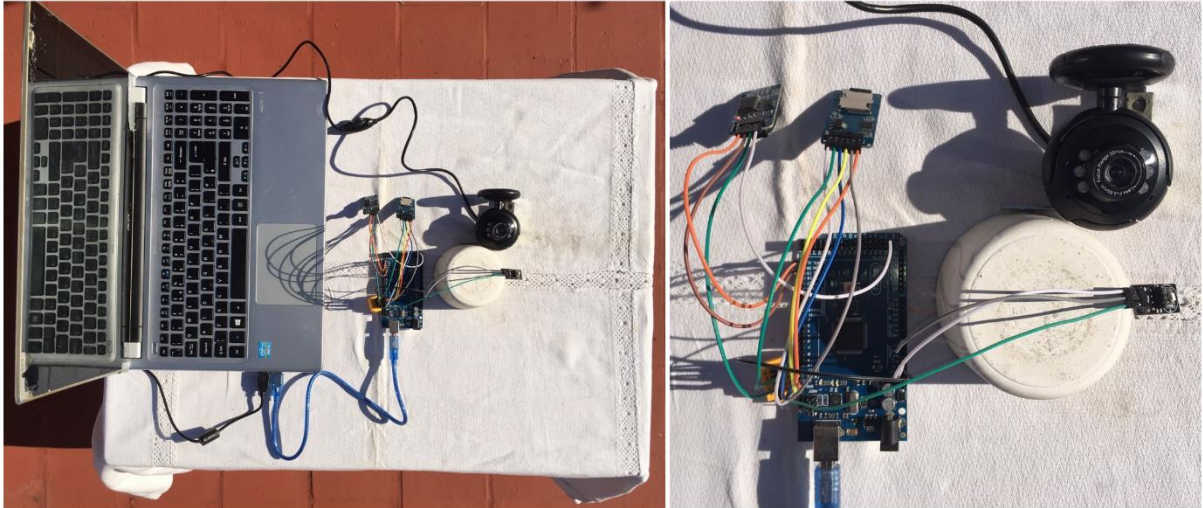


Figura 3.21: Imagens dos experimentos DN1, em Buenos Aires.
Fonte: Autoria própria (2018).

Os experimentos DN1 ocorreram nos dias 19 e 20 de maio de 2018, em Buenos Aires, Argentina ($34^{\circ}36'58.5''S$ $58^{\circ}25'33.0''W$).

O experimento do dia 19 de maio de 2018 (DN1.1) foi realizado em um dia com predomínio de céu variando de encoberto à nublado. A duração do experimento foi de 05:15 horas, desde o amanhecer até a sua interrupção por motivos de possibilidades de chuva.

Para o experimento do dia 20 de maio de 2018 (DN1.2), houve predomínio de céu claro com poucas nuvens e após às 14:10 horas tornou-se parcialmente nublado. O experimento perdurou por 11:09 horas desde o pôr do sol até o anoitecer. As características principais de cada teste, estão resumidas na **Tabela 3.7**.

Tabela 3.7: Características dos experimentos de detecção de nuvens 1 (DN1).

Experimentos de Detecção de Nuvens 1 (DN1)		
	DN1.1	DN1.2
<i>Data</i>	19/05/2018	20/05/2018
<i>Localização</i>	Buenos Aires	Buenos Aires
<i>Lat/Lon</i>	34°36'58.5"S 58°25'33.0"W	
<i>Condições Atmosféricas</i>	nublado/ encoberto	poucas nuvens/parcialmente nublado
<i>Nascer do Sol</i>	07:43:00 horas	07:44:00 horas
<i>Pôr do Sol</i>	17:55:00 horas	17:55:00 horas
<i>Início</i>	07:21:00 horas	07:25:00 horas
<i>Fim</i>	12:36:30 horas	18:34:25 horas
<i>Duração</i>	05:15:30 horas	11:09:30 horas

Fonte: Autoria própria (2019).

3.2.2.2 Detecção de Nuvens - Experimento 2

Considerando o objetivo deste trabalho, em desenvolver um equipamento de baixo custo para detecção de nuvens que possa ser aplicado para auxiliar na previsão da geração de energia solar fotovoltaico, fez-se necessário investigar o comportamento das medidas do equipamento em conjunto com o painel solar fotovoltaico de 2W, descrito anteriormente na seção de materiais (ver 3.1.9).

Para os experimentos de Detecção de Nuvens 2 (DN2) foi utilizada a mesma estrutura de montagem dos testes DN1, porém, com o equipamento e os componentes soldados a PCI (ver seção 3.2.1) e inserção do painel solar fotovoltaico. O painel foi conectado junto a placa Arduino MEGA2560 para efetuar as leituras das medidas da tensão de saída do painel solar.

A alimentação de energia do equipamento e da webcam foi concedida através da porta USB do notebook. O esquema de montagem do equipamento pode ser observado na **Figura 3.22**. A **Figura 3.23** mostra as imagens dos experimentos DN2 em Niterói.

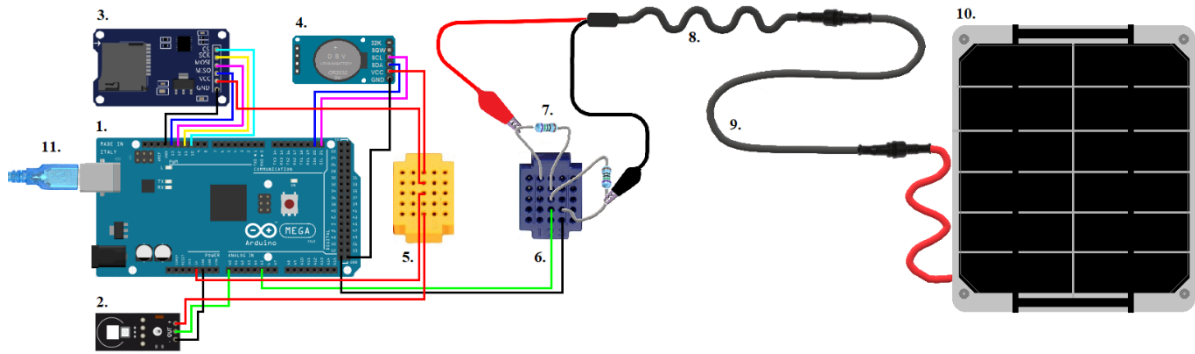


Figura 3.22: Esquema da montagem (conexões) do equipamento de detecção de nuvens para os experimentos DN2. 1. Placa Arduino MEGA2560. 2. Sensor de raio ultravioleta UVM-30A. 3. Módulo cartão de memória MicroSD card adapter. 4. Módulo relógio de tempo real RTC DS3231. 5. Micro protoboard. 6. Segunda micro protoboard. 7. Resistores. 8. Cabo de teste plug P4 fêmea/garras de jacaré. 9. Cabo adaptador CC. 10. Painel solar fotovoltaico. 11. Cabo USB para alimentação via notebook.
 Fonte: Autoria própria (2019).



Figura 3.23: Imagens dos experimentos DN2 em Niterói.
 Fonte: Autoria própria (2019).

Os experimentos DN2 ocorreram nos dias 22 e 24 de outubro de 2018, na cidade de Niterói (22°54'17.5"S 43°07'54.6"W), Brasil.

As condições atmosféricas para o dia 22 de outubro de 2018 (DN2.1) tiveram predomínio de céu claro variando a poucas nuvens. O experimento perdurou por 09:48 horas, com início na manhã e conclusão ao anoitecer.

No dia 24 de outubro de 2018 (DN2.2) houve predomínio de céu nublado a encoberto, com duração total de 10:17 horas. As características principais de cada teste, estão resumidas na **Tabela 3.8**.

Tabela 3.8: Características dos experimentos de detecção de nuvens 2 (DN2).

Experimentos de Detecção de Nuvens 2 (DN2)		
	DN2.1	DN2.2
<i>Data</i>	22/10/2018	24/10/2018
<i>Localização</i>	Niterói-RJ	Niterói-RJ
<i>Lat/Lon</i>	22°54'17.5"S 43°07'54.6"W	
<i>Condições Atmosféricas</i>	claro/poucas nuvens	nublado/encoberto
<i>Nascer do Sol</i>	05:13:00 horas	05:11:00 horas
<i>Pôr do Sol</i>	18:00:00 horas	18:01:00 horas
<i>Início</i>	08:10:02 horas	07:35:00 horas
<i>Fim</i>	17:59:00 horas	16:07:34 horas
<i>Duração</i>	09:48:58 horas	10:17:00 horas

Fonte: Autoria própria (2019).

3.2.2.3 Detecção de Nuvens – Experimento 3

Após os experimentos DN2, surgiu a necessidade de avaliar o comportamento de dois sensores UV-30A atuando em conjunto com o painel solar. Dessa maneira, os experimentos de Detecção de Nuvens 3 (DN3) foram executados com intuito de verificar o desempenho de um segundo sensor UVM-30A na detecção da nebulosidade e investigar a degradação do primeiro sensor já utilizado a mais tempo. Para tal avaliação, assim como para os outros experimentos anteriores, também foi empregue a webcam como uma ferramenta de observação da nebulosidade ou sombras indesejáveis acima do equipamento de baixo custo.

O esquema de montagem para os experimentos DN3 podem ser observadas na **Figura 3.24**. A mudança na estrutura do equipamento em relação aos experimentos DN2, se deu pela adição de um segundo sensor de raios ultravioleta (UVM-30A) ao equipamento de detecção de nuvens. Assim como para os demais experimentos de detecção de nuvens citados anteriormente, o notebook foi empregue para alimentação do equipamento e da webcam. As imagens dos experimentos DN3 são mostradas na **Figura 3.25**.

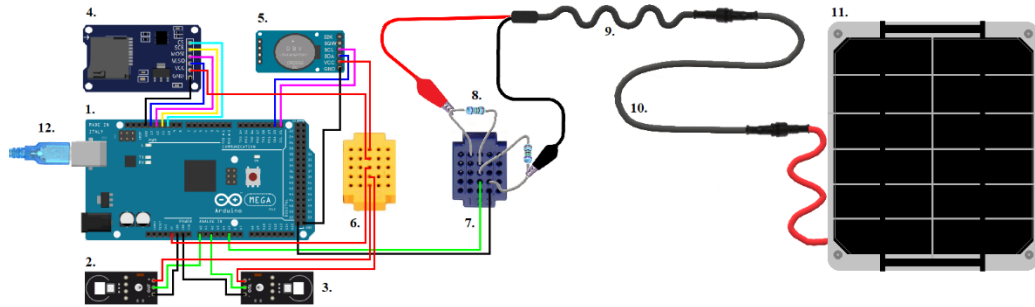


Figura 3.24: Esquema da montagem (conexões) do equipamento de detecção de nuvens para os experimentos DN3. 1. Placa Arduino MEGA2560. 2. Sensor de raio ultravioleta UVM-30A. 3. Segundo sensor de raio ultravioleta UVM-30A. 4. Módulo cartão de memória MicroSD card adapter. 5. Módulo relógio de tempo real RTC DS3231. 6. Micro protoboard. 7. Segunda micro protoboard. 8. Resistores. 9. Cabo de teste plug P4 fêmea/garras de jacaré. 10. Cabo adaptador CC. 11. Painel solar fotovoltaico. 12. Cabo USB para alimentação via notebook.

Fonte: Autoria própria (2019).



Figura 3.25: Imagens dos experimentos DN3 em Manaus (primeira e terceira imagem) e Cantá (segunda imagem).
Fonte: Autoria própria (2019).

Os experimentos DN3 ocorreram nos dias 06, 07, 15 e 16 de fevereiro em Manaus ($3^{\circ}01'24.0''S$ $59^{\circ}59'24.8''W$) e 03 de março em Cantá ($2^{\circ} 48' 2.142'' N$ $60^{\circ} 37' 59.534'' W$) no ano de 2019.

Para o experimento do dia 06 de fevereiro de 2019 (DN3.1) houve condições atmosféricas de céu parcialmente nublado a céu com poucas nuvens. A duração do experimento foi de 02:10 (interrompido devido a possibilidade de chuva).

O experimento do dia 07 de fevereiro de 2019 (DN3.2), apresentou condições atmosféricas de céu parcialmente nublado a nublado. Por motivos de chuva, o experimento perdurou por 01:31 horas.

Para o dia 15 de fevereiro de 2019 (DN3.3) o experimento iniciou após as 10:57 horas da manhã e foi interrompido às 13:21 horas devido problemas técnicos com a fonte de energia (notebook). O experimento foi retomado às 14:38 horas e finalizado às 18:20 horas, com total de durabilidade de 06:06 horas. O predomínio das condições atmosféricas era de céu parcialmente nublado variando a céu com poucas nuvens no final da tarde.

Para o quarto dia de experimentos (DN3.4), ocorrido em 16 de fevereiro de 2019, houve condições atmosféricas de céu parcialmente nublado a céu com poucas nuvens. A duração desse experimento foi de 06:23 horas.

O experimento realizado no dia 03 de março de 2019 (DN3.5), diferente dos demais que ocorreram em Manaus, foi executado em Cantá (cidade próxima a Boa Vista, Roraima) e teve duração de 12:24 horas. As condições atmosféricas predominantes foram de céu claro variando a céu com poucas nuvens. As características principais de cada teste, estão resumidas na **Tabela 3.9**.

Tabela 3.9: Características dos experimentos de detecção de nuvens 3 (DN3).

Experimentos de Detecção de Nuvens 3 (DN3)					
	DN3.1	DN3.2	DN3.3	DN3.4	DN3.5
<i>Data</i>	06/02/2019	07/02/2019	15/02/2019	16/02/2019	03/03/2019
<i>Localização</i>	Manaus-AM				Cantá-RR
<i>Lat/Lon</i>	3°01'24.0"S 59°59'24.8"W				2° 48' 2.142" N 60° 37' 59.534" W
<i>Condições Atmosféricas</i>	parcialmente nublado/poucas nuvens	parcialmente nublado/nublado	parcialmente nublado/poucas nuvens	parcialmente nublado/ poucas nuvens	claro/poucas nuvens
<i>Nascer do Sol</i>	06:07:00 horas	06:07:00 horas	06:07:00 horas	06:07:00 horas	05:15:00 horas
<i>Pôr do Sol</i>	18:20:00 horas	18:20:00 horas	18:20:00 horas	18:19:00 horas	17:58:00 horas
<i>Início</i>	07:55:00 horas	12:56:00 horas	10:57:00 horas	12:07:00 horas	06:07:00 horas
<i>Interrupção</i>	-	-	13:21:00 horas	-	-
<i>Recomeço</i>	-	-	14:38:00 horas	-	-
<i>Fim</i>	10:05:01 horas	14:27:00 horas	18:20:00 horas	18:30:50 horas	18:31:16 horas
<i>Duração</i>	02:10:01 horas	01:31:00 hora	06:06:00 horas	06:23:50 horas	12:24:16 horas

Fonte: Autoria própria (2019).

3.2.2.4 Detecção de Nuvens – Experimento 4

Estimulado pelo impasse técnico sucedido durante o experimento DN3.3 e pela preocupação em não deteriorar o notebook usado, verificou-se a necessidade de substituir a fonte de energia do equipamento de baixo custo. Dessa maneira, para os experimentos de Detecção de Nuvens 4 (DN4) foram empregues baterias de 9V como fonte de energia. Por esse motivo, não foi possível utilizar a webcam registrando o céu acima do aparelho, resultando na ausência de imagens para verificação das condições atmosféricas durante o experimento. O esquema de montagem DN4 (**Figura 3.26**) é semelhante ao DN3, a única mudança provém da substituição do notebook pela bateria de 9V no fornecimento de energia. Na **Figura 3.27** são apresentadas as imagens referentes aos experimentos DN4.

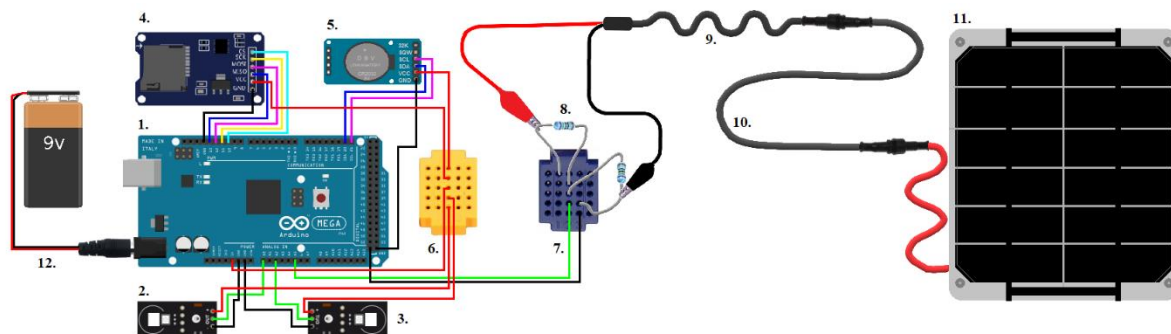


Figura 3.26: Esquema da montagem (conexões) do equipamento de detecção de nuvens para os experimentos DN4. 1. Placa Arduino MEGA2560. 2. Sensor de raio ultravioleta UVM-30A. 3. Segundo sensor de raio ultravioleta UVM-30A. 4. Módulo cartão de memória MicroSD card adapter. 5. Módulo relógio de tempo real RTC DS3231. 6. Micro protoboard. 7. Segunda micro protoboard. 8. Resistores. 9. Cabo de teste plug P4 fêmea/garras de jacaré. 10. Cabo adaptador CC. 11. Painel solar fotovoltaico. 12. Conector de bateria 9V plug P4 para alimentação.

Fonte: Autoria própria (2019).

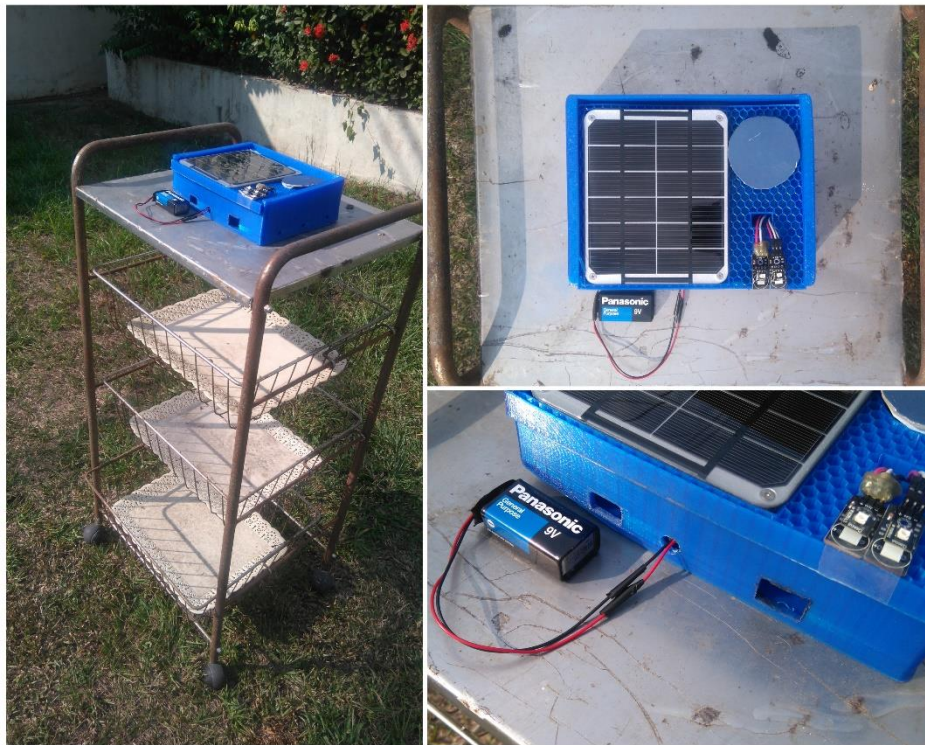


Figura 3.27: Imagens dos experimentos DN4 em Manaus.
Fonte: Autoria própria (2019).

Os experimentos DN4 foram realizados nos dias 06 e 17 de abril, 07 e 09 de maio de 2019 em Manaus ($3^{\circ}01'24.0''S$ $59^{\circ}59'24.8''W$).

O teste do dia 06 de abril de 2019 (DN4.1) teve duração de 04:28 horas (13:35 às 18:04 horas). Através dos dados fornecidos pela Estação Convencional 82331 Manaus-AM, INMET, a nebulosidade para esse dia nos horários de 08 e 14 horas (GMT-4) era de 10 a 8 décimos. Os dados de nebulosidade do INMET são dados em décimos e possuem registros às 08, 14 e 20 horas (GMT-4).

No dia 17 de abril de 2019 (DN4.2) o experimento iniciou às 10:08 horas e foi finalizado às 11:55 horas por motivos de chuva (duração de 01:46 horas). Os dados de nebulosidade da estação convencional de Manaus do INMET, registraram 10 e 9 décimos às 08 e 14 horas (GMT-4), respectivamente.

O experimento do dia 07 de maio de 2019 (DN4.3) apresentou 9 décimos de nebulosidade para os horários de 08 e 14 horas (GMT-4). O teste teve duração de 05:30 horas, com início às 09:50 horas e fim 15:20 horas.

No dia 09 de maio de 2019 (DN4.4) teve duração de 05:10 horas (09:50 às 15:00 horas). A nebulosidade, segundo os dados da estação convencional de Manaus do INMET, registrou 4 e 5 décimos para os horários de 08 e 14 horas (GMT-4), respectivamente. As características principais de cada teste, estão resumidas na **Tabela 3.10**.

Tabela 3.10: Características dos experimentos de detecção de nuvens 4 (DN4).

Experimentos de Detecção de Nuvens 4 (DN4)				
	DN4.1	DN4.2	DN4.3	DN4.4
<i>Data</i>	06/04/2019	17/04/2019	07/05/2019	09/05/2019
<i>Localização</i>	Manaus-AM			
<i>Lat/Lon</i>	3°01'24.0"S 59°59'24.8"W			
<i>Condições Atmosféricas</i>	-	-	-	-
<i>Nascer do Sol</i>	06:00:00 horas	05:58:00 horas	05:56:00 horas	05:56:00 horas
<i>Pôr do Sol</i>	18:04:00 horas	18:00:00 horas	17:56:00 horas	17:56:00 horas
<i>Início</i>	13:35:01 horas	10:08:02 horas	09:50:00 horas	09:50:00 horas
<i>Fim</i>	18:04:00 horas	11:55:01 horas	15:20:00 horas	15:00:00 horas
<i>Duração</i>	04:28:59 horas	01:46:59 horas	05:30:00 horas	05:10:00 horas

Fonte: Autoria própria (2019).

3.2.3 Tratamentos dos Dados e Elaboração dos Resultados

Concluídos os experimentos, iniciou-se então o processo de tratamento dos dados que foram registrados a cada 3 segundos. Para os dados dos sensores de raios ultravioleta (sensor UV1 e sensor UV2) e do painel solar fotovoltaico, o primeiro passo do tratamento foi realizar a conversão do valor analógico para o valor digital em volts. Como dito anteriormente, o conversor analógico/digital da placa Arduino MEGA2560 mapeia as tensões de entrada de 0 a 5V (tensão de operação da placa), resultando na seguinte resolução: $valor\ real\ (V) = x * 5V/1024$, onde x é o valor medido pelo sensor de raios ultravioleta (UVM-30A).

Com intuito de permitir a leitura da tensão de saída do painel solar fotovoltaico (0 a 7V) pela placa Arduino MEGA2560 (0 a 5V), foi empregue um circuito para dividir a tensão pela metade. Por conseguinte, além da conversão analógico/digital, os dados do painel solar também foram multiplicados por 2 para se obter o valor real ($valor\ real\ (V) = (x * 5V/1024) * 2$).

Posteriormente, com objetivo de suavizar as séries de dados, foi calculada a Média Móvel Simples (MMS) de 10 tempos das medidas dos sensores UV e do painel solar fotovoltaico. De acordo com Morettin e Toloí (2005), a MMS pode ser definida pelo cálculo da média aritmética de n dados variando ao longo do tempo, onde a cada período a observação mais antiga é substituída pela mais recente. O grau de suavidade dos dados será determinado

pelo número de observações empregadas no cálculo, conseqüentemente, neste trabalho, optou-se pelo uso da MMS de 10 tempos ($n = 10$). Seja a variável $x = x_1, \dots, x_n$ uma amostra contendo n dados, a média móvel simples pode ser escrita como:

$$MMS = \frac{x_t + x_{t-1} + \dots + x_{t-n}}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

Em seguida, a partir da MMS, foi calculado o valor de delta ($\Delta = MMS_f - MMS_i$) para cada série de dados. Tal procedimento permitiu ponderar as variações nas medidas dos sensores UV e do painel solar fotovoltaico. Valores positivos de delta representam períodos de oscilação de menor para maior geração de energia solar (painel solar) e radiação solar ultravioleta (sensores UV). Para valores negativos de delta, o comportamento inverso é observado, há mudança de maior para menor geração de energia solar e radiação solar ultravioleta. Valores próximos a 0 não representam significativas mudanças nas variáveis.

Posteriormente, foram selecionados de delta painel solar fotovoltaico os valores maiores ou iguais a 0,1V ($\Delta_{ps} \geq 0,1V$) e os valores concomitantes de delta sensor UV1 ($\Delta_{uv1\Delta_{ps} \geq 0,1V}$) e delta sensor UV2 ($\Delta_{uv2\Delta_{ps} \geq 0,1V}$). Dessa maneira, foi possível analisar se o aumento da geração de energia solar fotovoltaica estava acompanhado pelo aumento da radiação solar ultravioleta.

Por fim, para que fosse possível investigar se a redução da geração de energia solar fotovoltaica estava acompanhada pela diminuição dos valores de radiação ultravioleta registrados pelos sensores UV, foram selecionados de delta painel solar fotovoltaico, os valores menores ou iguais a -0,1V ($\Delta_{ps} \leq -0,1V$) e os valores simultâneos de delta sensor UV1 ($\Delta_{uv1\Delta_{ps} \leq -0,1V}$) e delta sensor UV2 ($\Delta_{uv2\Delta_{ps} \leq -0,1V}$).

A realização de todos procedimentos citados acima permitiu a elaboração dos resultados deste trabalho e a sua análise. A primeira avaliação foi realizada individualmente para cada experimento de detecção de nuvem. Nessa análise, foram produzidos gráficos de linhas a partir da MMS dos dados do sensor UV1, sensor UV2 e painel solar. E, adicionalmente, é apresentada uma tabela geral com a estatística descritiva das variáveis para cada experimento.

A segunda avaliação que compõe os resultados dessa pesquisa, objetiva investigar de maneira geral (para todos os experimentos onde o painel solar foi utilizado) o grau de associação entre os sensores UV e o painel solar. Para essa análise, foram gerados os seguintes gráficos de dispersão a partir dos registros do sensor UV1, sensor UV2 e painel solar: normais; MMS; delta; delta painel solar maior ou igual a 0,1V e delta painel solar menor ou igual -0,1V.

Essa análise foi realizada para todos os experimentos em conjunto, com exceção do experimento DN3.3 que teve duração considerada apenas de 10:57 às 13:21 horas, em virtude da interrupção por problemas técnicos, assim como, o experimento DN3.5, que foi excluído por apresentar ruídos na medição do painel solar fotovoltaico. Para essa mesma análise, objetivando investigar o comportamento das variáveis ao longo do dia, foram avaliados quatro recortes de horários: todas as horas de atuação do equipamento, recorte de 09:30 às 15:00 horas, recorte de 11:00 às 13:00 horas e recorte desconsiderando os horários entre 11:00 às 13:00 horas. Adicionalmente, observando os resultados produzidos, fez-se necessário investigar a relação entre as variáveis levando em consideração também as duas fontes de alimentação da placa que foram empregues durante os experimentos. Portanto, é também apresentada como resultado dessa pesquisa, uma análise da relação entre as variáveis para os experimentos realizados com a alimentação da placa Arduino: via porta USB do notebook e via bateria de 9V. Informações de estatística descritiva das variáveis, para a avaliação geral dos experimentos, também são apresentadas de maneira complementar para melhor compreensão dos resultados.

Os parâmetros da estatística descritiva que foram empregados para avaliar com maior clareza os resultados obtidos, foram: número de observações (n), média, desvio padrão, valor mínimo, valor máximo e coeficiente de correlação de Pearson.

Coeficiente de Correlação de Pearson

O coeficiente de correlação de Pearson é uma ferramenta que possibilita analisar e medir a relação linear entre variáveis quantitativas (CRESPO, 2009). Seja a variável $x = x_1, \dots, x_n$ e $y = y_1, \dots, y_n$ uma amostra contendo n dados, o coeficiente de correlação de Pearson pode ser escrito como:

$$r = \frac{n \sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)}{\sqrt{[n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2][n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2]}} \quad (2)$$

, onde r pode assumir valores entre -1 a 1.

Quando:

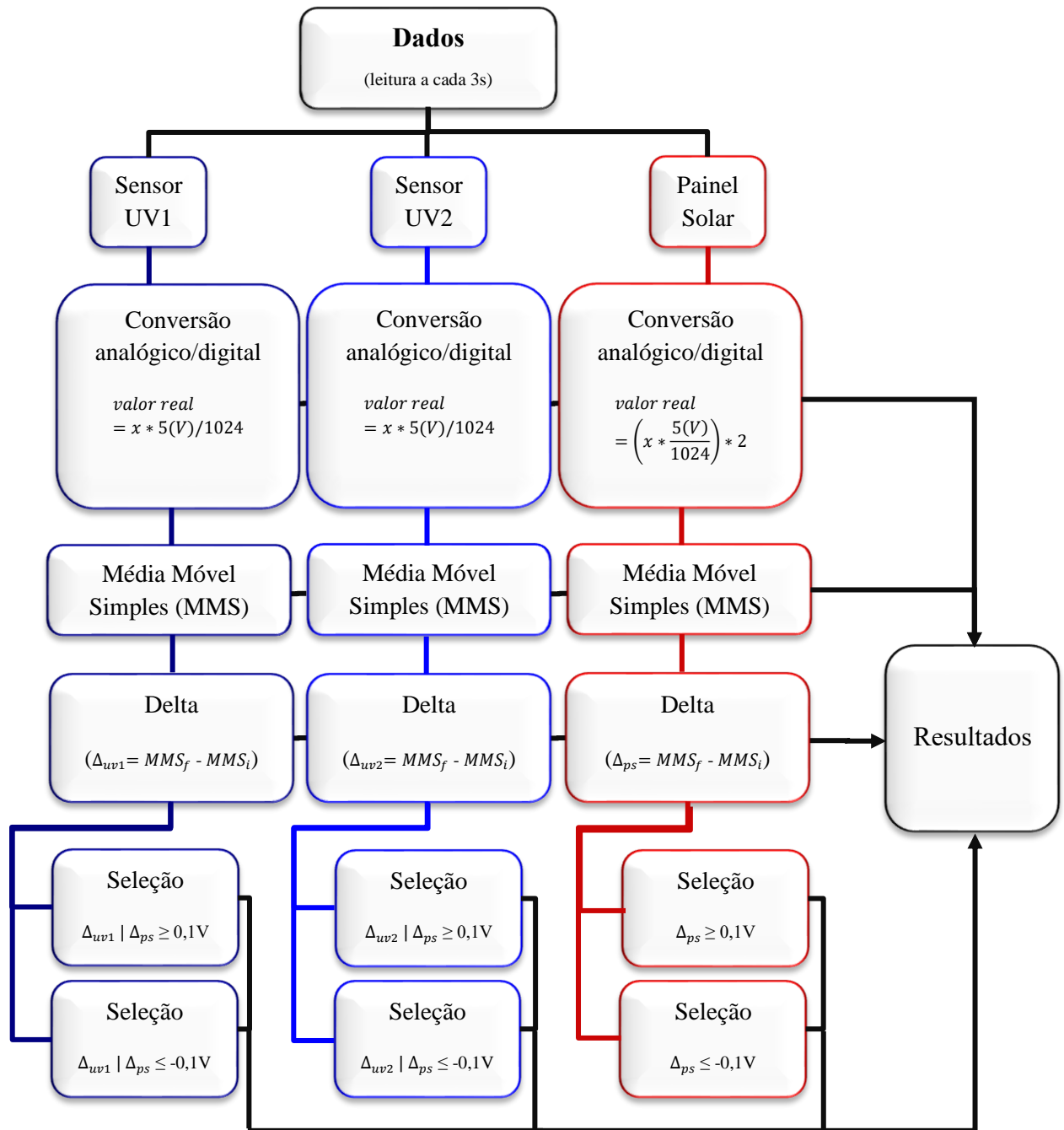
$r = 1$, a correlação entre as variáveis é dita perfeita e positiva.

$r = -1$, a correlação entre as variáveis é dita perfeita e negativa.

$r = 0$, não há correlação entre as duas variáveis.

Para auxiliar na interpretação da magnitude dos coeficientes, neste trabalho, a correlação ($|r|$) entre as variáveis é considerada inexistente para valores abaixo de 0,10, fraca de 0,10 até 0,30, moderada de 0,40 até 0,60 e forte de 0,70 até 1.

O seguinte fluxograma representa o processo de tratamento dos dados e elaboração dos resultados:



CAPÍTULO 4

RESULTADOS

Nesta seção, são apresentadas analiticamente cada experimento de detecção de nuvens utilizando os gráficos dos dados medidos por meio do equipamento de baixo custo e do painel solar fotovoltaico, assim como, imagens gravadas através da webcam (com exceção dos experimentos DN4). Adicionalmente, é mostrada uma avaliação da relação entre as variáveis estudadas para diferentes situações. Essas análises constituem os resultados deste trabalho e tem como principais objetivos verificar se o equipamento de baixo custo desenvolvido é capaz de detectar a presença das nuvens e se essas medidas podem estar associadas com o aumento ou diminuição da geração de energia solar fotovoltaica. Dessa maneira, o equipamento de baixo custo poderá auxiliar na detecção de nebulosidade e consequentemente, contribuir nas estimativas a curto prazo de geração da energia solar fotovoltaica.

4.1 AVALIAÇÃO INDIVIDUAL DOS EXPERIMENTOS DE DETECÇÃO DE NUVENS

A seguir, é apresentada uma avaliação individual para cada experimento de detecção de nuvens (DN1, DN2, DN3 e DN4) composta por gráficos elaborados a partir dos dados do equipamento de baixo custo e do painel solar fotovoltaico, bem como, imagens registradas via webcam. De modo complementar, para compreender os dados e avaliar a associação entre as variáveis, é apresentada a tabela com a estatística descritiva e coeficiente de correlação de Pearson, para cada dia de experimento.

4.1.1 Detecção de Nuvens 1

Os experimentos de detecção de nuvens 1 foram realizados nos dias 19 (DN1.1) e 20 (DN1.2) de maio de 2018. Como citado anteriormente, para os experimentos DN1 foram empregues o equipamento de detecção de nuvens de baixo custo, a webcam e um notebook como fonte de alimentação. Mais detalhes sobre DN1 podem ser observados na **Tabela 3.7** (ver seção 3.2.2.1).

Para DN1.1, o experimento durou um pouco mais de cinco horas em consequência da a possibilidade de chuva que ocasionou a sua interrupção. O nascer do sol foi registrado às 07:43

horas e o pôr do sol às 17:55 horas, enquanto as condições predominantes do céu variaram de encoberto a nublado.

Na **Figura 4.1** são apresentados os dados medidos por meio do equipamento de baixo custo, desde às 07:33 até 12:36 horas, para o experimento DN1.1. Nele, é possível observar a tensão em volts (V) oscilando de 0 a 0,37V por influência da radiação solar e pela presença das nuvens.

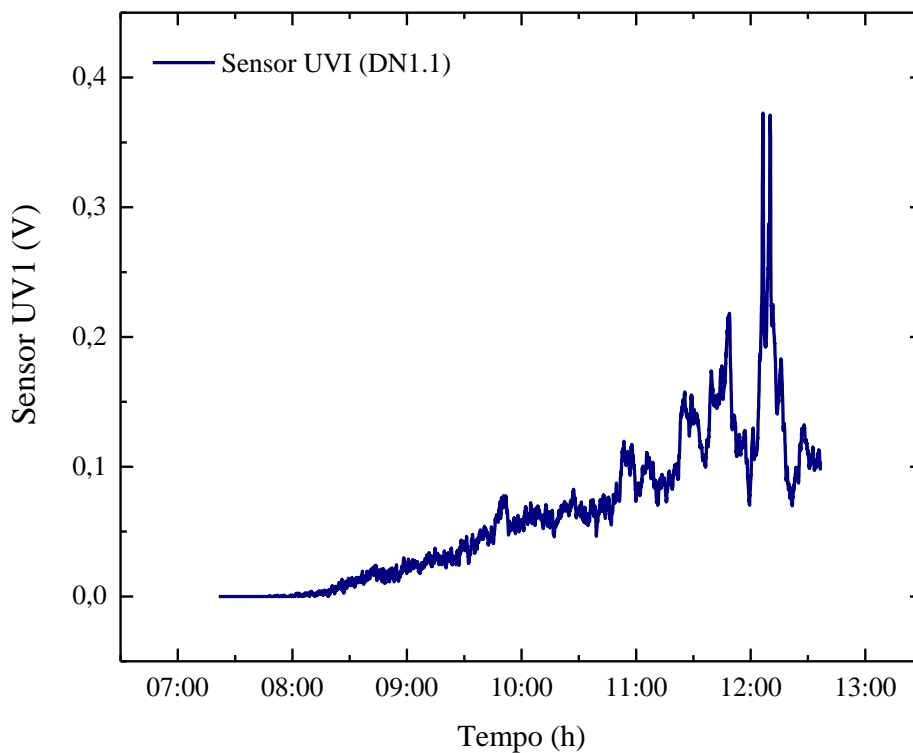


Figura 4.1: Dados medidos pelo equipamento de detecção de nuvens de baixo custo (sensor UVI) durante o experimento DN1.1.

Fonte: Autoria própria (2019).

A **Figura 4.2** mostra as imagens registradas através da webcam para os momentos mais expressivos durante DN1.1. Nela, os períodos de céu predominantemente encoberto (**Figura 4.2a**), parcialmente nublado (**Figura 4.2b**) e nublado (**Figura 4.2c**) são identificados e expostos.

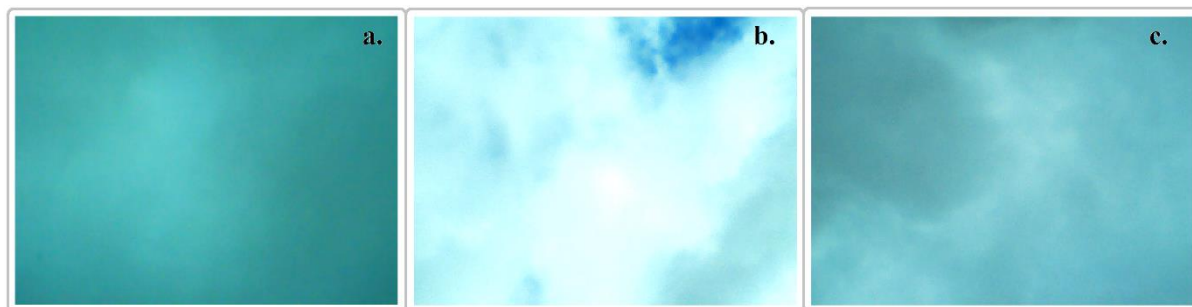


Figura 4.2: Imagens registradas durante DN1.1 para o céu (a) encoberto (09:00 horas), (b) parcialmente nublado (12:10) e (c) nublado (12:20 horas).

Fonte: A autoria própria (2019).

Realizando uma análise subjetiva do **Figura 4.1** em conjunto com a **Figura 4.2**, é possível notar que para períodos em que o céu está encoberto por nuvens (**Figura 4.2a**), os valores de tensão observados (**Figura 4.1**) são mínimos. Este resultado é semelhante à conclusão inferida por Jewell (1994), onde a saída dos sistemas fotovoltaicos para dias nublados sofre uma forte diminuição, chegando próxima a zero. Períodos de parcialmente nublado, como sugerido por Jewell (1994) e Soares (2014), são responsáveis pela maior oscilação da saída do sistema fotovoltaico. Esses períodos relevantes (picos) na oscilação da tensão também podem ser observados entre o horário de 12:00 a 12:15 (**Figura 4.1**), coincidindo com a transição da condição predominante do céu nublado a parcialmente nublado, registradas pelas imagens da webcam (**Figura 4.2b**). Do mesmo modo, a redução da tensão após os picos pode ser verificada através da **Figura 4.2c**, em que a predominância do céu variou de parcialmente nublado a nublado.

Portanto, as observações mais relevantes do experimento DN1.1 mostram resultados positivos para o uso do equipamento, pois este foi capaz de detectar, de maneira adequada, a variação da radiação solar para um dia com céu predominantemente nublado.

O experimento DN1.2 foi realizado em condições de céu predominantemente claro com poucas nuvens e parcialmente nublado. A duração foi de aproximadamente 10 horas e 31 minutos, desde o amanhecer até o anoitecer. O nascer do sol foi registrado às 07:44 horas e o pôr do sol às 17:55 horas.

Na **Figura 4.3** são apresentadas as medidas do equipamento de baixo custo, desde às 07:34 até 18:05 horas, para o experimento DN1.2. Verifica-se através da imagem que a tensão oscila entre 0 a 0,54V em consequência da variação da cobertura de nuvens e da radiação solar que atinge a superfície.

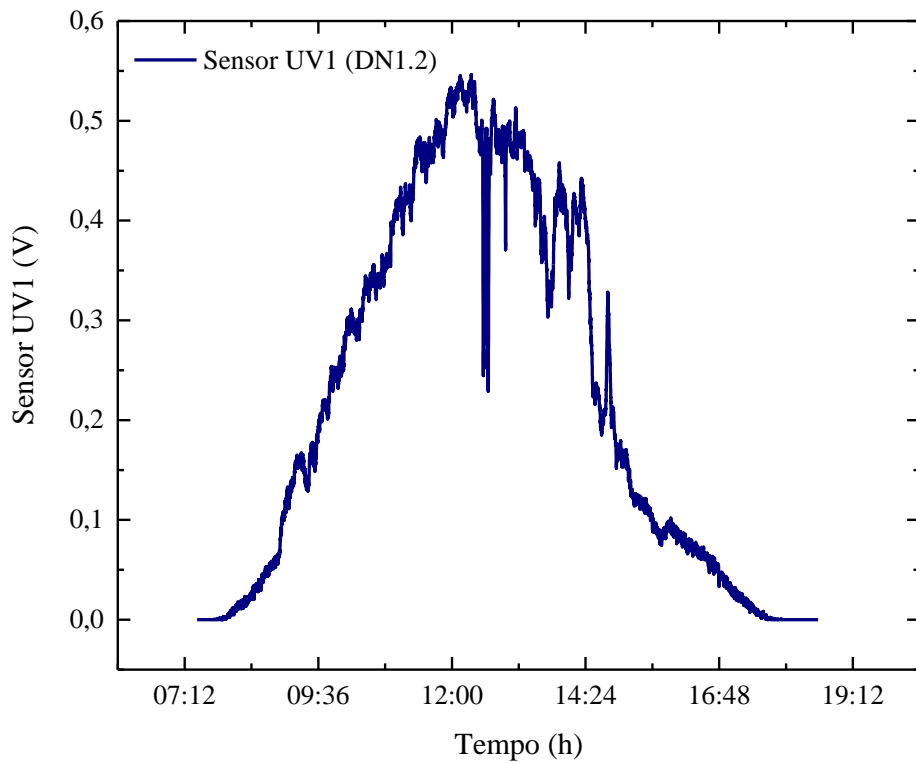


Figura 4.3: Dados medidos pelo equipamento de detecção de nuvens de baixo custo (sensor UV1) durante o experimento DN1.2.
 Fonte: Autoria própria (2019).

Períodos de maior relevância ao longo do experimento DN1.2 são mostrados na **Figura 4.4**. Ela é composta por imagens registradas através da webcam e revela condições de céu predominantemente claro com poucas nuvens (**Figura 4.4a**) e parcialmente nublado (**Figura 4.4c**). A **Figura 4.4b** é apresentada para demonstrar as alterações na tensão do equipamento em casos onde há presença de pássaros sobrevoando o céu (sombras indesejáveis) no momento da medição. É importante destacar que ao longo dos experimentos DN1 foram identificadas algumas sombras indesejáveis, alterando as medidas de tensão do equipamento de baixo custo.

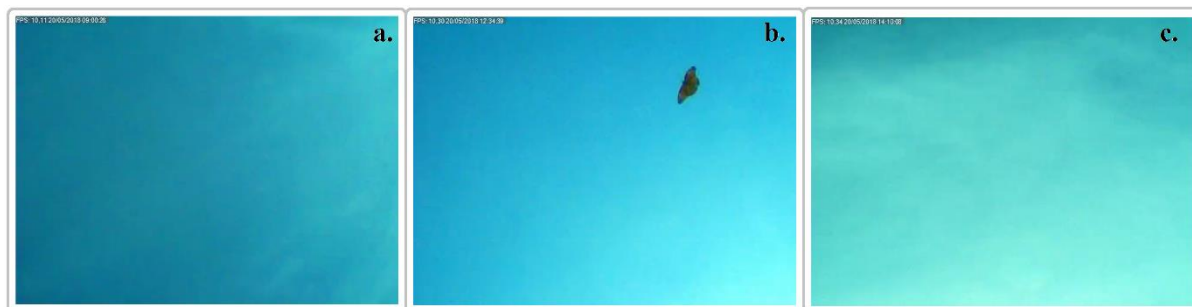


Figura 4.4: Imagens registradas durante DN1.2 para o céu (a) claro com poucas nuvens (09:00 horas), (b) claro com poucas nuvens e presença de pássaro (12:34) e (c) parcialmente nublado (14:10 horas).
Fonte: A autoria própria (2019).

Realizando uma análise subjetiva da **Figura 4.3** em conjunto com a **Figura 4.4**, é possível notar que para períodos em que o céu está claro com poucas nuvens (**Figura 4.4a**), os valores da tensão (**Figura 4.3**) são crescentes, semelhante ao gráfico da saída dos sistemas fotovoltaicos para um dia claro, mostrado anteriormente na **Figura 2.10a** (seção 2.5.4). Decaimentos significativos na tensão do equipamento são observados na **Figura 4.3** para os seguintes horários, 12:34, 12:38 e 12:57. Através das imagens gravadas pela webcam, verificou-se que tais decaimentos foram produzidos pelo surgimento de sombras indesejáveis, como por exemplo, o voo de um pássaro sobre o equipamento registrado na **Figura 4.4b**. Na **Figura 4.4c** é possível observar, por volta das 14:10 horas, a transição de céu claro com poucas nuvens para parcialmente nublado. Este resultado também pode ser observado na **Figura 4.3** (para o mesmo horário), em que a tensão medida pelo equipamento sofre relevantes oscilações, identificando a chegada das nuvens. Estas variações são coerentes com as observações de Jewell (1994) e Soares (2014), em que a condição de parcialmente nublado ocasiona a oscilação da radiação solar em superfície.

Desse modo, semelhante ao observado para o DN1.1, o equipamento de baixo custo foi capaz de detectar de maneira apropriada as variações de nebulosidade e da radiação solar incidente durante DN1.2.

Para evidenciar a influência das nuvens nas medidas do equipamento de baixo custo, é apresentada a **Figura 4.5** com os horários concomitantes de DN1.1 e DN1.2 (de 07:33 a 12:36 horas). Este gráfico mostra os valores da tensão do sensor UV1 para um dia de céu majoritariamente encoberto/nublado (DN1.1) e para um dia de céu claro com poucas nuvens/parcialmente nublado (DN1.2) e a diferença entre eles (DN1.2 – DN1.1).

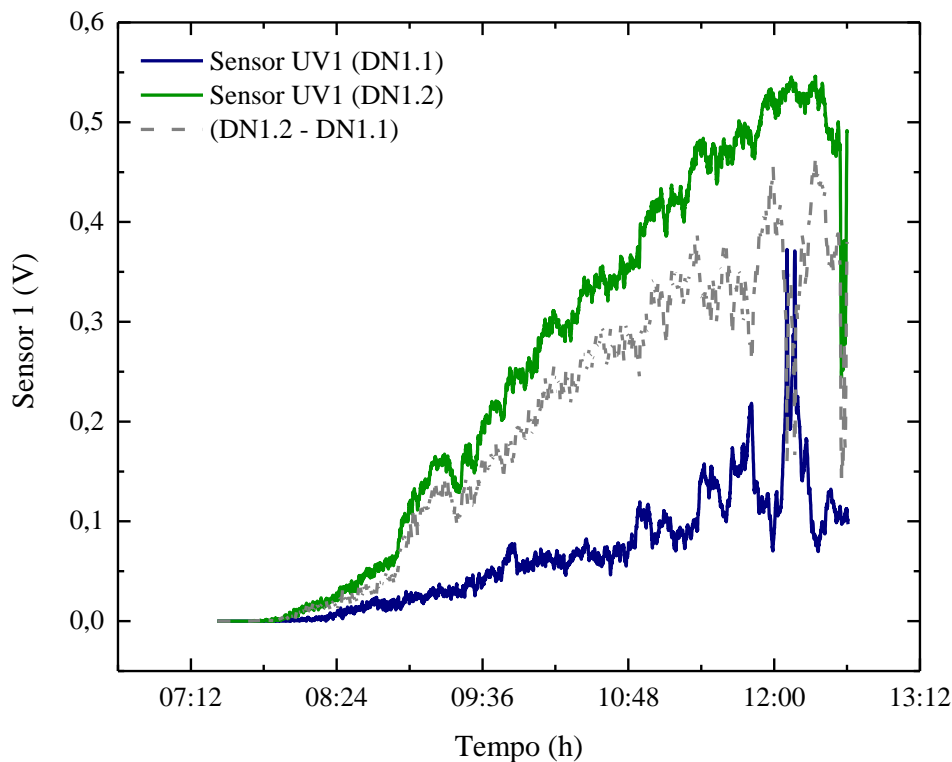


Figura 4.5: Dados medidos pelo equipamento de detecção de nuvens de baixo custo para horários concomitantes de DN1.1 (linha azul), DN1.2 (linha verde) e a diferença (DN1.2 – DN1.1) entre eles (linha tracejada cinza).
 Fonte: Autoria própria (2019).

Através da **Figura 4.5** pode-se observar que a tensão para os dois experimentos oscilou entre valores de 0 a 0,54V. Desde o amanhecer até o meio dia foram verificados valores menores para DN1.1 quando comparados a DN1.2. Analisando a diferença entre os dois experimentos (linha tracejada cinza), com valores entre 0,15 a 0,46V, é possível concluir que dias com céu predominantemente encoberto/nublado podem causar diferença de tensão de até 0,46V no equipamento de baixo custo. Caso os resultados das medidas do equipamento estiverem bem correlacionados com os painéis solares, tal característica deve impactar negativamente na produção de energia solar fotovoltaica, tornando necessária a utilização de baterias a fim de reservar energia para seu funcionamento e/ou a compra de energia das concessionárias elétricas.

4.1.2 Detecção de Nuvens 2

Os experimentos de detecção de nuvens 2 ocorreram nos dias 22 (DN2.1) e 24 (DN2.2) de outubro de 2018. Durante os experimentos DN2, além do equipamento de detecção de nuvens de baixo custo, webcam e notebook, também foi utilizado um painel solar fotovoltaico para avaliar a relação entre as duas variáveis estudadas. As especificações sobre os experimentos DN2 podem ser observadas na **Tabela 3.8** (ver seção 3.2.2.2).

Para DN2.1, o experimento teve duração de 09:48 horas, com o nascer do sol registrado às 05:13 horas e pôr do sol às 18:00 horas. As condições atmosféricas variaram de céu claro a céu com poucas nuvens.

Na **Figura 4.6** são apresentados os dados medidos por meio do equipamento de detecção de nuvens e painel solar fotovoltaico, desde às 08:10 até 17:59 horas, para o experimento DN2.1. Observar-se que a tensão em volts (V) oscila ao longo do dia com valores de 0 a 1,01V (sensor UV1) e 1,36 a 6,66V (painel solar).

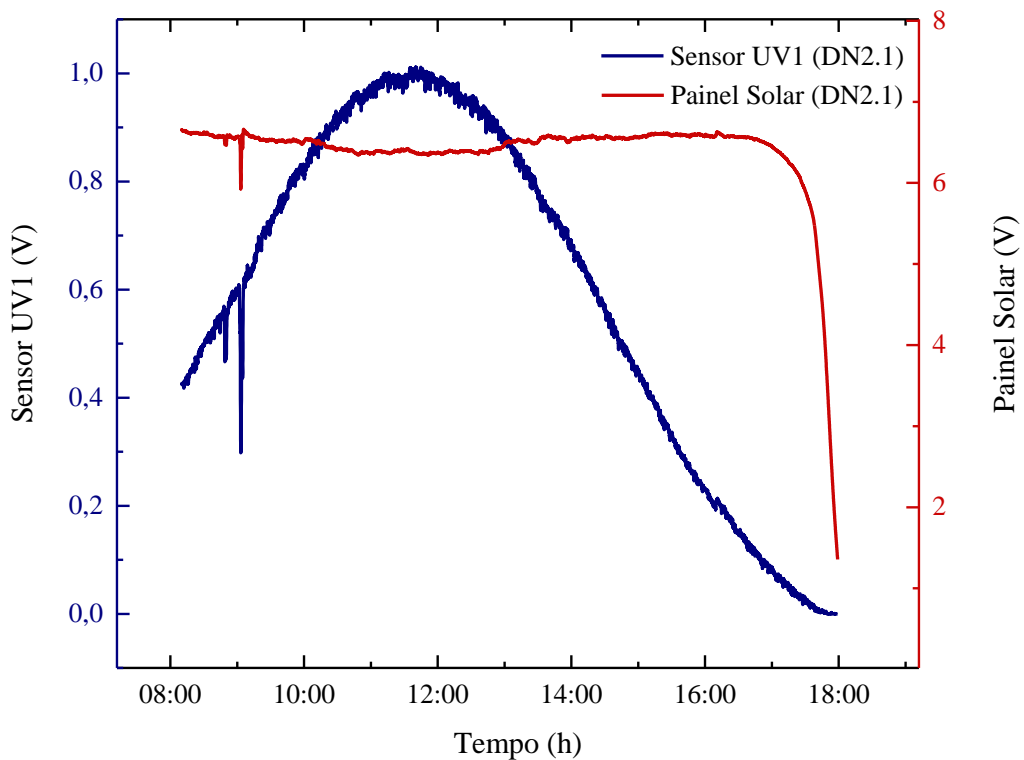


Figura 4.6: Dados medidos pelo equipamento de detecção de nuvens de baixo custo (sensor UV1) durante o experimento DN2.1.
 Fonte: Autoria própria (2019).

A **Figura 4.7** é constituída por períodos significantes durante o experimento DN2.1. A **Figura 4.7a**, evidencia as condições de céu claro e mostra o instante exato do sobrevoo de dois pássaros durante o experimento, enquanto a **Figura 4.7b** mostra a presença de céu claro com sombras indesejáveis (canto superior direito). Por último, a **Figura 4.7c** revela o período onde o céu estava sem influência de nuvens e de sombras indesejáveis.

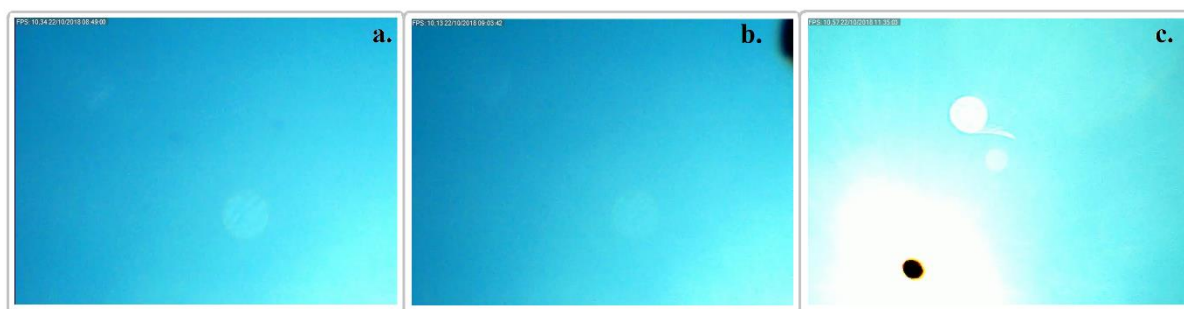


Figura 4.7: Imagens registradas durante DN2.1 para o céu (a) claro com a presença de sombra indesejáveis (08:49 horas), (b) claro com presença de sombras indesejáveis (09:03 horas) e (c) claro (11:35 horas).
Fonte: Autoria própria (2019).

Conforme a análise realizada para os experimentos DN1, com a composição da **Figura 4.6** e **Figura 4.7**, é possível averiguar se as variações na tensão do equipamento de detecção de nuvens e do painel solar, estão de acordo com as imagens registradas por meio da webcam. Para o primeiro momento em que ocorre a diminuição na tensão do equipamento e do painel solar (**Figura 4.6**), apesar da baixa resolução da imagem, é observada a presença de dois pássaros sobrevoando o céu claro às 08:49 horas (**Figura 4.7a**). No instante onde ocorre a segunda redução na tensão às 09:03 horas (**Figura 4.6**), é notada a presença de sombras indesejáveis para o mesmo horário (**Figura 4.7b**, canto superior direito). Observar-se ainda, na **Figura 4.6**, que os valores máximos registrados pelo equipamento (linha azul) para os horários de 10:18 às 12:45 horas, não foram acompanhados pelos máximos valores registrado pelo painel solar fotovoltaico (linha vermelha). A **Figura 4.7c** evidencia que durante o momento onde a tensão do equipamento atinge seu máximo valor (às 11:35 horas), as condições atmosféricas eram de céu claro. Tais características podem ser explicadas devido à alta temperatura de operação produzida nesse interim, de acordo com Dubey, Sarvaiya e Seshadri (2013), o desempenho das células solares diminui com o aumento da temperatura, devido a temperatura afetar a eficiência elétrica e por conseguinte, a potência do módulo fotovoltaico.

Dessa forma, através das imagens apresentadas, verifica-se a aplicabilidade do equipamento de baixo custo em realizar a detecção de nebulosidade para um dia com predomínio de céu claro a céu com poucas nuvens. Assim como, pode-se afirmar que a relação entre a tensão do sensor UV1 e a tensão de saída do painel solar durante o experimento DN2.1 é fraca e positiva ($r = 0,30$, **Tabela 4.1**).

Para DN2.2, o experimento perdurou por 10:17 horas, desde 07:35 até 16:07 horas, momento em que começou a chover. O nascer do sol foi registrado às 05:11 horas e o pôr do sol às 18:01 horas, enquanto as condições atmosféricas variaram de céu nublado a encoberto.

Na **Figura 4.8** são apresentados os dados medidos através do equipamento de detecção de nuvens e do painel solar, desde às 07:35 até 16:07 horas, para o experimento DN2.2. Nele, é possível observar a tensão em volts (V) com valores de 0,01 a 1,06V (sensor UV1) e 5,37 a 6,88V (painel solar).

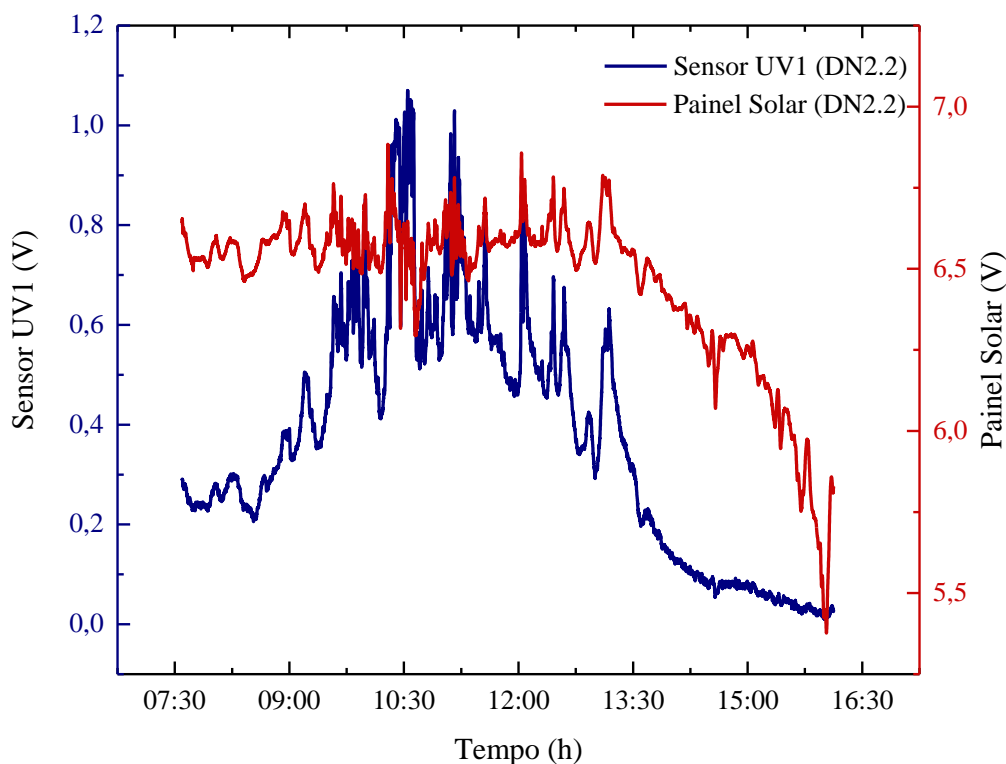


Figura 4.8: Dados medidos pelo equipamento de detecção de nuvens de baixo custo (sensor UV1) durante o experimento DN2.2.

Fonte: Autoria própria (2019).

A **Figura 4.9** é composta por três instantes onde é possível observar variações relevantes na tensão do equipamento de detecção de nuvens e no painel solar fotovoltaico. A **Figura 4.9a** destaca o momento onde o céu estava predominantemente nublado (08:35 horas), enquanto a **Figura 4.9b** mostra as condições atmosféricas de céu com poucas nuvens às 10:21 horas. Por último, a imagem das 10:38:35 horas (**Figura 4.9c**) evidencia a predominância de céu nublado neste momento do experimento DN2.2.



Figura 4.9: Imagens registradas durante DN2.2 para o céu (a) nublado (08:35 horas), (b) com poucas nuvens (10:21 horas) e (c) nublado (10:38 horas).
Fonte: Autoria própria (2019).

Analisando a **Figura 4.8** em composição com a **Figura 4.9**, podemos observar momentos em que as oscilações nas medidas do equipamento de baixo custo e do painel solar fotovoltaico são ocasionadas por variações nas condições atmosféricas atuantes.

Observando o instante onde o céu estava nublado (**Figura 4.9a**) verifica-se uma diminuição tanto na voltagem do sensor UV1, quanto nas medidas do painel solar às 08:35 horas (**Figura 4.8**). O mesmo ocorre para o segundo momento, **Figura 4.9b**, quando o céu estava predominantemente com poucas nuvens, sendo possível observar a presença do sol através da imagem registrada por meio da webcam. As medidas do painel solar e do equipamento detectaram de maneira adequada tais características, revelando um pico positivo nas medidas das variáveis observadas às 10:21 horas (**Figura 4.8**). Por fim, a **Figura 4.9c** exhibe o instante seguinte onde o céu estava predominantemente nublado, às 10:38 horas. Tal condição pode ser verificada também através das medidas do equipamento e do painel solar, que mostram uma diminuição na voltagem para este horário (**Figura 4.8**).

Assim como para o experimento anterior, as medidas do equipamento de baixo custo representaram de maneira eficiente as condições atmosféricas mostradas através dos registros da webcam para DN2.2. Ademais, pode-se afirmar que a relação entre a tensão do sensor UV1 e a tensão de saída do painel solar durante o experimento DN2.2 é positiva e forte ($r = 0,71$, **Tabela 4.1**).

4.1.3 Detecção de Nuvens 3

Os experimentos de detecção de nuvens 3 foram realizados nos dias 06 (DN3.1), 07 (DN3.2), 15 (DN3.3) e 16 (DN3.4) de fevereiro e 03 (DN3.5) de março de 2019. Durante os experimentos DN3, como citado anteriormente, foram utilizados o equipamento de detecção de

nuvens (que possui o sensor UV1), em conjunto com o painel solar fotovoltaico, webcam, alimentação via USB do notebook e adicionalmente, foi empregue outro sensor de raios ultravioleta (sensor UV2) para verificar a atuação do sensor UV mais antigo. As informações sobre os experimentos DN3 são apresentadas na **Tabela 3.9** (ver seção 3.2.2.2).

Para DN3.1, o experimento teve duração de 02:10 horas, em consequência da possibilidade de chuva que ocasionou a sua interrupção. As condições atmosféricas variaram de céu parcialmente nublado a céu com poucas nuvens, com o nascer do sol registrado às 06:07 horas e pôr do sol às 18:20 horas.

Na **Figura 4.10** são apresentados os dados medidos por meio do equipamento de detecção de nuvens (sensor UV1 e sensor UV2) e painel solar fotovoltaico, desde às 07:55 até 10:05 horas, para o experimento DN3.1. Observar-se que a tensão em volts (V) oscila ao longo do dia com valores de 0,25 a 0,92V (sensor UV1), 0,31 a 1,18V (sensor UV2) e 3,59 a 4,93V (painel solar).

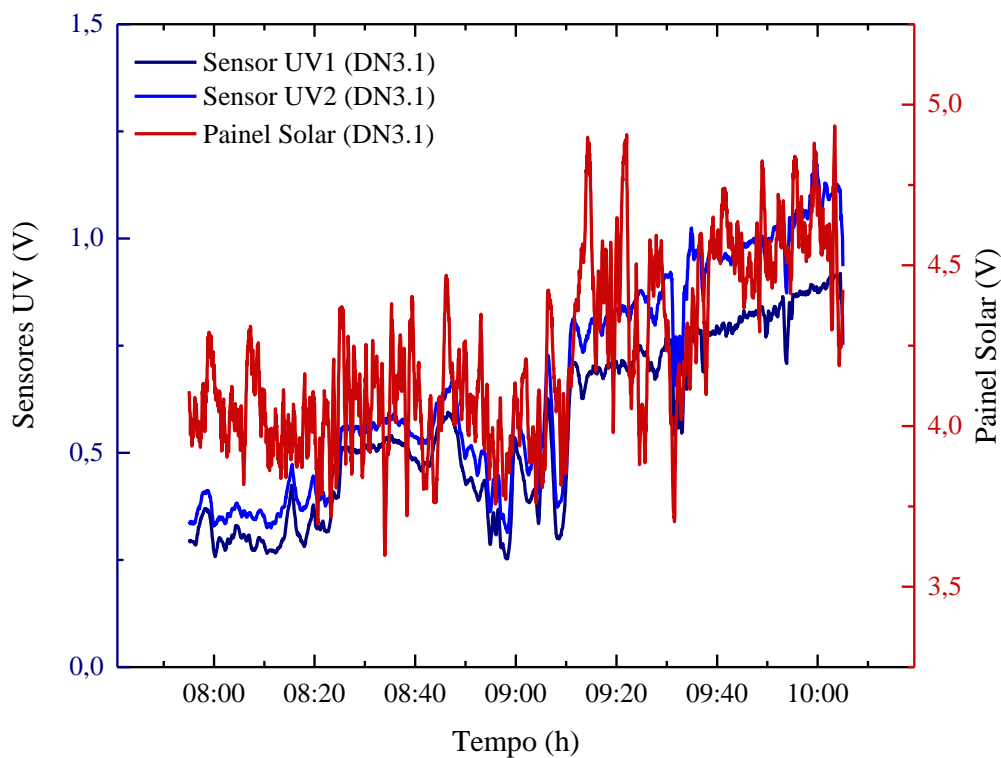


Figura 4.10: Dados medidos pelo equipamento de detecção de nuvens de baixo custo (sensor UV1 e sensor UV2) e painel solar durante o experimento DN3.1.
 Fonte: Autoria própria (2019).

A **Figura 4.11** é composta por momentos significantes nas medidas dos sensores UV e do painel solar durante o experimento DN3.1. A **Figura 4.11a** mostra o instante onde o céu estava parcialmente nublado, enquanto a **Figura 4.11b** expõe a presença de sombras indesejáveis (um pássaro) em um dia de céu claro. Por último, a **Figura 4.11c** destaca o período onde o céu estava sem a presença de nuvens e de sombras indesejáveis.



Figura 4.11: Imagens registradas durante DN3.1 para o céu (a) parcialmente nublado (08:00 horas), (b) claro com presença de um pássaro (08:54 horas) e (c) claro (09:15 horas).

Fonte: A autoria própria (2019).

De acordo com as análises realizadas para os outros experimentos, a composição das **Figuras 4.10** e **Figuras 4.11** revela se as variações nas medidas do equipamento de detecção de nuvens e do painel solar estão de acordo com as condições atmosféricas observadas nas imagens registradas pela webcam. Durante o momento onde há a presença de céu parcialmente nublado, às 08:00 horas (**Figura 4.11a**), nota-se valores baixos nas medidas dos dois sensores UV e na tensão de saída do painel solar (**Figura 4.10**). Outro decaimento significativo é observado por volta das 08:54 horas (**Figura 4.10**), quando a imagem da webcam registra a presença de sombras indesejáveis (**Figura 4.11b**). Um pico positivo nas medidas dos sensores UV e principalmente nas medidas do painel solar, é verificado às 09:15 horas (**Figura 4.10**), quando a imagem da webcam para o mesmo momento mostra condições de céu predominantemente claro (**Figura 4.11c**).

Por conseguinte, por meio da análise das imagens apresentadas, observa-se o bom desempenho do equipamento em detectar a nebulosidade para um dia com predomínio de céu parcialmente nublado a céu com poucas nuvens (DN3.1). Ainda, verifica-se que as oscilações nas medidas do equipamento estão bem correlacionadas com as variações nas medidas do painel solar fotovoltaico, evidenciadas pelos coeficientes de correlação de Pearson forte e positivo para os dois sensores UV ($r = 0,78$ sensor UV1 e $r = 0,78$ sensor UV2, **Tabela 4.1**).

Para DN3.2, o experimento perdurou por 01:31 horas e teve que ser interrompido por motivos de chuva. O nascer e pôr do sol foram registrados às 06:07 e 18:20 horas, respectivamente. As condições atmosféricas eram de céu parcialmente nublado a nublado.

Na **Figura 4.12** são apresentados os dados medidos por meio do equipamento de detecção de nuvens (sensor UV1 e sensor UV2) e painel solar fotovoltaico, desde às 12:56 até 14:27 horas, para o experimento DN3.2. Observar-se que a tensão em volts (V) varia ao longo do dia, com valores em torno de 0,08 a 0,92V (sensor UV1), 0,11 a 1,17V (sensor UV2) e 2,92 a 4,55V (painel solar fotovoltaico).

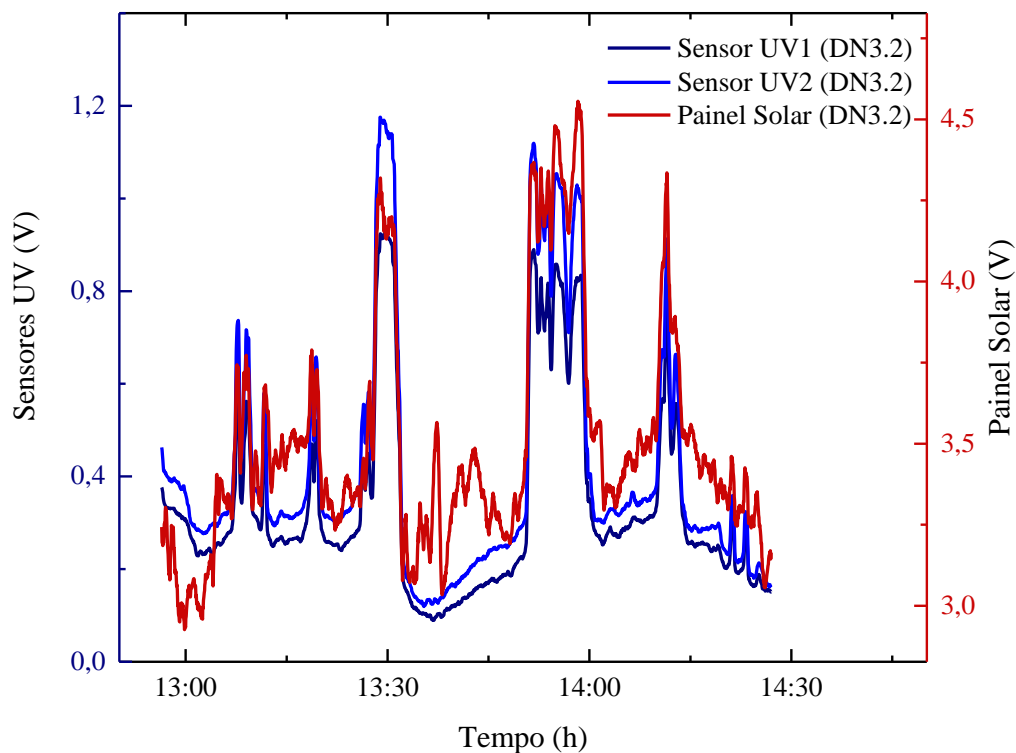


Figura 4.12: Dados medidos pelo equipamento de detecção de nuvens de baixo custo (sensor UV1 e sensor UV2) e painel solar durante o experimento DN3.2.
 Fonte: Autoria própria (2019).

A **Figura 4.13** apresenta os períodos mais significantes ao longo do experimento DN3.2. A **Figura 4.13a** evidencia as condições de céu nublado às 13:34 horas, enquanto a **Figura 4.13b** mostra o predomínio de céu parcialmente nublado às 13:51 horas. Por fim, a **Figura 4.13c** destaca o instante antes do experimento ser interrompido, às 14:26 horas, por motivo de chuva.



Figura 4.13: Imagens registradas durante DN3.2 para o céu (a) nublado (13:34 horas), (b) parcialmente nublado (13:51 horas) e (c) nublado (14:26 horas).

Fonte: Autoria própria (2019).

Estudando as imagens apresentadas acima (**Figura 4.12** e **Figura 4.13**), é possível destacar momentos em que o desempenho do equipamento foi adequado, captando bem as condições atmosféricas reveladas por meio das imagens da webcam. Em torno das 13:34 horas, nota-se uma forte queda nos valores dos sensores UV e do painel solar (**Figura 4.12**) quando a imagem do céu expõe o predomínio de céu nublado (**Figura 4.13a**). A condição de parcialmente nublado é mostrada na **Figura 4.13b** para às 13:51 horas, quando a voltagem dos sensores e do painel solar registraram valores mais altos. E a **Figura 4.13c** destaca o momento anterior a interrupção do experimento em razão do início de uma chuva, que pode ser observada também nas medidas do equipamento e do painel solar, registrando valores mínimos às 14:26 horas (**Figura 4.12**).

Semelhante aos experimentos anteriores, o equipamento mostrou eficiência em detectar as variações de nebulosidade ao longo do experimento DN3.2. Ademais, verifica-se que as oscilações nas medidas do equipamento são bem associadas com as variações nas medidas do painel solar fotovoltaico, constatadas pelos coeficientes de correlação de Pearson positivos e de forte magnitude para os dois sensores UV ($r = 0,90$ sensor UV1 e $r = 0,90$ sensor UV2, **Tabela 4.1**).

Para experimento DN3.3 houve predominância de céu parcialmente nublado a céu com poucas nuvens. O experimento iniciou às 10:57 horas, teve uma interrupção às 13:21 horas ocasionado por problemas técnicos no notebook que fornecia a alimentação para o equipamento e a webcam. Às 14:38 horas o experimento recomeçou e teve finalização às 18:20 horas, com duração total de 06:06 horas. O nascer e pôr do sol ocorreram às 06:07 e 18:20 horas, respectivamente.

Na **Figura 4.14** são apresentados os dados medidos por meio do equipamento de detecção de nuvens (sensor UV1 e sensor UV2) e painel solar fotovoltaico, desde às 10:57 até 18:20 horas, para o experimento DN3.3. Observar-se que a tensão em volts (V) oscila ao longo

do dia, com valores de 0 a 1,21V (sensor UV1), 0 a 1,62V (sensor UV2) e 0,60 a 4,10V (painel solar). É possível verificar o momento onde o experimento foi interrompido (às 13:21 horas) por motivos de problemas técnicos no notebook que estava fornecendo a alimentação do equipamento de detecção de nuvens.

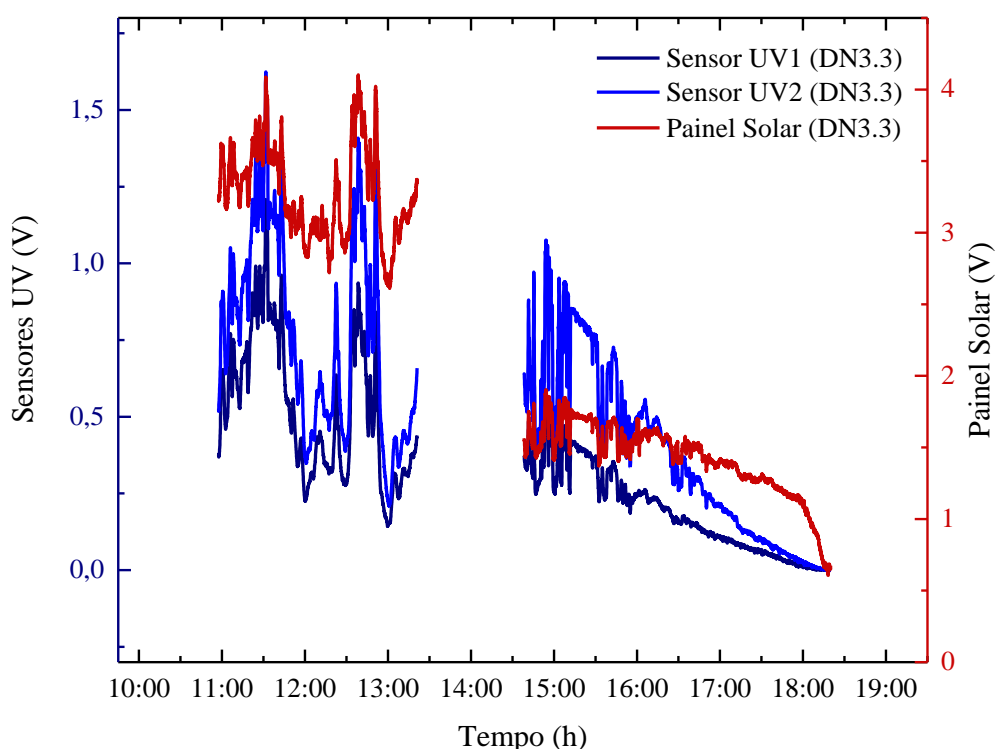


Figura 4.14: Dados medidos pelo equipamento de detecção de nuvens de baixo custo (sensor UV1 e sensor UV2) e painel solar durante o experimento DN3.3.
Fonte: A autoria própria (2019).

A **Figura 4.15** é constituída por três momentos de variabilidade acentuada nas medidas dos sensores UV e do painel solar fotovoltaico. A primeira imagem, **Figura 4.15a**, mostra o instante em que o céu estava parcialmente nublado às 11:26 horas, sem oclusão do sol. A **Figura 4.15b** exibe a condição de céu predominantemente nublado às 11:59 horas, enquanto, a **Figura 4.15c** apresenta o momento onde o céu estava parcialmente nublado às 14:54 horas.



Figura 4.15: Imagens registradas durante DN3.3 para o céu (a) parcialmente nublado (11:26 horas), (b) nublado (11:59 horas) e (c) parcialmente nublado (14:54 horas).

Fonte: Autoria própria (2019).

Efetuada a composição das **Figuras 4.14** e **Figuras 4.15**, pode-se avaliar se as variações mais relevantes na tensão dos sensores UV e do painel solar, estão associadas com as condições atmosféricas observadas através das imagens da webcam. Observando a **Figura 4.14** verifica-se picos intermitentes na tensão do painel solar e dos sensores UV. Para averiguar melhor esse momento, a **Figura 4.15a** mostra a condição atmosférica de céu parcialmente nublado, com presença do sol às 11:26 horas, correspondente com as medidas dos sensores e do painel solar. Em torno de 11:59 horas, as medidas dos sensores UV e painel solar, apresentam valores mínimos (**Figura 4.14**) equivalentes com a condição de céu nublado mostrada pela imagem da webcam para o mesmo horário (**Figura 4.15b**). Na **Figura 4.14** nota-se que as medidas apresentam uma oscilação intermitente às 14:54 horas, verificada nos experimentos anteriores e no trabalho de Jewell (1994) e Soares (2014) em que a condição de céu parcialmente nublado provoca uma forte oscilação na saída de um sistema fotovoltaico. Essa característica é constatada através da **Figura 4.15c**, com céu parcialmente nublado para o mesmo horário.

Dessa maneira, pode-se perceber a aplicabilidade do equipamento de baixo custo em detectar a nebulosidade durante o experimento DN3.3. As variações relevantes são observadas também nas medidas do painel solar fotovoltaico, evidenciadas pelo forte e positivo coeficiente de correlação de Pearson para o sensor UV1 e para o sensor UV2 ($r = 0,84$ sensor UV1 e $r = 0,75$ sensor UV2, **Tabela 4.1**).

O experimento DN3.4 teve duração de 06:23 horas, com nascer do sol às 06:07 e pôr do sol às 18:19 horas. As condições atmosféricas durante o experimento variaram de céu parcialmente nublado a céu com poucas nuvens.

A **Figura 4.16** apresenta os dados medidos por meio do equipamento de detecção de nuvens (sensor UV1 e sensor UV2) e painel solar fotovoltaico, desde às 12:07 até 18:30 horas,

para o experimento DN3.4. Observar-se que a tensão em volts (V) varia ao decorrer do dia, com valores de 0,03 a 1,08V (sensor UV1), 0,05 a 1,59V (sensor UV2) e 3,97 a 6,12V (painel solar).

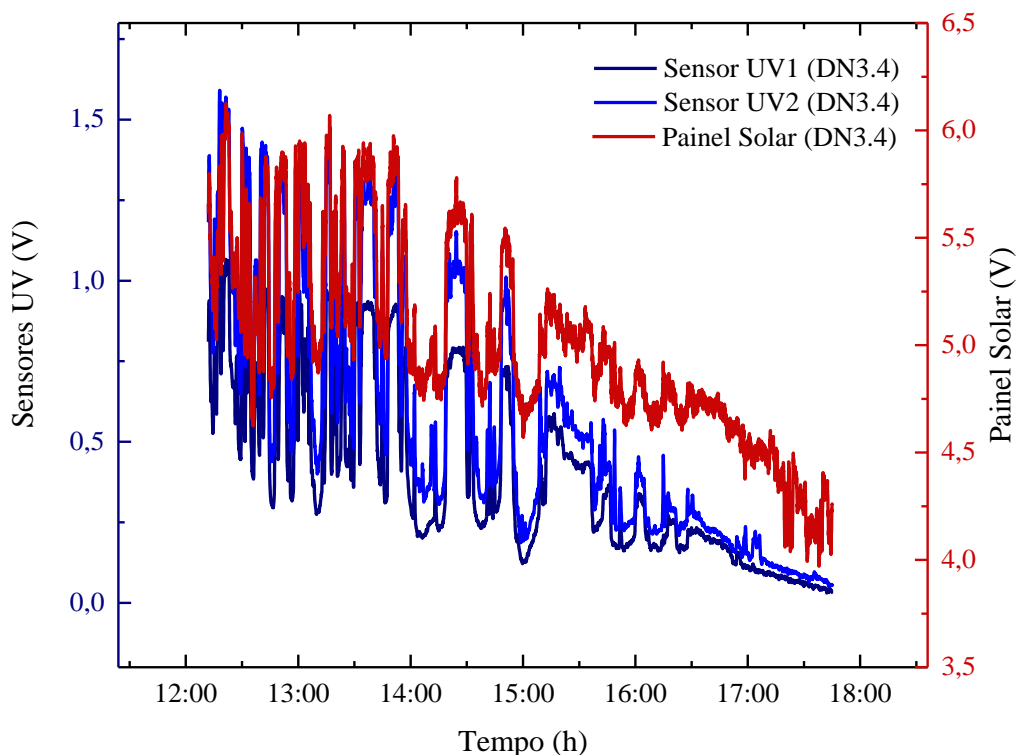


Figura 4.16: Dados medidos pelo equipamento de detecção de nuvens de baixo custo (sensor UV1 e sensor UV2) e painel solar durante o experimento DN3.4.
Fonte: Autoria própria (2019).

A **Figura 4.17** expõe os períodos mais relevantes durante o experimento DN3.2. A **Figura 4.17a** evidencia as condições de céu parcialmente nublado às 12:49 horas, enquanto a **Figura 4.17b** revela o predomínio de céu nublado às 14:02 horas. Por último, a **Figura 4.17c** destaca o momento onde o céu estava com poucas nuvens às 14:23 horas.



Figura 4.17: Imagens registradas durante DN3.4 para o céu (a) parcialmente nublado (12:49 horas), (b) nublado (14:02 horas) e (c) com poucas nuvens (14:23 horas).

Fonte: A autoria própria (2019).

De maneira análoga, as variações mais pertinentes observadas nas medidas dos sensores UV e painel solar podem ser verificadas através das imagens registradas pela webcam. Oscilações intermitentes são verificadas nas primeiras horas do experimento DN3.4 (**Figura 4.16**) e correspondem com a condição atmosférica de céu parcialmente nublado (**Figura 4.17a**). O momento em que o céu permaneceu por alguns instantes nublado (**Figura 4.17b**) é observado na voltagem do equipamento e do painel em torno das 14:02 horas (**Figura 4.16**). A última imagem, mostra o céu predominantemente com poucas nuvens às 14:23 horas (**Figura 4.17c**), quando um pico positivo é verificado na tensão das variáveis estudadas (**Figura 4.16**).

Avaliando as imagens apresentadas, ressalta-se o bom desempenho do equipamento de detecção de nuvens, sobretudo, para os momentos de maior variabilidade nas observações. Ademais, as oscilações na tensão de saída do painel solar também foram identificadas nas medidas dos sensores UV, comprovado pelo forte e positivo coeficiente de correlação de Pearson, ($r = 0,96$ sensor UV1 e $r = 0,96$ sensor UV2, **Tabela 4.1**), indicando seu emprego junto a painéis solares fotovoltaico, ajudando na estimativa de curto prazo para a geração de energia solar fotovoltaica.

O experimento DN3.5, teve duração de 12:24 horas, com o nascer do sol registrado às 05:15 horas e o pôr do sol às 17:58 horas. As condições atmosféricas eram de céu claro variando a céu com poucas nuvens.

Na **Figura 4.18** são apresentados os dados medidos por meio do equipamento de detecção de nuvens (sensor UV1 e sensor UV2) e painel solar fotovoltaico, desde às 06:35 até 17:58 horas, para o experimento DN3.5. Observar-se a tensão em volts (V) com valores variando de 0 a 1,02V (sensor UV1), 0 a 1,46V (sensor UV2) e 1,35 a 4,31V (painel solar fotovoltaico).

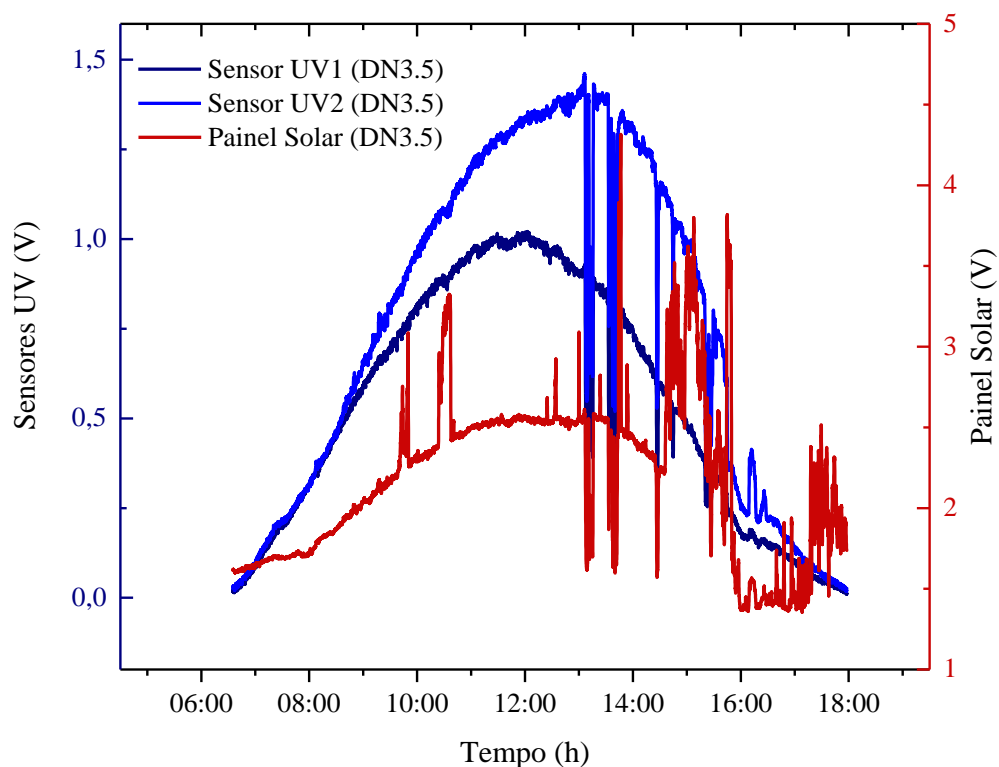


Figura 4.18: Dados medidos pelo equipamento de detecção de nuvens de baixo custo (sensor UV1 e sensor UV2) e painel solar durante o experimento DN3.5.
Fonte: Autoria própria (2019).

A **Figura 4.19** apresenta os períodos significantes do experimento DN3.2. A **Figura 4.19a** mostra a condição de céu claro às 10:35 horas e a **Figura 4.19b** destaca o predomínio de céu parcialmente nublado às 13:09 horas, enquanto a **Figura 4.19c** expõe o instante onde o céu estava predominantemente parcialmente nublado às 15:59 horas.

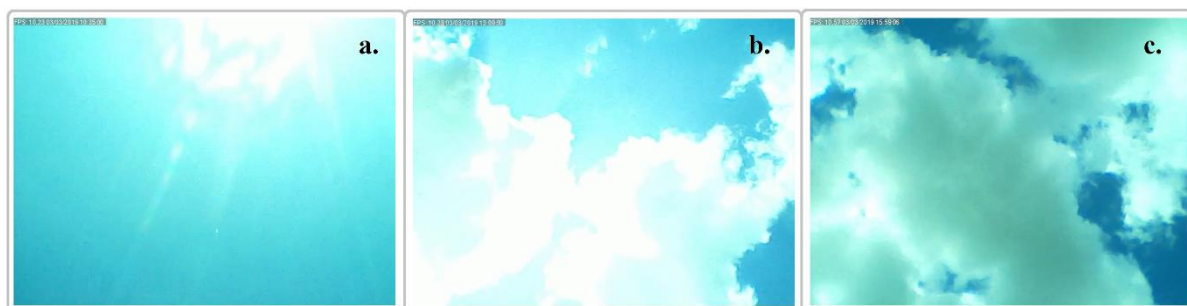


Figura 4.19: Imagens registradas durante DN3.5 para o céu (a) claro (10:35 horas), (b) parcialmente nublado (13:09 horas) e (c) parcialmente nublado (15:59 horas).
Fonte: Autoria própria (2019).

A composição das **Figuras 4.18** e **Figura 4.19** evidencia momentos em que picos positivos nas medidas do painel solar (às 10:35 horas) são acompanhados por condição

atmosférica de céu claro com presença de cirrus (**Figura 4.19a**). Ressalta-se que esses picos não são observados nas medidas dos sensores UV em razão ainda desconhecida. O segundo momento relevante durante o experimento DN3.5 ocorreu às 13:09 horas, onde os registros sofrem uma diminuição acentuada (**Figura 4.18**). A imagem para esse horário exibe predominância de céu parcialmente nublado, no entanto, é possível observar a presença de nuvens ocultando o sol (**Figura 4.19b**). O momento em que a tensão das variáveis analisadas atinge valores mínimos é registrado às 15:59 horas (**Figura 4.18**), quando há condição de céu parcialmente nublado (com oclusão do sol) observada por meio da imagem da webcam para o mesmo horário (**Figura 4.19c**).

Diante disso, as imagens apresentadas durante o experimento DN3.5 mostram a aplicabilidade do equipamento de baixo custo em detectar a nebulosidade, assim como, as variações mais significantes em suas medidas são detectadas em grande parte pela tensão de saída do painel solar, evidenciadas pelos coeficientes de correlação de Pearson moderado e positivo para o sensor UV1 e forte e positivo para o sensor UV2 ($r = 0,67$ sensor UV1 e $r = 0,76$ sensor UV2, **Tabela 4.1**).

4.1.4 Detecção de Nuvens 4

Os experimentos de detecção de nuvens 4 ocorreram nos dias 06 (DN4.1) e 17 (DN4.2) de abril e 07 (DN4.3) e 09 (DN4.4) de maio de 2019. Durante os experimentos DN4, como dito na seção de metodologia, foram empregues o equipamento de detecção de nuvens sensor UV1 e sensor UV2 e painel polar fotovoltaico. Para a alimentação de energia dos componentes, optou-se pela utilização de baterias de 9V ao invés do notebook. Como dito anteriormente, esse procedimento foi necessário em consequência dos problemas técnicos de superaquecimento do computador. Por essa razão, a webcam não foi usada, resultando na ausência de informações sobre as condições atmosféricas durante os experimentos DN4. As especificações sobre os experimentos DN4 podem ser observadas na **Tabela 3.10** (ver seção 3.2.2.2).

Para DN4.1, o experimento teve duração de 04:28 horas, com o nascer do sol registrado às 06:00 horas e pôr do sol às 18:04 horas.

Na **Figura 4.20** são apresentados os dados medidos por meio do equipamento de detecção de nuvens (sensor UV1 e sensor UV2) e painel solar fotovoltaico, desde às 13:35 até 18:04 horas, para o experimento DN4.1. Observar-se que a tensão em volts (V) oscila ao longo do dia com valores de 0 a 0,87V (sensor UV1), 0 a 1,11V (sensor UV2) e 1,13 a 2,51V (painel solar).

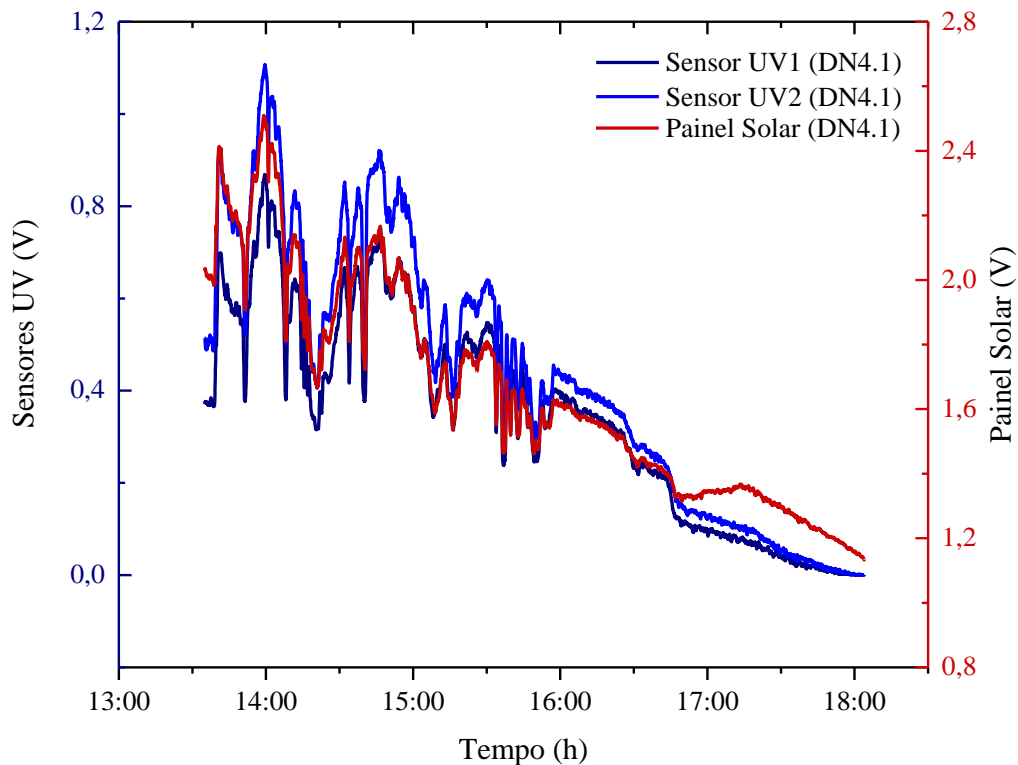


Figura 4.20: Dados medidos pelo equipamento de detecção de nuvens de baixo custo (sensor UV1 e sensor UV2) e painel solar durante o experimento DN4.1.
 Fonte: Autoria própria (2019).

Através da **Figura 4.20** é possível notar que o comportamento da tensão dos sensores UV e do painel solar são similares, variando em conjunto ao longo do experimento DN4.1. Tal característica é ressaltada pelos coeficientes de correlação de Pearson, que mostram uma associação forte e positiva entre as variáveis ($r = 0,96$ sensor UV1 e $r = 0,98$ sensor UV2, **Tabela 4.1**).

O experimento DN4.2 perdurou por 01:46 horas, com início às 10:08 horas e término às 11:55 horas, em consequência da possibilidade de chuva. O nascer do sol para esse dia foi registrado às 06:00 horas e pôr do sol às 18:04 horas.

Na **Figura 4.21** são apresentados os dados medidos por meio do equipamento de detecção de nuvens, com os sensores UV (sensor UV1 e sensor UV2) e painel solar fotovoltaico, desde às 10:08 até 11:55 horas, para o experimento DN4.2. Observar-se que a tensão em volts (V) varia ao longo do dia com valores de 0,44 a 1,61V (sensor UV1), 0,65 a 2,17V (sensor UV2) e 0,83 a 2,58V (painel solar).

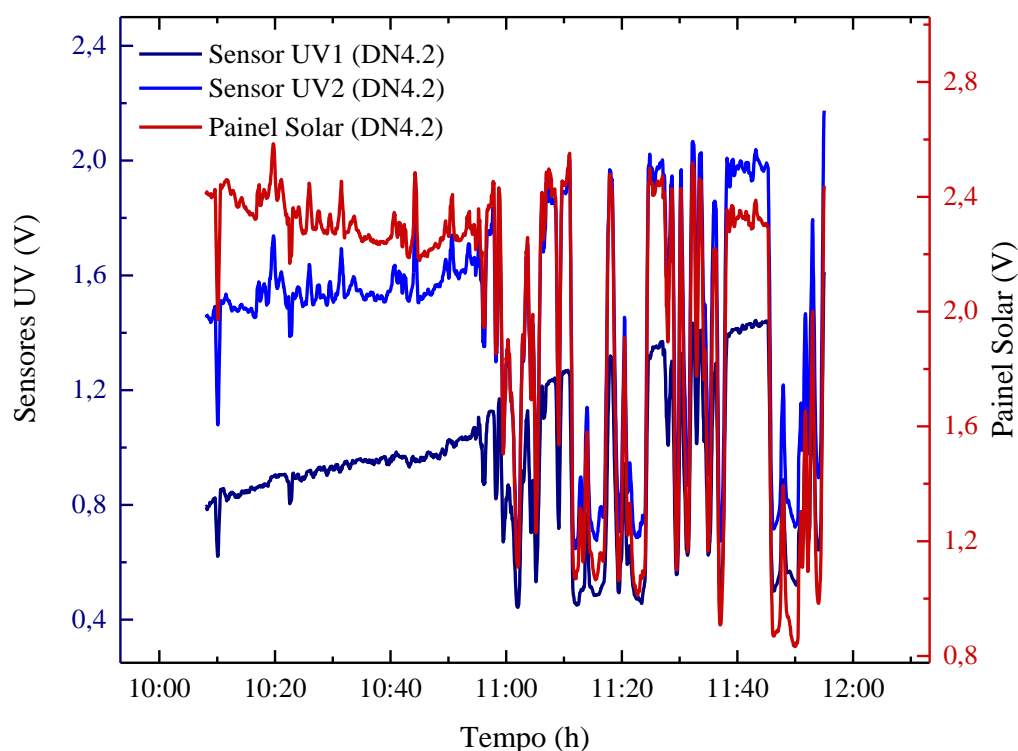


Figura 4.21: Dados medidos pelo equipamento de detecção de nuvens de baixo custo (sensor UV1 e sensor UV2) e painel solar durante o experimento DN4.2.

Fonte: A autoria própria (2019).

Observando a **Figura 4.21** verifica-se que a variação no comportamento da tensão dos sensores UV e do painel solar é correspondente ao longo do experimento DN4.2. Esse aspecto é evidenciado através dos coeficientes de correlação de Pearson, que mostram uma relação forte e positiva para o sensor UV1 e, principalmente, para o sensor UV2 ($r = 0,75$ sensor UV1 e $r = 0,91$ sensor UV2, **Tabela 4.1**).

O experimento DN4.3 iniciou às 09:50 horas e terminou às 15:20 horas, obtendo o total de 05:30 horas de duração. O nascer e pôr do sol foram registrados às 06:00 horas e 18:04 horas, respectivamente.

Na **Figura 4.22** são apresentados os dados medidos por meio do equipamento de detecção de nuvens, com os sensores UV (sensor UV1 e sensor UV2) e painel solar fotovoltaico, desde às 09:50 até 15:20 horas, para o experimento DN4.3. Observar-se que a tensão em volts (V) oscila entre 0,24 a 0,94V (sensor UV1), 0,33 a 1,37V (sensor UV2) e 1,25 a 2,69V (painel solar).

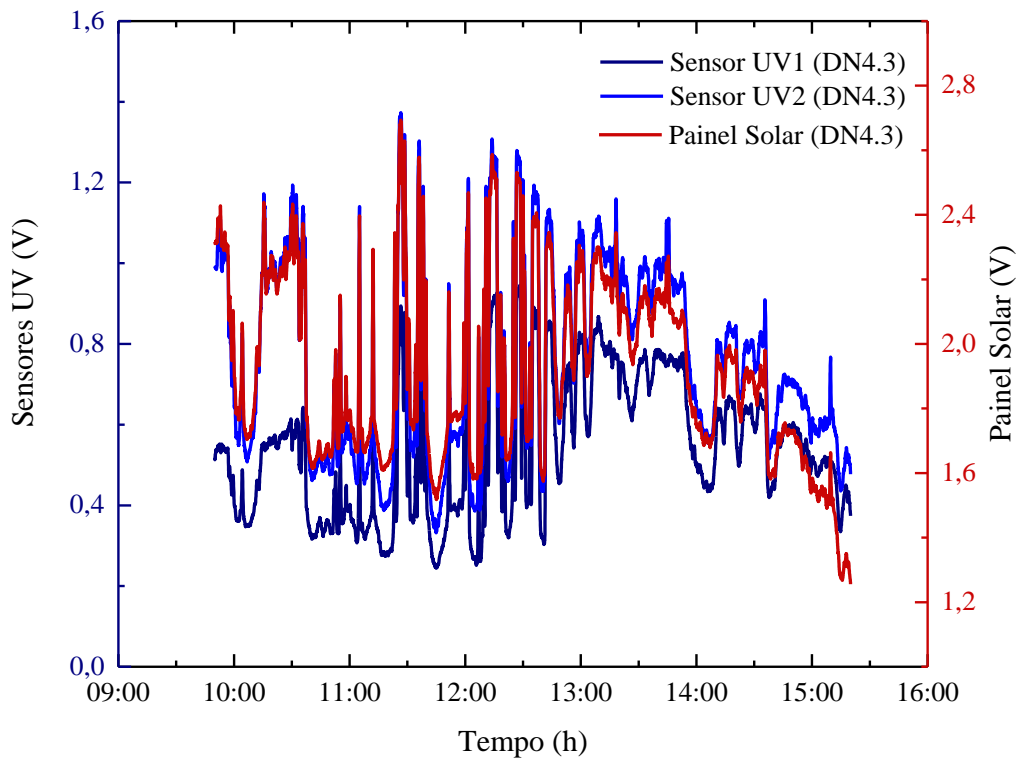


Figura 4.22: Dados medidos pelo equipamento de detecção de nuvens de baixo custo (sensor UV1 e sensor UV2) e painel solar durante o experimento DN4.3.

Fonte: Autoria própria (2019).

Analisando a **Figura 4.22** é possível notar que as variações na tensão dos sensores UV e do painel solar possuem comportamento semelhante ao decorrer do experimento DN4.3. Essa característica é mostrada por meio dos coeficientes de correlação de Pearson, que revela uma associação positiva e forte para o sensor UV1 e sensor UV2 ($r = 0,79$ sensor UV1 e $r = 0,95$ sensor UV2, **Tabela 4.1**).

O experimento DN4.4 perdurou por 05:10 horas, com início às 09:50 horas e término às 15:00 horas, quando houve o descarregamento da bateria de 9v. O nascer do sol foi registrado às 05:56 horas e o pôr do sol às 17:56 horas.

Na **Figura 4.23** são apresentados os dados medidos por meio do equipamento de detecção de nuvens, com os sensores UV (sensor UV1 e sensor UV2) e painel solar fotovoltaico, desde às 09:50 até 15:00 horas, para o experimento DN4.4. Observar-se que a tensão em volts (V) oscila entre 0,22 a 1,02V (sensor UV1), 0,30 a 1,45V (sensor UV2) e 1,32 a 2,73V (painel solar).

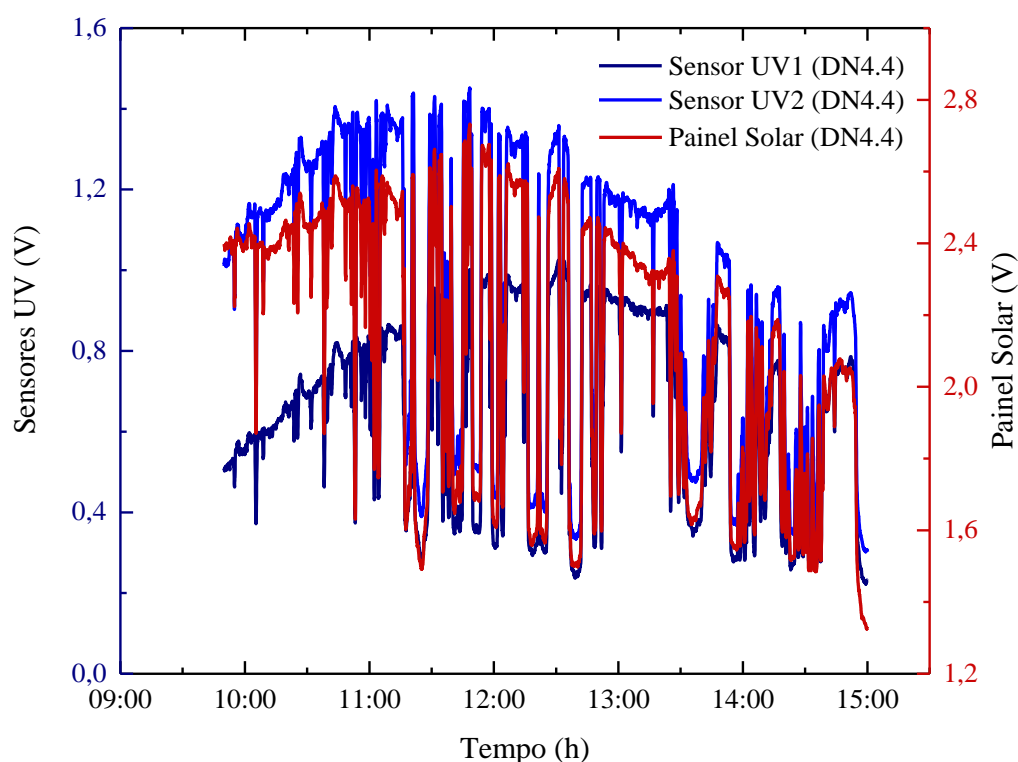


Figura 4.23: Dados medidos pelo equipamento de detecção de nuvens de baixo custo (sensor UV1 e sensor UV2) e painel solar durante o experimento DN4.4.
Fonte: Autoria própria (2019).

Através da **Figura 4.23** é possível observar que as oscilações na tensão dos sensores UV e do painel solar são correspondentes ao longo do experimento DN4.4. Tal característica é demonstrada através dos coeficientes de correlação de Pearson, que evidenciam uma associação forte e positiva entre as variáveis ($r = 0,89$ sensor UV1 e $r = 0,99$ sensor UV2, **Tabela 4.1**).

Tabela 4.1: Resumo das características e estatística descritiva dos sensores UV e painel solar para cada experimento de detecção de nuvens.

Exp.	Início - Fim	Condições atm.	Variáveis	N	Méd.	Des. P.	Mín	Máx	Co. Pearson
DN1.1	07:21 - 12:36	nublado/encoberto	Sensor UV1	6190	0,06	0,06	0,00	0,37	-
DN1.2	07:25 - 18:34	poucas nuvens/parcialmente nublado	Sensor UV1	13137	0,22	0,19	0,00	0,55	-
DN2.1	08:10 - 17:59	claro/poucas nuvens	Sensor UV1	11611	0,59	0,33	0,00	1,01	0,30
			Painel Solar	11611	6,38	0,60	1,36	6,66	1,00
DN2.2	07:35 - 16:07	nublado/encoberto	Sensor UV1	10002	0,37	0,24	0,01	1,07	0,71
			Painel Solar	10002	6,46	0,24	5,38	6,88	1,00
DN3.1	07:55 - 10:05	parcialmente nublado/poucas nuvens	Sensor UV1	2537	0,56	0,20	0,25	0,92	0,78
			Sensor UV2	2537	0,66	0,25	0,31	1,18	0,78
			Painel Solar	2537	4,22	0,27	3,60	4,93	1,00
DN3.2	12:56 - 14:27	parcialmente nublado/nublado	Sensor UV1	1768	0,34	0,21	0,09	0,92	0,90
			Sensor UV2	1768	0,41	0,26	0,12	1,18	0,90
			Painel Solar	1768	3,50	0,36	2,93	4,56	1,00
DN3.3	10:57 - 18:20	parcialmente nublado/poucas nuvens	Sensor UV1	7128	0,32	0,24	0,00	1,21	0,84
			Sensor UV2	7128	0,52	0,35	0,00	1,62	0,75
			Painel Solar	7128	2,15	0,95	0,61	4,10	1,00
DN3.4	12:12 -17:45	parcialmente nublado/ poucas nuvens	Sensor UV1	6497	0,40	0,28	0,03	1,08	0,96
			Sensor UV2	6497	0,56	0,39	0,05	1,59	0,96
			Painel Solar	6497	5,00	0,46	3,97	6,13	1,00
DN3.5	06:35 - 17:58	claro/poucas nuvens	Sensor UV1	13321	0,53	0,34	0,01	1,02	0,67
			Sensor UV2	13321	0,75	0,48	0,02	1,46	0,76
			Painel Solar	13321	2,18	0,50	1,35	4,32	1,00
DN4.1	13:35 - 18:04	-	Sensor UV1	5243	0,34	0,23	0,00	0,87	0,96
			Sensor UV2	5243	0,43	0,29	0,00	1,11	0,98
			Painel Solar	5243	1,66	0,34	1,13	2,51	1,00
DN4.2	10:08 - 11:55	-	Sensor UV1	2082	0,93	0,25	0,44	1,61	0,75
			Sensor UV2	2082	1,45	0,37	0,65	2,17	0,91
			Painel Solar	2082	2,00	0,50	0,83	2,58	1,00
DN4.3	09:50 - 15:20	-	Sensor UV1	6432	0,54	0,17	0,24	0,94	0,79
			Sensor UV2	6432	0,76	0,23	0,33	1,37	0,95
			Painel Solar	6432	1,91	0,28	1,26	2,69	1,00
DN4.4	09:50 - 15:00	-	Sensor UV1	6201	0,64	0,22	0,22	1,03	0,89
			Sensor UV2	6201	0,93	0,34	0,30	1,45	0,99
			Painel Solar	6201	2,12	0,37	1,32	2,73	1,00

*Assim como a elaboração dos gráficos de linhas, a estatística descritiva foi calculada a partir da média móvel simples dos dados.
 Autoria própria (2019).

A **Tabela 4.1** apresenta informações de horário, condições atmosféricas e estatística descritiva para cada experimento de detecção de nuvens. Através dela, observa-se que os menores valores do coeficiente de correlação são atribuídos ao sensor UV1 para o experimento

DN2.1 ($r = 0,30$) e experimento DN3.5 ($r = 0,67$) para condições atmosféricas de céu claro variando a céu com poucas nuvens. Enquanto, os valores que representam a associação mais forte entre as variáveis são verificados durante o experimento DN4.1 ($r = 0,98$) e experimento DN4.4 ($r = 0,99$) para o sensor UV2, em condições atmosféricas desconhecidas, devido a ausência da webcam para os experimentos DN4.

4.2 AVALIAÇÃO GERAL DOS EXPERIMENTOS DE DETECÇÃO DE NUVENS

Nesta seção é apresentada uma avaliação geral de todos experimentos de detecção de nuvens, que tem como finalidade estudar o grau de relação entre painel solar x sensor UV1 e painel solar x sensor UV2 (ver seção 3.2.3). A análise é constituída por gráficos de dispersão e tabelas com a estatística descritiva para os dados dos sensores UV e painel solar (normais, MMS, delta, delta painel solar maior ou igual a 0,1V e delta painel solar menor ou igual -0,1V), considerando: todas as horas de duração dos experimentos, recorte das 09:30 às 15:00 horas, recorte das 11:00 às 13:00 horas e um recorte excluindo os horários de 11:00 às 13:00 horas. Ademais, a avaliação geral das variáveis também é efetuada levando em conta as duas fontes de alimentação empregues durante os experimentos de detecção de nuvens (via porta USB do notebook e via bateria de 9V). Nessa avaliação, considerou-se a duração do experimento DN3.3 de 10:57 às 13:21 horas, devido a interrupção ocasionada por problemas técnicos mencionados anteriormente. O experimento DN3.5 também foi desconsiderado devido a presença de ruídos na geração do painel solar fotovoltaico.

Na **Figura 4.24** são apresentados os gráficos de dispersão entre painel solar x sensor UV1 e painel solar x sensor UV2, considerando os diferentes horários (todos, 09:30 às 15:00 horas, 11:00 às 13:00 horas e sem 11:00 às 13:00 horas) para todos os experimentos.

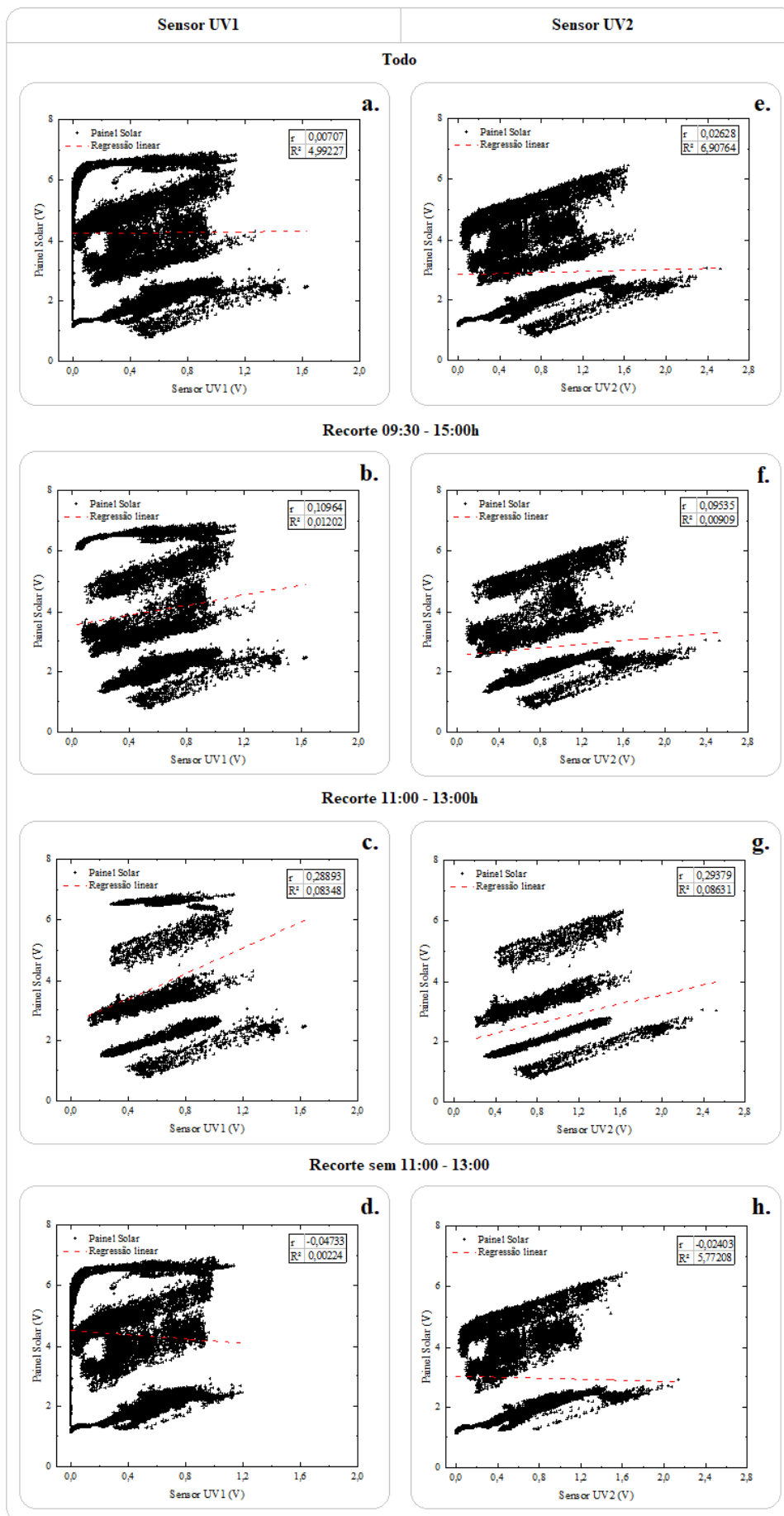


Figura 4.24: Gráficos de dispersão para todos os experimentos. Esquerda: para as variáveis X: sensor UV1 e Y: painel solar, para (a) todos os horários, (b) 09:30 às 15:00 horas, (c) 11:00 às 13:00 horas e (d) sem 11:00 às 13:00 horas. Direita: para as variáveis X: sensor UV2 e Y: painel solar, para (e) todos os horários, (f) 09:30 às 15:00 horas, (g) 11:00 às 13:00 horas e (h) sem 11:00 às 13:00 horas.
Fonte: Autoria própria (2019).

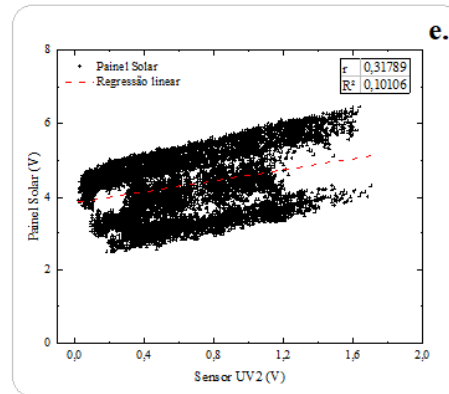
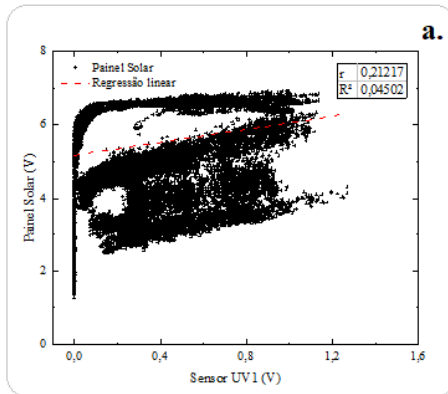
Através da **Figura 4.24** é possível verificar que não há uma correlação linear clara entre o comportamento do painel solar e dos sensores UV, para todos os horários avaliados. No entanto, é verificado um leve aumento no coeficiente de correlação de Pearson do sensor UV1 ($r = 0,29$) e sensor UV2 ($r = 0,29$) para o recorte que considera os experimentos entre os horários de 11:00 às 13:00 horas (**Figura 4.24c** e **Figura 4.24g**), evidenciando ainda assim uma fraca relação linear entre as variáveis. Por meio da nuvem de dados, observa-se que em momentos onde ocorre o aumento na voltagem do painel solar, o sensor UV1 permanece estagnado em 0V para todas as horas de duração dos experimentos (**Figura 4.24a**) e para o recorte excluindo os horários de 11:00 às 13:00 horas (**Figura 4.24d**), esse comportamento muda quando observamos os demais recortes, principalmente o recorte de 11:00 às 13:00 horas.

Na **Figura 4.25** são apresentados os gráficos de dispersão entre painel solar x sensor UV1 e painel solar x sensor UV2, considerando os diferentes horários (todos, 09:30 às 15:00 horas, 11:00 às 13:00 horas e sem 11:00 às 13:00 horas) para os experimentos com alimentação via porta USB do notebook.

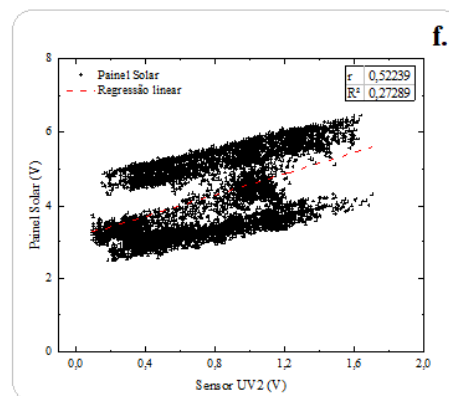
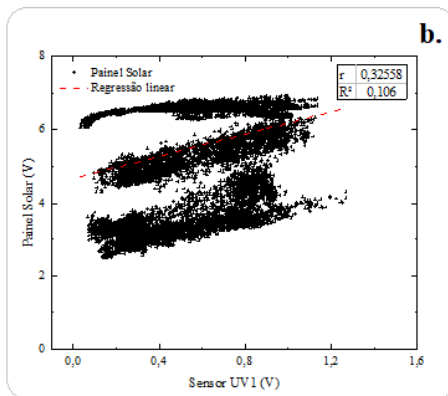
Sensor UV1

Sensor UV2

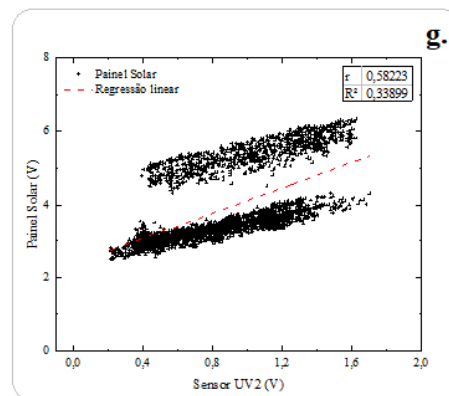
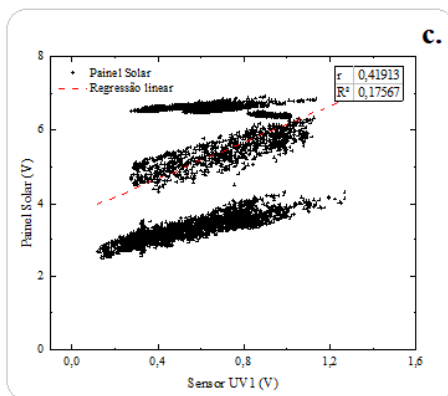
Notebook



Recorte 09:30 - 15:00h



Recorte 11:00 - 13:00h



Recorte sem 11:00 - 13:00

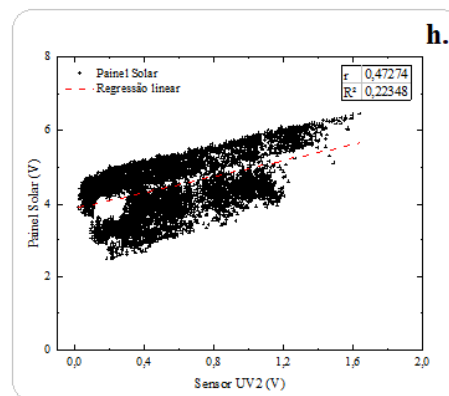
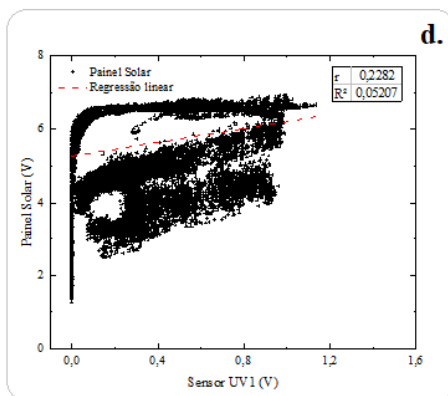


Figura 4.25: Gráficos de dispersão para os experimentos com alimentação via porta USB do notebook. Esquerda: para as variáveis X: sensor UV1 e Y: painel solar, para (a) todos os horários, (b) 09:30 às 15:00 horas, (c) 11:00 às 13:00 horas e (d) sem 11:00 às 13:00 horas. Direita: para as variáveis X: sensor UV2 e Y: painel solar, para (e) todos os horários, (f) 09:30 às 15:00 horas, (g) 11:00 às 13:00 horas e (h) sem 11:00 às 13:00 horas. Fonte: Autoria própria (2019).

Analisando a nuvem de dados e os coeficientes de correlação de Pearson apresentados na **Figura 4.25**, observa-se a associação fraca entre o painel solar e o sensor UV1 para todos os recortes de horários, com exceção do recorte de 11:00 às 13:00 horas que mostra uma relação linear moderada ($r = 0,42$ sensor UV1). Porém, os valores positivos mostram que as variáveis tendem a aumentar e diminuir em conjunto, apesar de apresentarem relação fraca e moderada. Os coeficientes de correlação de Pearson entre o painel solar e o sensor UV2 expõe uma associação positiva e fraca para o recorte que considera todos os horários e moderada e positiva para os demais recortes. E assim como para o sensor UV1, a relação mais significativa para o sensor UV2 ocorre para o recorte de 11:00 às 13:00 horas ($r = 0,58$ sensor UV2). De modo geral, comparando os coeficientes de correlação apresentados para os dois sensores UV, notam-se valores mais significantes para o sensor UV2.

Na **Figura 4.26** são apresentados os gráficos de dispersão entre painel solar x sensor UV1 e painel solar x sensor UV2, considerando os diferentes horários (todos, 09:30 às 15:00 horas, 11:00 às 13:00 horas e sem 11:00 às 13:00 horas) para os experimentos alimentados via bateria 9V.

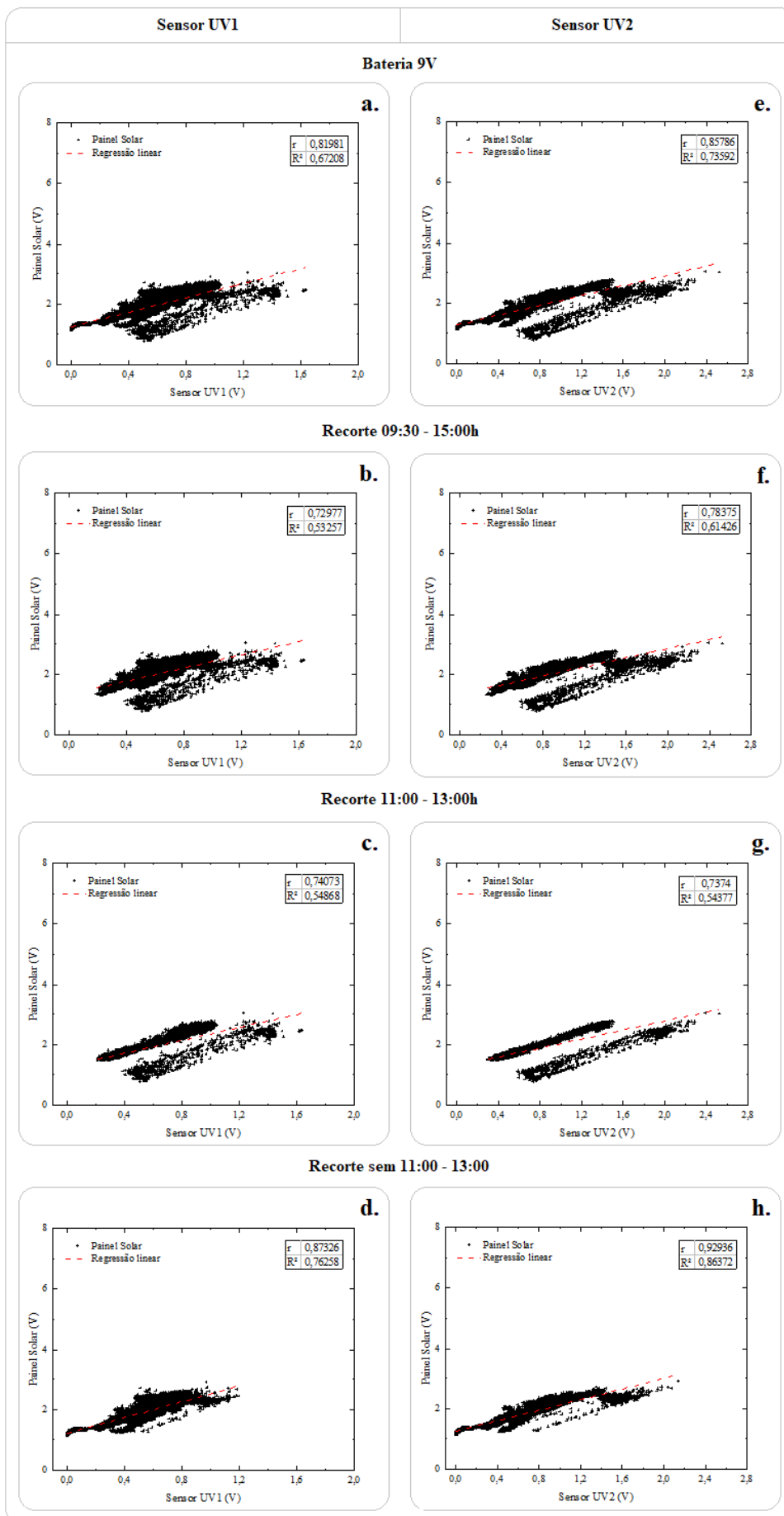


Figura 4.26: Gráficos de dispersão para os experimentos com alimentação via bateria 9V. Esquerda: para as variáveis X: sensor UV1 e Y: painel solar, para (a) todos os horários, (b) 09:30 às 15:00 horas, (c) 11:00 às 13:00 horas e (d) sem 11:00 às 13:00 horas. Direita: para as variáveis X: sensor UV2 e Y: painel solar, para (e) todos os horários, (f) 09:30 às 15:00 horas, (g) 11:00 às 13:00 horas e (h) sem 11:00 às 13:00 horas.
Fonte: Autoria própria (2019).

Através da **Figura 4.26**, é observado que o grau de associação das variáveis é forte e positivo para todos os recortes de horários dos experimentos com alimentação via bateria 9V. Verifica-se ainda, que as relações mais fortes são atribuídas ao recorte que não considera os horários de 11:00 às 13:00 horas ($r = 0,87$ sensor UV1 e $r = 0,93$ sensor UV2) e para todas as horas ($r = 0,82$ sensor UV1 e $r = 0,86$ sensor UV2). Valores mais expressivos do grau de relação entre as variáveis é verificado novamente para o sensor UV2 em todos os recortes de horários. Observando a nuvem de dados, pode-se constatar maior proximidade a reta de regressão linear, quando comparamos com os experimentos via porta USB do notebook.

A **Tabela 4.2** é composta pela estatística descritiva dos dados normais das variáveis (sensor UV1, sensor UV2 e painel solar) considerando os diferentes horários (todos, de 09:30 às 15:00 horas, de 11:00 às 13:00 horas e sem 11:00 às 13:00 horas) para, todos os experimentos, via porta USB do notebook e via bateria de 9V.

Tabela 4.2: Estatística descritiva dos dados normais para painel solar, sensor UV1 e sensor UV2, considerando os diferentes horários (todos, de 09:30 às 15:00 horas, de 11:00 às 13:00 horas e sem 11:00 às 13:00 horas) para: todos os experimentos, via porta USB do notebook e via bateria de 9V.

Normais - Todos		N	Média	Des. P.	Soma	Mín	Máx	Correl. Pearson
Todos os horários	Sensor UV1	55202	0,50	0,29	27822,14	0,00	1,64	0,01
	Sensor UV2	33580	0,72	0,42	24078,56	0,00	2,52	0,03
	Painel Solar	55202	4,27	2,03	235558,11	0,77	6,92	1,00
09:30 às 15:00 horas	Sensor UV1	37440	0,62	0,27	23037,08	0,03	1,64	0,11
	Sensor UV2	24530	0,86	0,38	20973,60	0,09	2,52	0,10
	Painel Solar	37440	4,07	2,02	152228,09	0,77	6,92	1,00
11:00 às 13:00 horas	Sensor UV1	13862	0,68	0,28	9388,68	0,12	1,64	0,29
	Sensor UV2	9170	0,91	0,42	8333,82	0,21	2,52	0,29
	Painel Solar	13862	3,97	2,04	55004,96	0,77	6,91	1,00
Sem 11:00 às 13:00 horas	Sensor UV1	41340	0,45	0,27	18433,46	0,00	1,20	-0,05
	Sensor UV2	24410	0,65	0,39	15744,73	0,00	2,14	-0,02
	Painel Solar	41340	4,37	2,02	180553,15	1,13	6,92	1,00
Normais - Notebook								
Todos os horários	Sensor UV1	35244	0,47	0,29	16595,41	0,00	1,27	0,21
	Sensor UV2	13622	0,60	0,36	8159,59	0,02	1,70	0,32
	Painel Solar	35244	5,60	1,22	197236,23	1,25	6,92	1,00
09:30 às 15:00 horas	Sensor UV1	21458	0,60	0,28	12822,08	0,03	1,27	0,33
	Sensor UV2	8548	0,73	0,37	6261,49	0,09	1,70	0,52
	Painel Solar	21458	5,58	1,30	119713,35	2,47	6,92	1,00
11:00 às 13:00 horas	Sensor UV1	8051	0,69	0,24	5585,02	0,12	1,27	0,42
	Sensor UV2	3359	0,87	0,34	2919,04	0,21	1,70	0,58
	Painel Solar	8051	5,40	1,44	43503,91	2,47	6,91	1,00
Sem 11:00 às 13:00 horas	Sensor UV1	27193	0,40	0,27	11010,39	0,00	1,14	0,23
	Sensor UV2	10263	0,51	0,32	5240,55	0,02	1,64	0,47
	Painel Solar	27193	5,65	1,13	153732,32	1,25	6,92	1,00
Normais - Bateria 9V								
Todos os horários	Sensor UV1	19958	0,56	0,28	11226,73	0,00	1,64	0,82
	Sensor UV2	19958	0,80	0,43	15918,96	0,00	2,52	0,86
	Painel Solar	19958	1,92	0,41	38321,88	0,77	3,03	1,00
09:30 às 15:00 horas	Sensor UV1	15982	0,64	0,24	10215,00	0,19	1,64	0,73
	Sensor UV2	15982	0,92	0,38	14712,11	0,26	2,52	0,78
	Painel Solar	15982	2,03	0,36	32514,73	0,77	3,03	1,00
11:00 às 13:00 horas	Sensor UV1	5811	0,65	0,32	3803,66	0,21	1,64	0,74
	Sensor UV2	5811	0,93	0,45	5414,78	0,30	2,52	0,74
	Painel Solar	5811	1,98	0,46	11501,06	0,77	3,03	1,00
Sem 11:00 às 13:00 horas	Sensor UV1	14147	0,52	0,25	7423,06	0,00	1,20	0,87
	Sensor UV2	14147	0,74	0,41	10504,18	0,00	2,14	0,93
	Painel Solar	14147	1,90	0,38	26820,83	1,13	2,89	1,00

Fonte: Autoria própria (2019).

Por meio da **Tabela 4.2**, pode-se avaliar com mais clareza a relação entre as variáveis estudadas para diferentes horários, assim como, é possível analisar se essa associação sofre influência da fonte de alimentação escolhida. Para os resultados que considera a relação entre as variáveis para os dados normais, nota-se uma associação mais representativa quando não são considerados os horários de 11:00 às 13:00 horas para os experimentos via bateria 9V, no entanto, para os demais horários essa relação também é significativa. Para todos os experimentos e para os experimentos via porta USB do notebook, a relação mais relevante é observada para o recorte de 11:00 às 13:00 horas. Verifica-se ainda, que os experimentos realizados com a alimentação via bateria de 9V foram os únicos a apresentarem uma relação linear forte para os diferentes horários. É importante salientar que o número de observações registradas para os experimentos com alimentação via bateria de 9V são inferiores aos experimentos com alimentação via porta USB do notebook, podendo influenciar na análise dos resultados.

Na **Figura 4.27** são apresentados os gráficos de dispersão entre MMS painel solar x MMS sensor UV1 e MMS painel solar x MMS sensor UV2, considerando os diferentes horários (todos, 09:30 às 15:00 horas, 11:00 às 13:00 horas e sem 11:00 às 13:00 horas) para todos os experimentos.

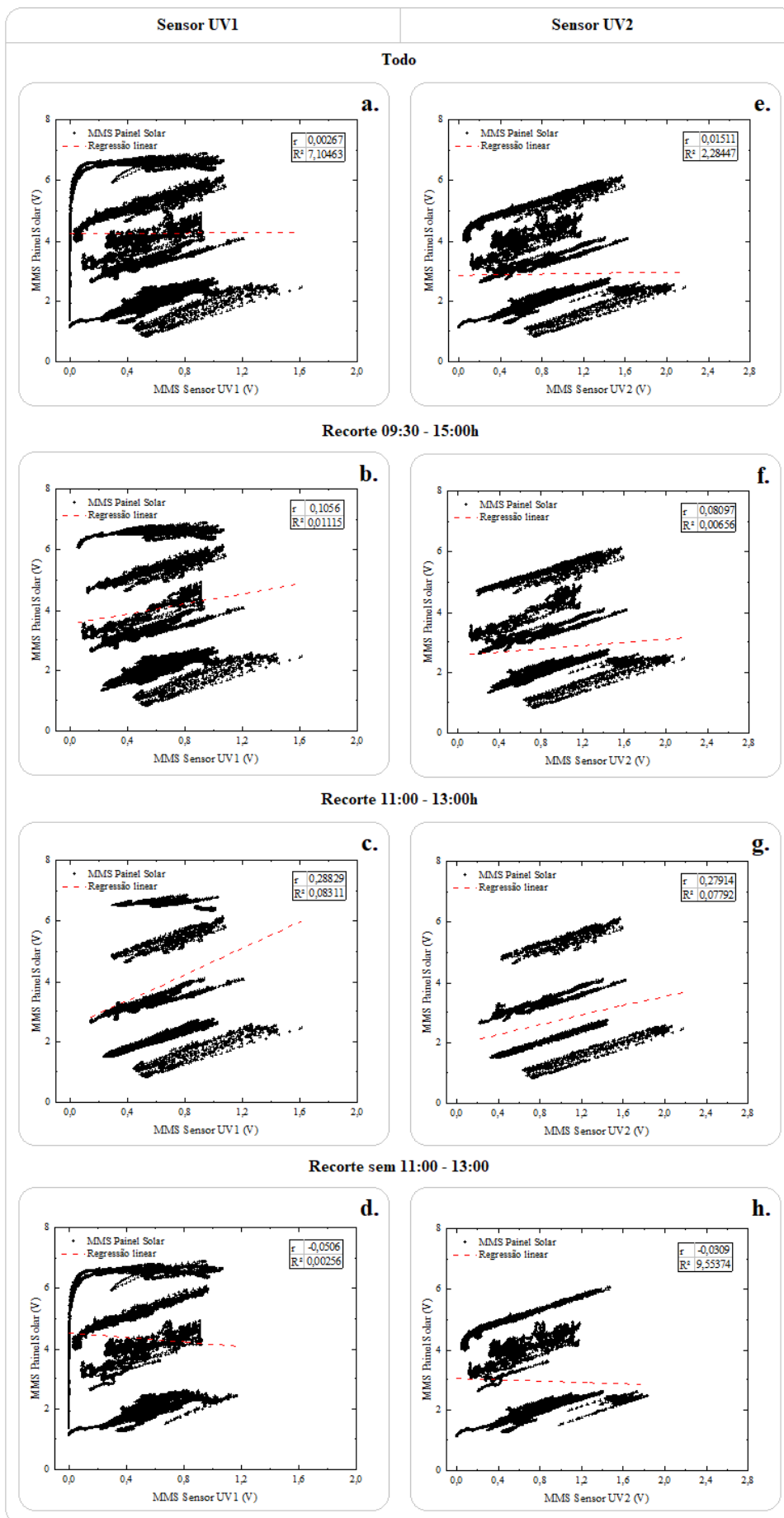


Figura 4.27: Gráficos de dispersão para todos os experimentos. Esquerda: para as variáveis X: MMS sensor UV1 e Y: MMS painel solar, para (a) todos os horários, (b) 09:30 às 15:00 horas, (c) 11:00 às 13:00 horas e (d) sem 11:00 às 13:00 horas. Direita: para as variáveis X: MMS sensor UV2 e Y: MMS painel solar, para (e) todos os horários, (f) 09:30 às 15:00 horas, (g) 11:00 às 13:00 horas e (h) sem 11:00 às 13:00 horas. Fonte: Autoria própria (2019).

Os coeficientes de correlação de Pearson apresentados na **Figura 4.27**, mostram que não há associação linear clara entre as variáveis para todos os recortes de horários. No entanto, é possível observar que as relações mais expressivas são atribuídas para o recorte de 11:00 às 13:00 horas ($r = 0,29$ sensor UV1 e $r = 0,28$ sensor UV2). Para todos os recortes de horários, os coeficientes de Pearson são positivos, contudo, valores negativos são encontrados para o recorte que não considera os horários de 11:00 às 13:00.

Na **Figura 4.28** são apresentados os gráficos de dispersão entre MMS painel solar x MMS sensor UV1 e MMS painel solar x MMS sensor UV2, considerando os diferentes horários (todos, 09:30 às 15:00 horas, 11:00 às 13:00 horas e sem 11:00 às 13:00 horas) para os experimentos alimentados via porta USB do notebook.

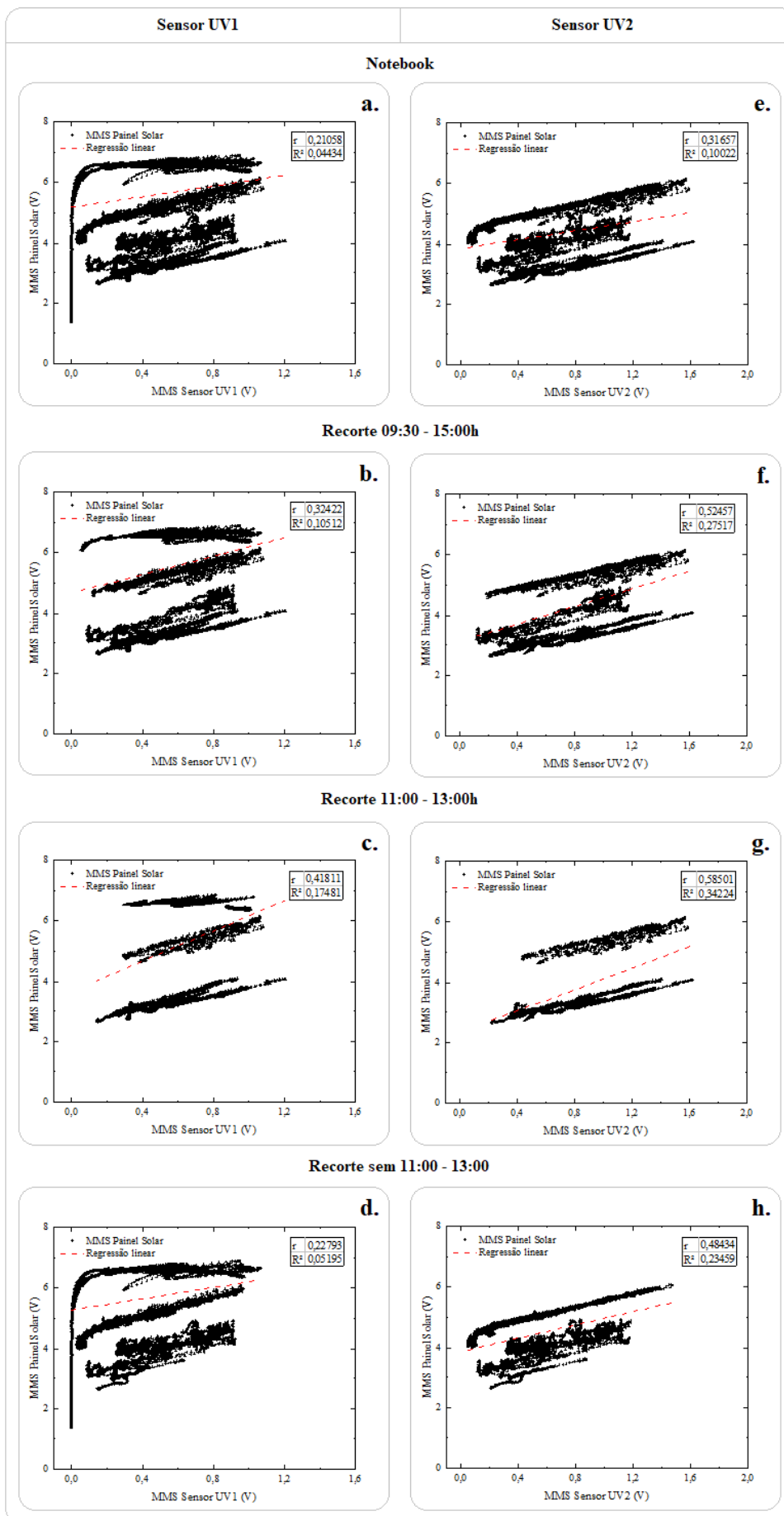


Figura 4.28: Gráficos de dispersão para os experimentos com alimentação via porta USB do notebook. Esquerda: para as variáveis X: MMS sensor UV1 e Y: MMS painel solar, para (a) todos os horários, (b) 09:30 às 15:00 horas, (c) 11:00 às 13:00 horas e (d) sem 11:00 às 13:00 horas. Direita: para as variáveis X: MMS sensor UV2 e Y: MMS painel solar, para (e) todos os horários, (f) 09:30 às 15:00 horas, (g) 11:00 às 13:00 horas e (h) sem 11:00 às 13:00 horas.

Fonte: Autoria própria (2019).

Por meio da **Figura 4.28** é possível notar a associação entre variáveis para os horários dos experimentos com alimentação via porta USB do notebook. Observa-se, que as relações mais expressivas são atribuídas para o recorte de 11:00 às 13:00 horas, com coeficiente de correlação linear moderado e positivo entre as variáveis ($r = 0,42$ sensor UV1 e $r = 0,59$ sensor UV2). Para os demais recortes, os gráficos evidenciam a relação linear fraca e positiva entre o sensor UV1 e o painel solar. Para o sensor UV2, a associação linear é moderada e positiva para quase todos os recortes, com exceção do recorte que contempla todos os horários e que apresenta uma correlação fraca. Valores mais expressivos do grau de relação entre as variáveis é observado para o sensor UV2 em todos os recortes.

Na **Figura 4.29** são apresentados os gráficos de dispersão entre MMS painel solar x MMS sensor UV1 e MMS painel solar x MMS sensor UV2, considerando os diferentes horários (todos, 09:30 às 15:00 horas, 11:00 às 13:00 horas e sem 11:00 às 13:00 horas) para os experimentos realizados com a alimentação da placa Arduino via bateria 9V.

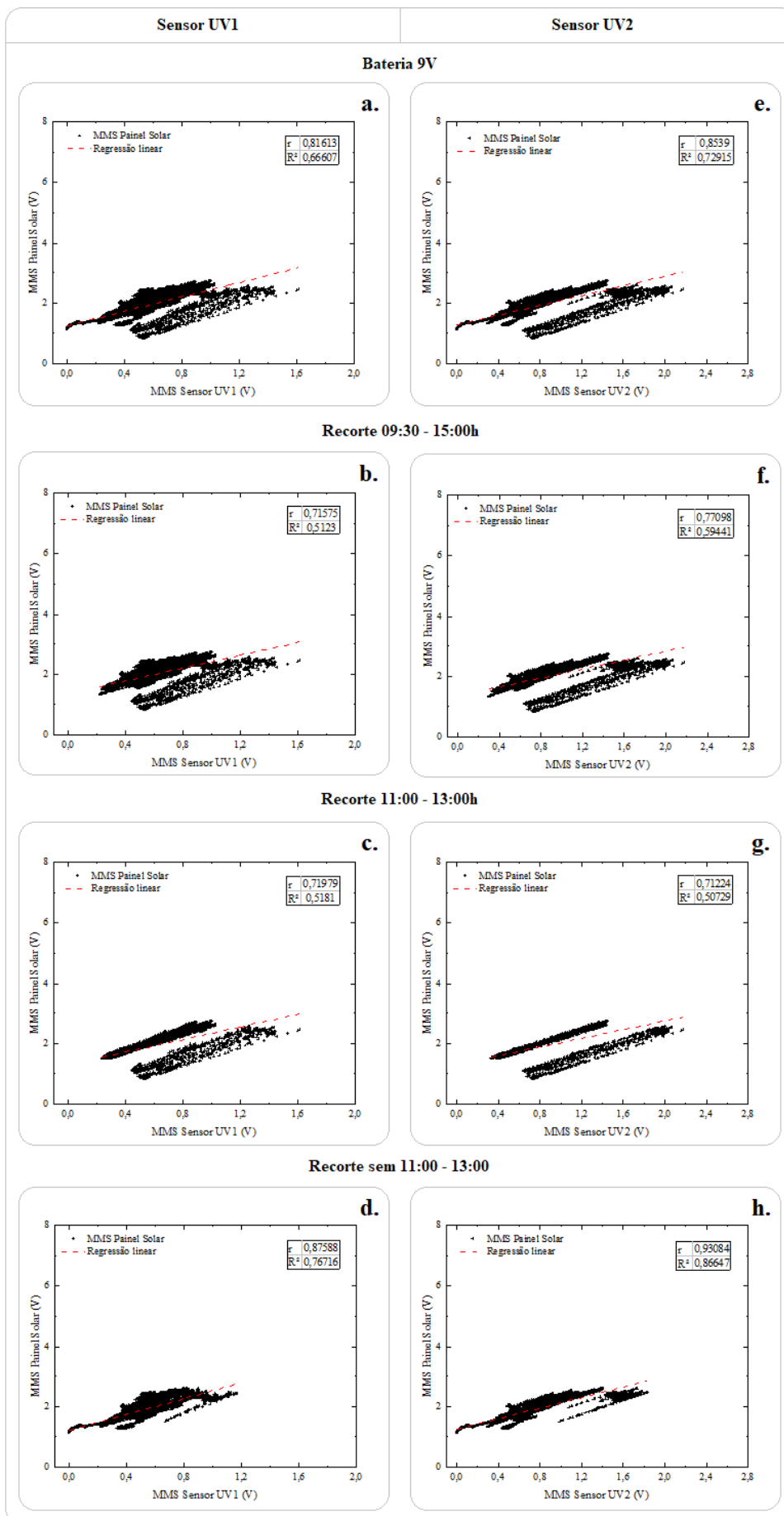


Figura 4.29: Gráficos de dispersão para os experimentos com alimentação via bateria 9V. Esquerda: para as variáveis X: MMS sensor UV1 e Y: MMS painel solar, para (a) todos os horários, (b) 09:30 às 15:00 horas, (c) 11:00 às 13:00 horas e (d) sem 11:00 às 13:00 horas. Direita: para as variáveis X: MMS sensor UV2 e Y: MMS painel solar, para (e) todos os horários, (f) 09:30 às 15:00 horas, (g) 11:00 às 13:00 horas e (h) sem 11:00 às 13:00 horas.

Fonte: Autoria própria (2019).

Observando a **Figura 4.29**, nota-se que o grau de associação linear das variáveis é forte e positivo para todos os recortes de horários dos experimentos com alimentação via bateria de 9V. Verifica-se ainda, que as relações mais fortes são verificadas para o recorte que exclui os horários de 11:00 às 13:00 horas ($r = 0,88$ sensor UV1 e $r = 0,93$ sensor UV2) e para todas as horas ($r = 0,82$ sensor UV1 e $r = 0,85$ sensor UV2). Valores mais expressivos do grau de relação entre as variáveis é observado para o sensor UV2 para quase todos os recortes de horários, com exceção do recorte de 11:00 às 13:00, onde o sensor UV1 apresenta valor mais significativo ($r = 0,72$ sensor UV1 e $r = 0,71$ sensor UV2).

De maneira complementar, a **Tabela 4.3** apresenta o resumo da estatística descritiva da MMS das variáveis (sensor UV1, sensor UV2 e painel solar) considerando os diferentes horários (todos, de 09:30 às 15:00 horas, de 11:00 às 13:00 horas e sem 11:00 às 13:00 horas) para, todos os experimentos, via porta USB do notebook e via bateria de 9V.

Tabela 4.3: Estatística descritiva da MMS painel solar, MMS sensor UV1 e MMS sensor UV2, considerando os diferentes horários (todos, de 09:30 às 15:00 horas, de 11:00 às 13:00 horas e sem 11:00 às 13:00 horas) para: todos os experimentos, via porta USB do notebook e via bateria de 9V.

MMS - Todos		N	Média	Des. P.	Soma	Min	Máx	Correl. Pearson
Todos os horários	Sensor UV1	55175	0,50	0,29	27818,01	0,00	1,61	0,00
	Sensor UV2	33562	0,72	0,41	24077,66	0,00	2,17	0,02
	Painel Solar	55175	4,27	2,03	235484,97	0,83	6,88	1,00
09:30 às 15:00 horas	Sensor UV1	37422	0,62	0,26	23033,76	0,05	1,61	0,11
	Sensor UV2	24512	0,86	0,37	20970,73	0,12	2,17	0,08
	Painel Solar	37422	4,07	2,02	152182,56	0,83	6,88	1,00
11:00 às 13:00 horas	Sensor UV1	13853	0,68	0,27	9384,18	0,14	1,61	0,29
	Sensor UV2	9161	0,91	0,40	8329,24	0,22	2,17	0,28
	Painel Solar	13853	3,97	2,03	54977,31	0,83	6,86	1,00
Sem 11:00 às 13:00 horas	Sensor UV1	41322	0,45	0,27	18433,83	0,00	1,17	-0,05
	Sensor UV2	24401	0,65	0,39	15748,42	0,00	1,84	-0,03
	Painel Solar	41322	4,37	2,01	180507,65	1,13	6,88	1,00
MMS - Notebook								
Todos os horários	Sensor UV1	35217	0,47	0,29	16591,43	0,00	1,21	0,21
	Sensor UV2	13604	0,60	0,36	8153,94	0,05	1,62	0,32
	Painel Solar	35217	5,60	1,21	197149,52	1,36	6,88	1,00
09:30 às 15:00 horas	Sensor UV1	21440	0,60	0,28	12822,08	0,05	1,21	0,32
	Sensor UV2	8530	0,73	0,36	6257,72	0,12	1,62	0,52
	Painel Solar	21440	5,58	1,29	119659,27	2,61	6,88	1,00
11:00 às 13:00 horas	Sensor UV1	8042	0,69	0,24	5586,41	0,14	1,21	0,42
	Sensor UV2	3350	0,87	0,33	2919,62	0,22	1,62	0,59
	Painel Solar	8042	5,41	1,44	43480,36	2,63	6,86	1,00
Sem 11:00 às 13:00 horas	Sensor UV1	27175	0,40	0,27	11005,02	0,00	1,07	0,23
	Sensor UV2	10254	0,51	0,32	5234,32	0,05	1,48	0,48
	Painel Solar	27175	5,65	1,13	153669,16	1,36	6,88	1,00
MMS - Bateria 9V								
Todos os horários	Sensor UV1	19958	0,56	0,27	11226,58	0,00	1,61	0,82
	Sensor UV2	19958	0,80	0,42	15923,73	0,00	2,17	0,85
	Painel Solar	19958	1,92	0,39	38335,44	0,83	2,73	1,00
09:30 às 15:00 horas	Sensor UV1	15982	0,64	0,24	10211,68	0,22	1,61	0,72
	Sensor UV2	15982	0,92	0,37	14713,01	0,30	2,17	0,77
	Painel Solar	15982	2,03	0,35	32523,29	0,83	2,73	1,00
11:00 às 13:00 horas	Sensor UV1	5811	0,65	0,30	3797,77	0,24	1,61	0,72
	Sensor UV2	5811	0,93	0,43	5409,63	0,33	2,17	0,71
	Painel Solar	5811	1,98	0,43	11496,95	0,83	2,73	1,00
Sem 11:00 às 13:00 horas	Sensor UV1	14147	0,53	0,25	7428,81	0,00	1,17	0,88
	Sensor UV2	14147	0,74	0,40	10514,10	0,00	1,84	0,93
	Painel Solar	14147	1,90	0,37	26838,49	1,13	2,59	1,00

Fonte: Autoria própria (2019).

Considerando a relação entre MMS das variáveis (**Tabela 4.3**), é observado o mesmo aspecto relatado para a **Tabela 4.2**. As relações lineares mais significativas entre as variáveis estudadas, são encontradas para o recorte de 11:00 às 13:00 horas, para todos os experimentos e experimentos com alimentação via porta USB do notebook. Para os experimentos realizados via bateria 9V, os coeficientes com maior grau de relação linear entre as variáveis são atribuídos ao recorte sem os horários de 11:00 às 13:00. Valores menos expressivos do coeficiente de correlação de Pearson são atribuídos ao recorte que contempla todos os horários e ao recorte sem os horários de 11:00 às 13:00, para todos os experimentos e via porta USB do notebook. Para os experimentos com alimentação via bateria 9V, os valores menos representativos são atribuídos ao recorte de 11:00 às 13:00 horas e ao recorte de 09:30 às 15:00 horas. Observa-se também, que o grau de associação linear forte e positivo entre as variáveis é verificado apenas para os experimentos via bateria 9V. Isso sugere que a alimentação da placa Arduino é mais eficiente quando se utiliza a bateria de 9V como fonte, no entanto, é preciso considerar que o número de observações para os experimentos via bateria 9V, já citados anteriormente.

Na **Figura 4.30** são apresentados os gráficos de dispersão entre delta painel solar x delta sensor UV1 e delta painel solar x delta sensor UV2, considerando os diferentes horários (todos, 09:30 às 15:00 horas, 11:00 às 13:00 horas e sem 11:00 às 13:00 horas) para todos os experimentos.

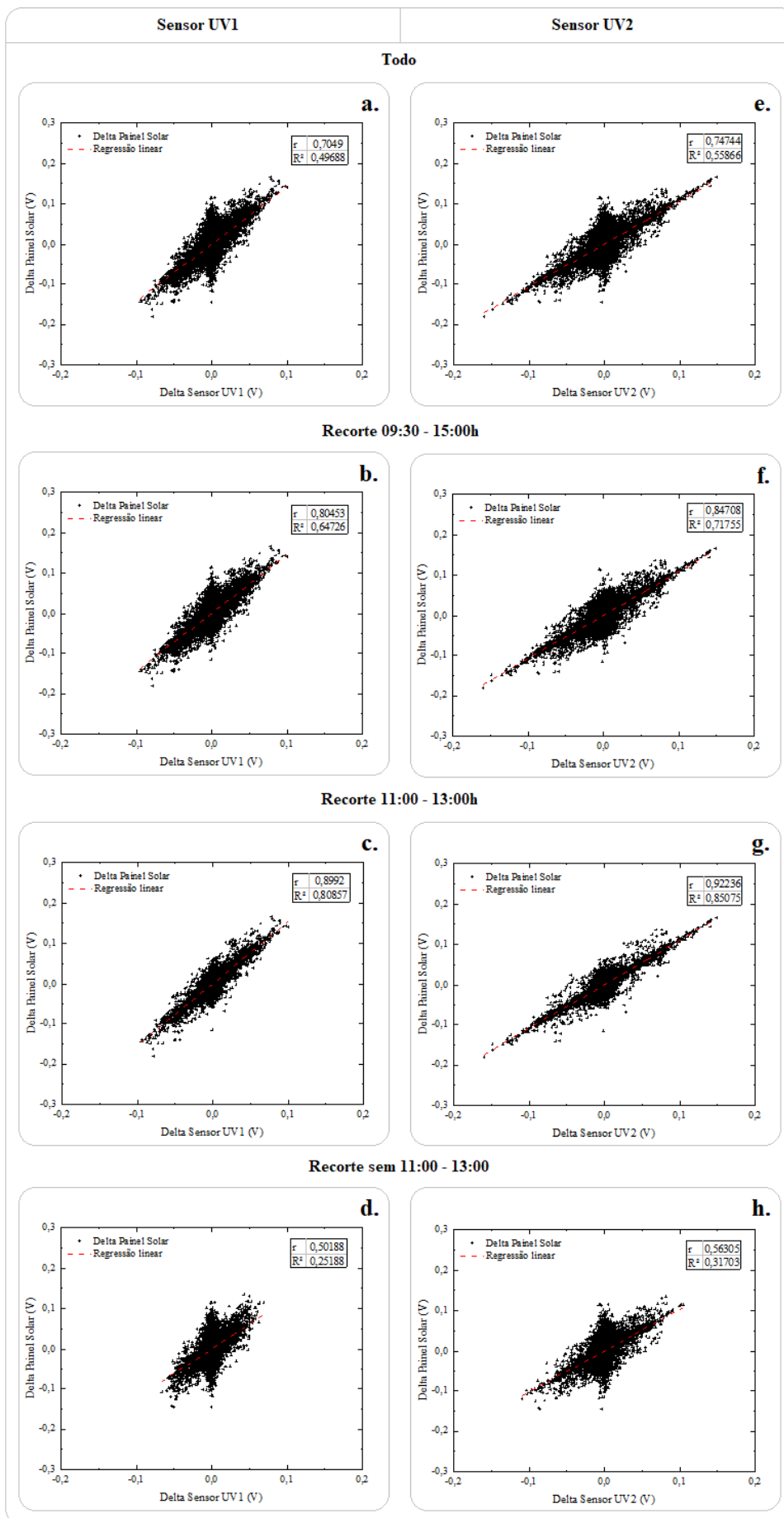


Figura 4.30: Gráficos de dispersão para todos os experimentos. Esquerda: para as variáveis X: delta sensor UV1 e Y: delta painel solar, para (a) todos os horários, (b) 09:30 às 15:00 horas, (c) 11:00 às 13:00 horas e (d) sem 11:00 às 13:00 horas. Direita: para as variáveis X: delta sensor UV2 e Y: delta painel solar, para (e) todos os horários, (f) 09:30 às 15:00 horas, (g) 11:00 às 13:00 horas e (h) sem 11:00 às 13:00 horas. Fonte: A autoria própria (2019).

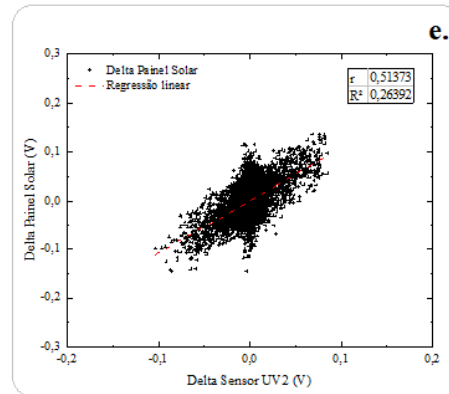
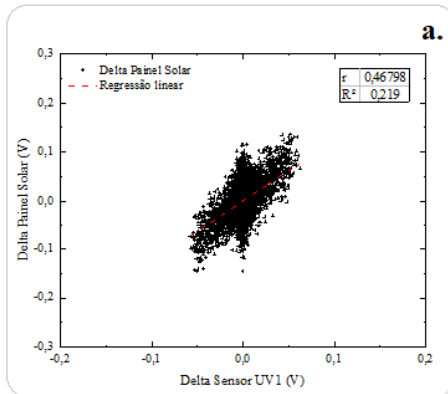
A **Figura 4.30** mostra a nuvem de dados para diferentes horários com grau de associação linear com valores positivos, isto é, as variáveis estudadas tendem aumentar e diminuir em conjunto, considerando todos os experimentos. As relações mais fortes são verificadas para o recorte de 11:00 às 13:00 horas ($r = 0,90$ sensor UV1 e $r = 0,92$ sensor UV2) e para o recorte de 09:30 às 15:00 horas ($r = 0,80$ sensor UV1 e $r = 0,85$ sensor UV2). O recorte em que não são considerados os horários de 11:00 às 13:00 horas, apresenta grau de associação moderado entre as variáveis. Valores mais expressivos do grau de relação entre as variáveis é observado novamente para o sensor UV2 em todos os recortes de horários.

Na **Figura 4.31** são apresentados os gráficos de dispersão entre delta painel solar x delta sensor UV1 e delta painel solar x delta sensor UV2, considerando os diferentes horários (todos, 09:30 às 15:00 horas, 11:00 às 13:00 horas e sem 11:00 às 13:00 horas) para os experimentos realizados com a alimentação da placa Arduino via porta USB do notebook.

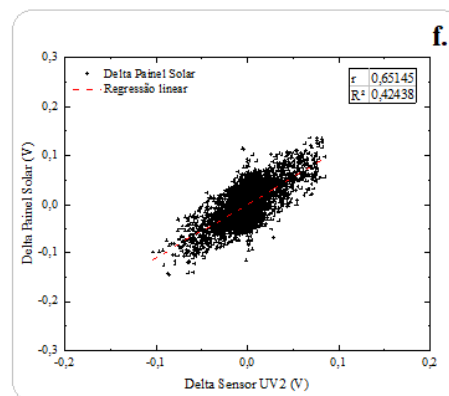
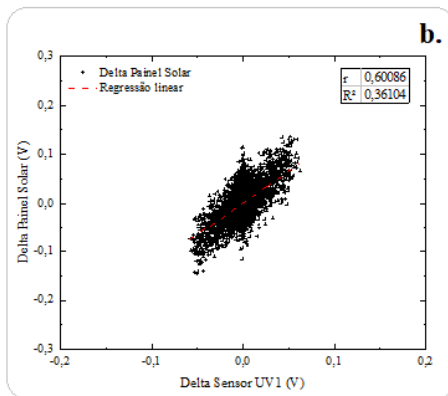
Sensor UV1

Sensor UV2

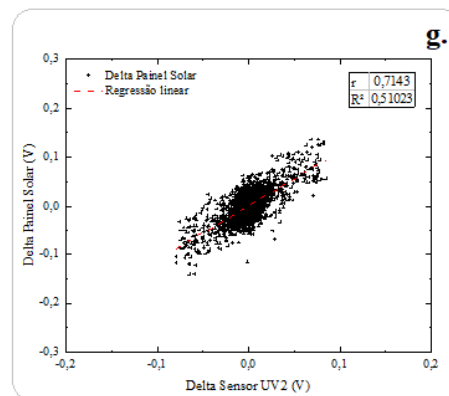
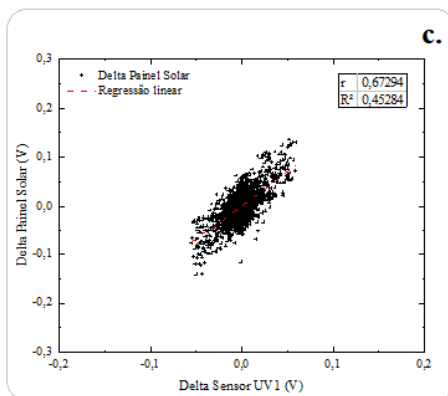
Notebook



Recorte 09:30 - 15:00h



Recorte 11:00 - 13:00h



Recorte sem 11:00 - 13:00

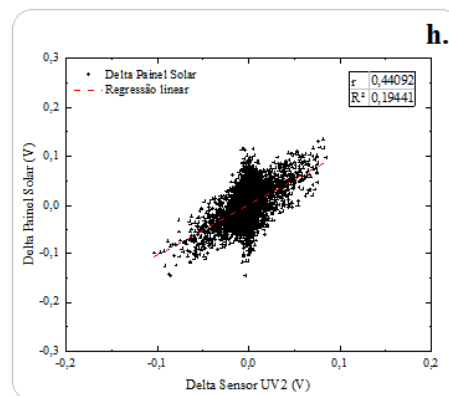
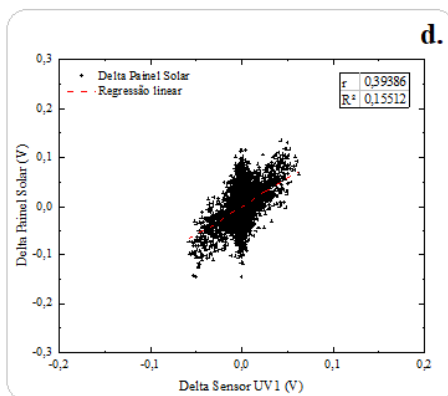


Figura 4.31: Gráficos de dispersão para os experimentos com alimentação via porta USB do notebook. Esquerda: para as variáveis X: delta sensor UV1 e Y: delta painel solar, para (a) todos os horários, (b) 09:30 às 15:00 horas, (c) 11:00 às 13:00 horas e (d) sem 11:00 às 13:00 horas. Direita: para as variáveis X: delta sensor UV2 e Y: delta painel solar, para (e) todos os horários, (f) 09:30 às 15:00 horas, (g) 11:00 às 13:00 horas e (h) sem 11:00 às 13:00 horas.

Fonte: Autoria própria (2019).

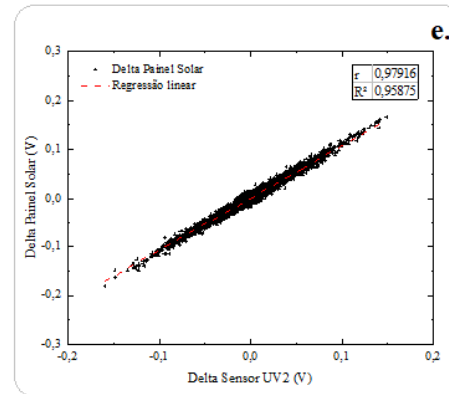
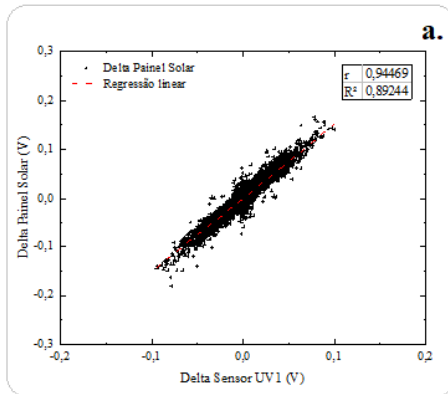
Através da **Figura 4.31** é possível notar a nuvem de dados para diferentes horários com grau de associação menor para os experimentos via porta USB do notebook do que considerando todos os experimentos (**Figura 4.30**). As relações lineares mais significativas entre as variáveis, são encontradas para os recorte de 11:00 às 13:00 horas ($r = 0,67$ sensor UV1 e $r = 0,71$ sensor UV2) e recorte de 09:30 às 15:00 horas ($r = 0,60$ sensor UV1 e $r = 0,65$ sensor UV2). O recorte que exclui os horários de 11:00 às 13:00 horas representa o grau de associação menos representativo ($r = 0,39$ sensor UV1 e $r = 0,44$ sensor UV2). Comparando os dois sensores UV, observa-se que os valores mais significantes do coeficiente de correlação de Pearson são atribuídos para o sensor UV2 em todos os recortes de horários.

Na **Figura 4.32** são apresentados os gráficos de dispersão entre delta painel solar x delta sensor UV1 e delta painel solar x delta sensor UV2, considerando os diferentes horários (todos, 09:30 às 15:00 horas, 11:00 às 13:00 horas e sem 11:00 às 13:00 horas) para os experimentos realizados com a alimentação da placa Arduino via bateria 9V.

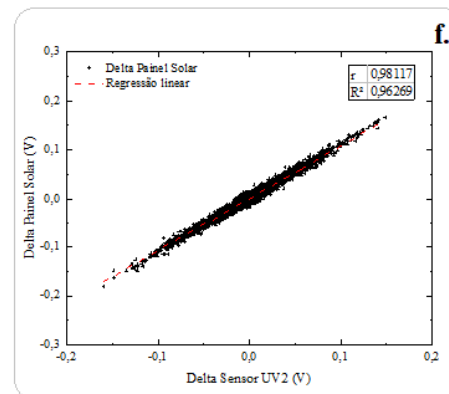
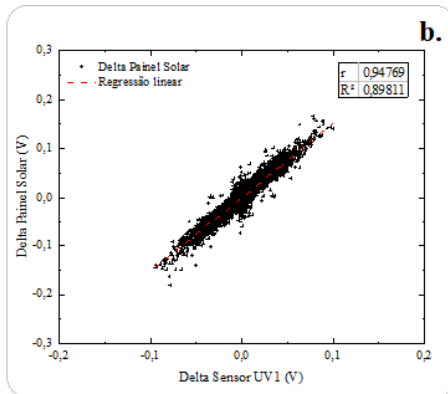
Sensor UV1

Sensor UV2

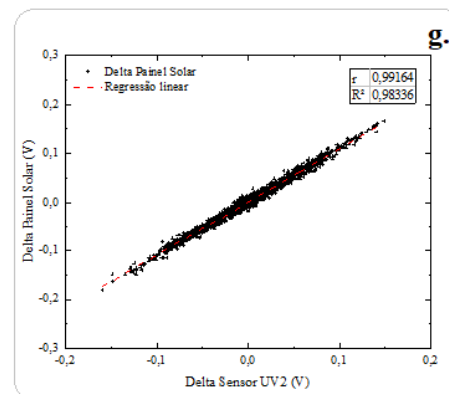
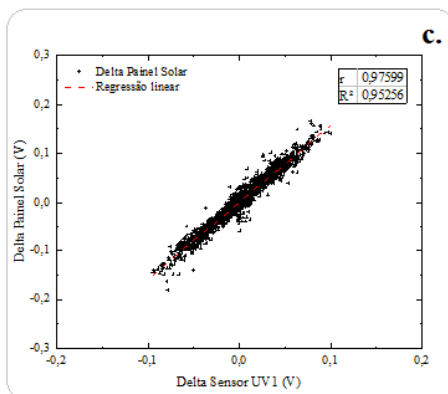
Bateria 9V



Recorte 09:30 - 15:00h



Recorte 11:00 - 13:00h



Recorte sem 11:00 - 13:00

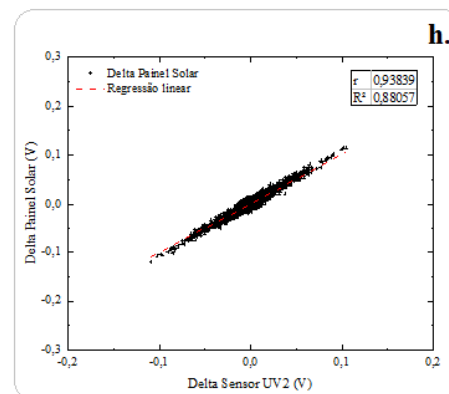
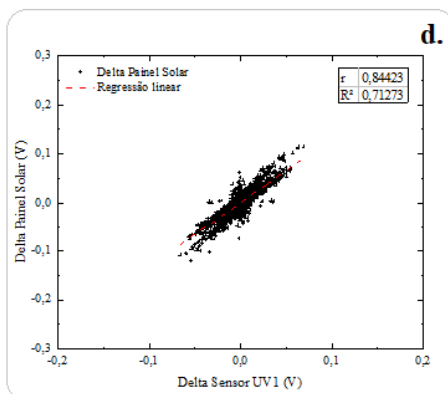


Figura 4.32: Gráficos de dispersão para os experimentos com alimentação via bateria 9V. Esquerda: para as variáveis X: delta sensor UV1 e Y: delta painel solar, para (a) todos os horários, (b) 09:30 às 15:00 horas, (c) 11:00 às 13:00 horas e (d) sem 11:00 às 13:00 horas. Direita: para as variáveis X: delta sensor UV2 e Y: delta painel solar, para (e) todos os horários, (f) 09:30 às 15:00 horas, (g) 11:00 às 13:00 horas e (h) sem 11:00 às 13:00 horas. Fonte: Autoria própria (2019).

Na **Figura 4.32** pode-se observar a nuvem de dados menos dispersa em relação a reta de regressão linear, evidenciando o comportamento linear forte e positivo entre delta painel solar e delta sensores UV em todos os recortes de horários avaliados para os experimentos com alimentação via bateria de 9V. As relações mais relevantes são verificadas para os recorte de 11:00 às 13:00 horas ($r = 0,98$ sensor UV1 e $r = 0,99$ sensor UV2) e recorte de 09:30 às 15:00 horas ($r = 0,95$ sensor UV1 e $r = 0,98$ sensor UV2). Comparando os coeficientes de correlação de Pearson dos sensores UV, são observados valores mais expressivos para o sensor UV2 em todos os recortes.

A **Tabela 4.4** é composta pela estatística descritiva do delta das variáveis (sensor UV1, sensor UV2 e painel solar), considerando os diferentes horários (todos, de 09:30 às 15:00 horas, de 11:00 às 13:00 horas e sem 11:00 às 13:00 horas) para, todos os experimentos, via porta USB do notebook e via bateria de 9V.

Tabela 4.4: Estatística descritiva do delta painel solar, delta sensor UV1 e delta sensor UV2, considerando os diferentes horários (todos, de 09:30 às 15:00 horas, de 11:00 às 13:00 horas e sem 11:00 às 13:00 horas) para: todos os experimentos, via porta USB do notebook e via bateria de 9V.

Delta - Todos		N	Média	Des. P.	Soma	Min	Máx	Correl. Pearson
Todos os horários	Sensor UV1	55172	0,00	0,01	-1,12	-0,09	0,10	0,70
	Sensor UV2	33560	0,00	0,02	-1,70	-0,16	0,15	0,75
	Painel Solar	55172	0,00	0,02	-9,96	-0,18	0,17	1,00
09:30 às 15:00 horas	Sensor UV1	37420	0,00	0,01	-0,73	-0,09	0,10	0,80
	Sensor UV2	24510	0,00	0,02	-1,28	-0,16	0,15	0,85
	Painel Solar	37420	0,00	0,02	-2,90	-0,18	0,17	1,00
11:00 às 13:00 horas	Sensor UV1	13852	0,00	0,02	0,26	-0,09	0,10	0,90
	Sensor UV2	9160	0,00	0,03	0,13	-0,16	0,15	0,92
	Painel Solar	13852	0,00	0,03	-0,38	-0,18	0,17	1,00
Sem 11:00 às 13:00 horas	Sensor UV1	41320	0,00	0,01	-1,38	-0,07	0,07	0,50
	Sensor UV2	24400	0,00	0,01	-1,83	-0,11	0,10	0,56
	Painel Solar	41320	0,00	0,02	-9,58	-0,15	0,13	1,00
Delta - Notebook								
Todos os horários	Sensor UV1	35214	0,00	0,01	-1,14	-0,06	0,06	0,47
	Sensor UV2	13602	0,00	0,01	-0,67	-0,10	0,09	0,51
	Painel Solar	35214	0,00	0,02	-6,94	-0,15	0,14	1,00
09:30 às 15:00 horas	Sensor UV1	21438	0,00	0,01	-1,45	-0,06	0,06	0,60
	Sensor UV2	8528	0,00	0,02	-1,09	-0,10	0,09	0,65
	Painel Solar	21438	0,00	0,02	-0,97	-0,15	0,14	1,00
11:00 às 13:00 horas	Sensor UV1	8041	0,00	0,01	-1,07	-0,05	0,06	0,67
	Sensor UV2	3349	0,00	0,02	-1,05	-0,08	0,08	0,71
	Painel Solar	8041	0,00	0,02	-1,34	-0,14	0,14	1,00
Sem 11:00 às 13:00 horas	Sensor UV1	27173	0,00	0,01	-0,06	-0,06	0,06	0,39
	Sensor UV2	10253	0,00	0,01	0,39	-0,10	0,09	0,44
	Painel Solar	27173	0,00	0,02	-5,60	-0,15	0,13	1,00
Delta - Bateria 9V								
Todos os horários	Sensor UV1	19958	0,00	0,01	0,02	-0,09	0,10	0,94
	Sensor UV2	19958	0,00	0,02	-1,03	-0,16	0,15	0,98
	Painel Solar	19958	0,00	0,02	-3,02	-0,18	0,17	1,00
09:30 às 15:00 horas	Sensor UV1	15982	0,00	0,01	0,73	-0,09	0,10	0,95
	Sensor UV2	15982	0,00	0,02	-0,18	-0,16	0,15	0,98
	Painel Solar	15982	0,00	0,02	-1,92	-0,18	0,17	1,00
11:00 às 13:00 horas	Sensor UV1	5811	0,00	0,02	1,33	-0,09	0,10	0,98
	Sensor UV2	5811	0,00	0,03	1,19	-0,16	0,15	0,99
	Painel Solar	5811	0,00	0,04	0,96	-0,18	0,17	1,00
Sem 11:00 às 13:00 horas	Sensor UV1	14147	0,00	0,01	-1,31	-0,07	0,07	0,84
	Sensor UV2	14147	0,00	0,01	-2,21	-0,11	0,10	0,94
	Painel Solar	14147	0,00	0,01	-3,98	-0,12	0,11	1,00

Fonte: Autoria própria (2019).

Como citado anteriormente, na seção de metodologia, o cálculo do delta foi empregue para avaliar os momentos de oscilações na série de dados. Valores positivos de delta representam períodos com maior geração de energia solar e/ou radiação solar ultravioleta (sensores UV). Para valores negativos de delta, o comportamento inverso é observado. Os valores próximos a zero não apresentam significativas mudanças nas variáveis.

Através da análise da **Tabela 4.4** é observado que as oscilações dos sensores UV e do painel solar possuem maior grau de relação linear entre as variáveis para o recorte de 11:00 às 13:00 horas, enquanto, os valores do coeficiente de correlação de Pearson menos significativos são atribuídos ao recorte sem os horários de 11:00 às 13:00 horas (para todos os experimentos, experimentos com alimentação via porta USB do notebook e via bateria 9V). Este aspecto pode ser atribuído ao ângulo perpendicular de incidência da radiação solar na superfície durante este período, que permite o aumento da captação dos raios solares pelos sensores UV e painel solar fotovoltaico. Devido ao deslocamento do sol ao longo do dia, estudos mostram que para se obter a máxima potência, o sistema fotovoltaico deve ser ajustado de modo a estar sempre direcionado precisamente para o sol, sugerindo o uso de um sistema de rastreamento solar (EKE e SENTURK, 2012). De acordo com Tuohy et al. (2015), as plantas que possuem rastreamento solar apresentam também maior precisão de previsão comparado com àquelas que não possuem o rastreador. De acordo com a **Tabela 4.4**, observa-se ainda, que o grau de associação forte e positivo entre as variáveis é verificado para os experimentos via bateria 9V em todos os horários analisados, diferente dos experimentos com fonte de alimentação via USB do notebook. Isso sugere que a bateria de 9V é mais eficiente como fonte de alimentação para o equipamento de detecção de nuvens, no entanto, é fundamental ressaltar que o número de observações dos experimentos via bateria 9V são inferiores aos experimentos via USB do notebook, podendo contribuir para tal resultado.

Na **Figura 4.33** são apresentados os gráficos de dispersão entre delta painel solar x delta sensor UV1 e delta painel solar x delta sensor UV2 para os valores de delta painel solar maiores ou iguais a 0,1V, considerando os diferentes horários (todos, 09:30 às 15:00 horas, 11:00 às 13:00 horas e sem 11:00 às 13:00 horas) para todos os experimentos.

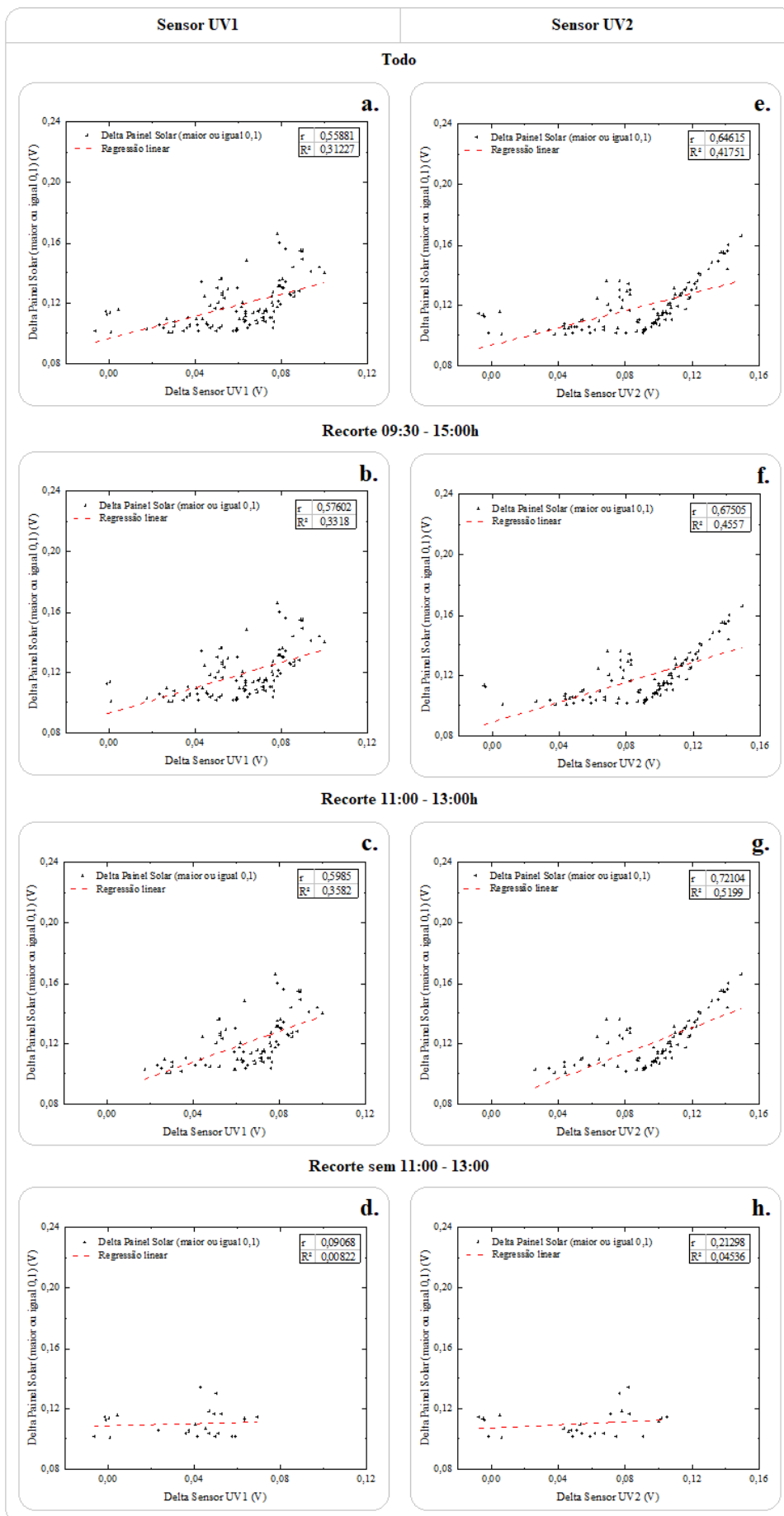


Figura 4.33: Gráficos de dispersão para todos os experimentos. Esquerda: para as variáveis X: delta sensor UV1 e Y: delta painel solar maior ou igual a 0,1V, para (a) todos os horários, (b) 09:30 às 15:00 horas, (c) 11:00 às 13:00 horas e (d) sem 11:00 às 13:00 horas. Direita: para as variáveis X: delta sensor UV2 e Y: delta painel solar maior ou igual a 0,1V, para (e) todos os horários, (f) 09:30 às 15:00 horas, (g) 11:00 às 13:00 horas e (h) sem 11:00 às 13:00 horas.

Fonte: Autoria própria (2019).

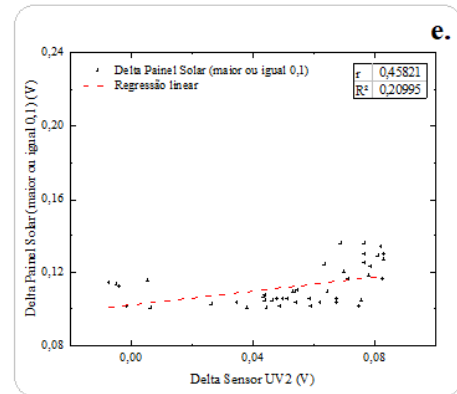
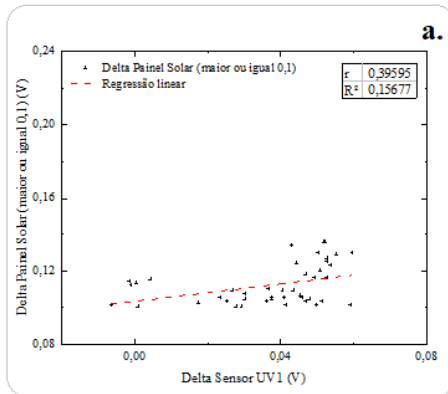
Análogo a avaliação realizada para o valor de delta das variáveis estudadas, a **Figura 4.33** mostra os gráficos de dispersão e os coeficientes de correlação linear entre delta painel solar e os deltas dos sensores UV (sensor UV1 e sensor UV2), considerando apenas os valores maiores ou iguais a 0,1V registrados pelo painel solar. Através dessa análise, é possível averiguar se o aumento da geração de energia solar é acompanhado pelo aumento da radiação solar ultravioleta. Considerando todos os experimentos, observa-se que o grau de relação linear mais significativa entre as variáveis ocorre para o recorte de 11:00 às 13:00 horas, com coeficiente de correlação linear moderado e positivo para o sensor UV1 ($r = 0,60$ sensor UV1) e forte e positivo para o sensor UV2 ($r = 0,72$ sensor UV2). O recorte em que não são considerados os horários de 11:00 às 13:00 horas apresentou a relação linear menos representativa, com correlação linear inexistente para o sensor UV1 e fraca para o sensor UV2 ($r = 0,09$ sensor UV1 e $r = 0,21$ sensor UV2). Para os demais recortes a associação linear entre as variáveis é moderada e positiva. Esses resultados indicam que o aumento na geração de energia solar fotovoltaica é moderadamente acompanhado pelo aumento da radiação solar ultravioleta para os horários com maior fluxo de radiação solar incidente.

Na **Figura 4.34** são apresentados os gráficos de dispersão entre delta painel solar x delta sensor UV1 e delta painel solar x delta sensor UV2 para os valores de delta painel solar maiores ou iguais a 0,1V, considerando os diferentes horários (todos, 09:30 às 15:00 horas, 11:00 às 13:00 horas e sem 11:00 às 13:00 horas) para os experimentos com a alimentação da placa Arduino via porta USB do notebook.

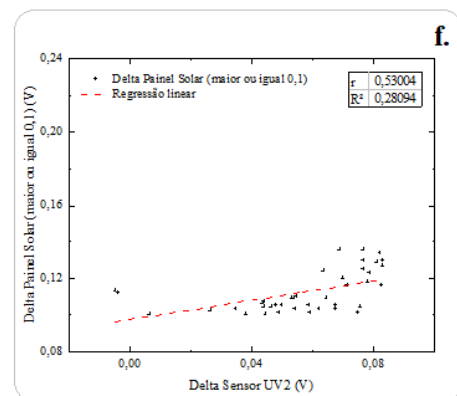
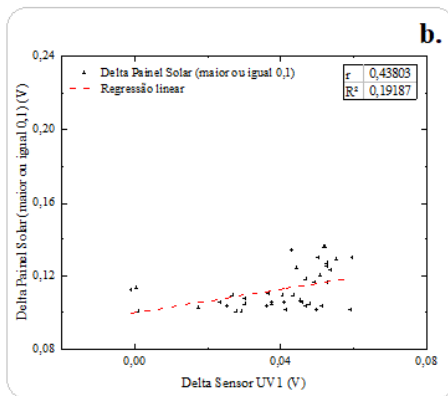
Sensor UV1

Sensor UV2

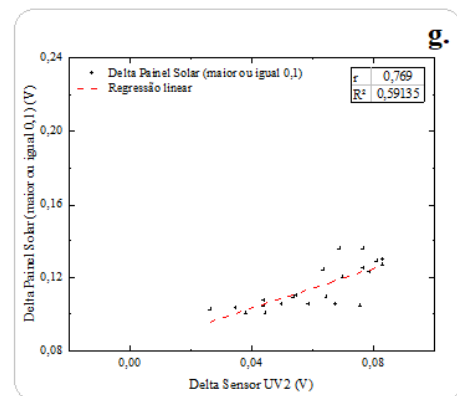
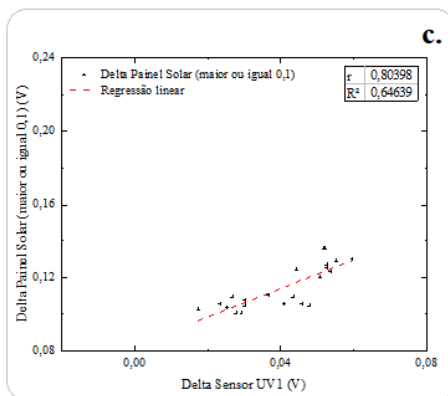
Notebook



Recorte 09:30 - 15:00h



Recorte 11:00 - 13:00h



Recorte sem 11:00 - 13:00

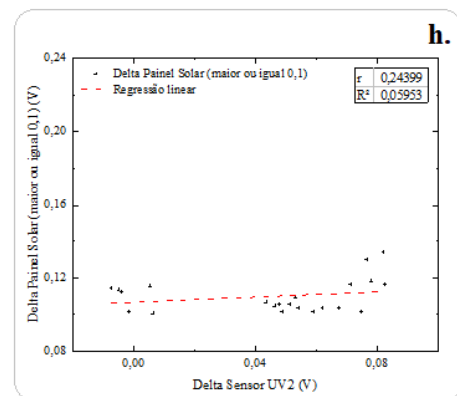
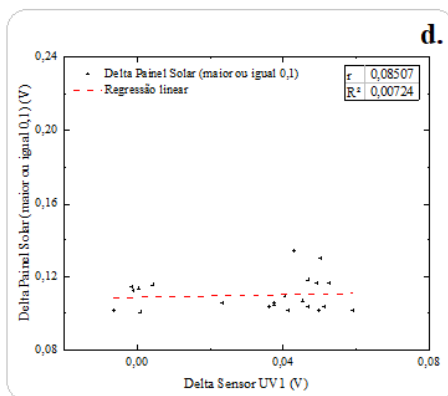


Figura 4.34: Gráficos de dispersão para os experimentos com alimentação via porta USB do notebook. Esquerda: para as variáveis X: delta sensor UV1 e Y: delta painel solar maior ou igual a 0,1V, para (a) todos os horários, (b) 09:30 às 15:00 horas, (c) 11:00 às 13:00 horas e (d) sem 11:00 às 13:00 horas. Direita: para as variáveis X: delta sensor UV2 e Y: delta painel solar maior ou igual a 0,1V, para (e) todos os horários, (f) 09:30 às 15:00 horas, (g) 11:00 às 13:00 horas e (h) sem 11:00 às 13:00 horas.
Fonte: Aatoria própria (2019).

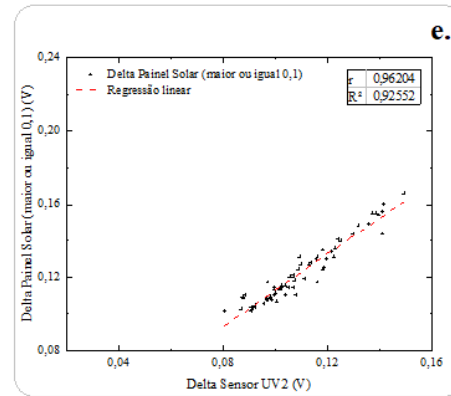
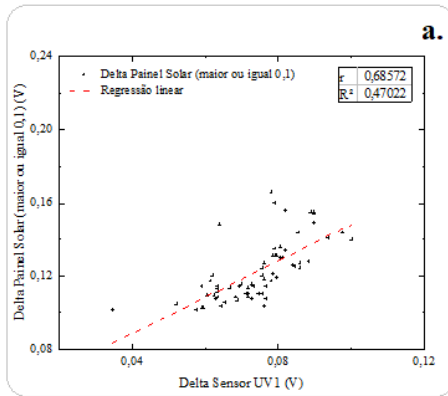
Observando a **Figura 4.34**, que exhibe os coeficientes de correlação de Pearson para os experimentos realizados via porta USB do notebook, verifica-se que o grau de relação linear entre as variáveis avaliadas é forte e positiva para os horários de 11:00 às 13:00 horas ($r = 0,80$ sensor UV1 e $r = 0,77$ sensor UV2). Enquanto, o recorte sem os horários de 11:00 às 13:00 horas não apresenta uma relação linear clara para o painel solar x sensor UV1 e fraco e positivo entre painel solar x sensor UV2 ($r = 0,09$ sensor UV1 e $r = 0,24$ sensor UV2). Além disso, para quase todos os recortes (com exceção do recorte de 11:00 às 13:00 horas), o sensor UV2 obteve o grau de relação linear mais representativo entre os sensores UV avaliados.

Na **Figura 4.35** são apresentados os gráficos de dispersão entre delta painel solar x delta sensor UV1 e delta painel solar x delta sensor UV2 para os valores de delta painel solar maiores ou iguais a 0,1V, considerando os diferentes horários (todos, 09:30 às 15:00 horas, 11:00 às 13:00 horas e sem 11:00 às 13:00 horas) para os experimentos realizados com a alimentação da placa Arduino via bateria 9V.

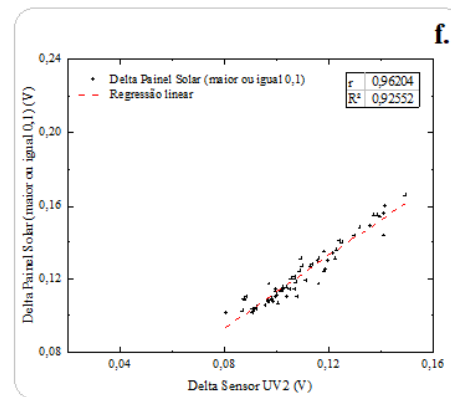
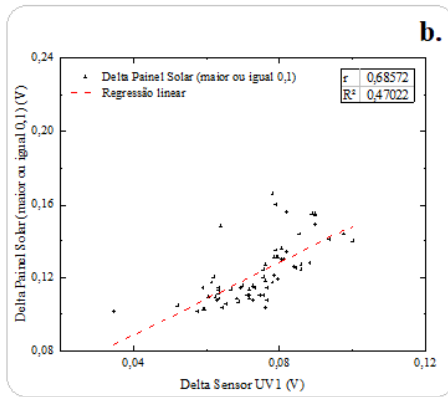
Sensor UV1

Sensor UV2

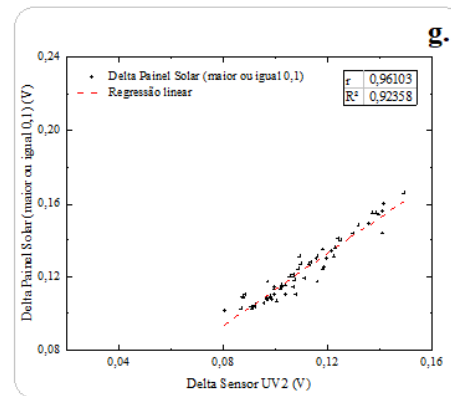
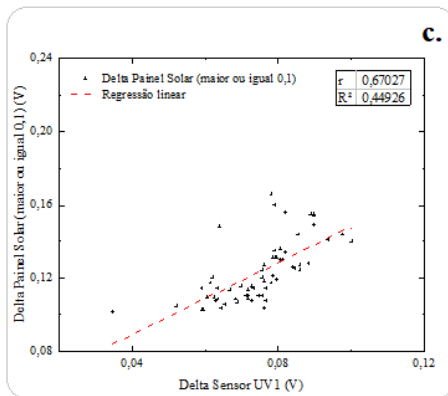
Bateria 9V



Recorte 09:30 - 15:00h



Recorte 11:00 - 13:00h



Recorte sem 11:00 - 13:00

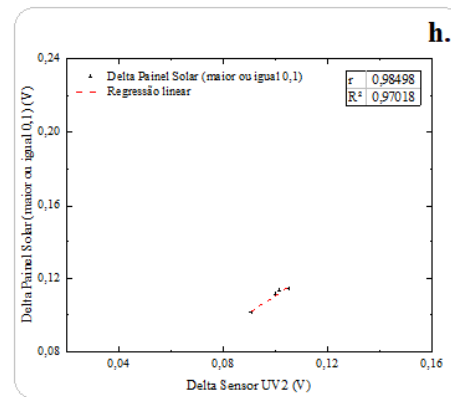
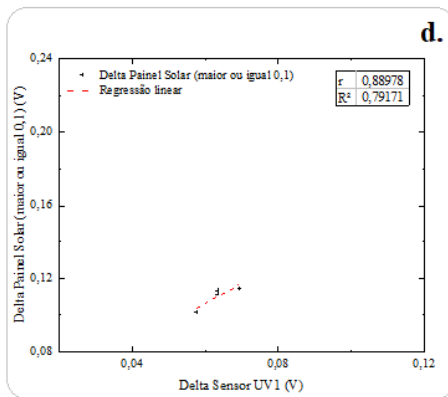


Figura 4.35: Gráficos de dispersão para os experimentos com alimentação via bateria 9V. Esquerda: para as variáveis X: delta sensor UV1 e Y: delta painel solar maior ou igual a 0,1V, para (a) todos os horários, (b) 09:30 às 15:00 horas, (c) 11:00 às 13:00 horas e (d) sem 11:00 às 13:00 horas. Direita: para as variáveis X: delta sensor UV2 e Y: delta painel solar maior ou igual a 0,1V, para (e) todos os horários, (f) 09:30 às 15:00 horas, (g) 11:00 às 13:00 horas e (h) sem 11:00 às 13:00 horas.

Fonte: Autoria própria (2019).

Os coeficientes de correlação de Pearson para os experimentos com alimentação via bateria 9V, são apresentados na **Figura 4.35**. Nota-se que, para todos os recortes de horas avaliados, a nuvem de dados está mais próxima a reta de regressão linear do que os gráficos para os experimentos via porta USB do notebook. Os gráficos revelam uma relação forte e positiva entre o painel solar x sensor UV2, e moderada e positiva entre painel solar x sensor UV1 para o recorte que contempla todos os horários ($r = 0,69$ sensor UV1 e $r = 0,96$ sensor UV2). Avaliando o grau de relação entre as variáveis para os distintos recortes de horas, é observada para o recorte sem 11:00 às 13:00 horas os valores mais relevantes ($r = 0,89$ sensor UV1 e $r = 0,98$ sensor UV2), contudo, considerando a nuvem de dados para esse horário, percebe-se que o menor número de observações são atribuídos para este recorte ($n = 4$). De acordo com Figueiredo Filho e Silva Júnior (2009), quando se utiliza o coeficiente de correlação de Pearson, amostras pequenas precisam ser avaliadas com cuidado, pois não produzem estimativas confiáveis para a população. De maneira geral, os resultados indicam que o aumento na geração de energia solar fotovoltaica é acompanhado pelo aumento da radiação solar ultravioleta, sobretudo, para o sensor UV2 que apresenta grau de relação linear forte e positivo em todos os horários estudados.

Para auxiliar na análise dos resultados, a **Tabela 4.5** é composta pela estatística descritiva do delta painel solar, delta sensor UV1 e delta sensor UV2 para os valores de delta painel solar maiores ou iguais a 0,1V, considerando os diferentes horários (todos, de 09:30 às 15:00 horas, de 11:00 às 13:00 horas e sem 11:00 às 13:00 horas) para, todos os experimentos, via porta USB do notebook e via bateria de 9V.

Tabela 4.5: Estatística descritiva do delta painel solar, delta sensor UV1 e delta sensor UV2 para os valores de delta painel solar maiores ou iguais a 0,1V, considerando os diferentes horários (todos, de 09:30 às 15:00 horas, de 11:00 às 13:00 horas e sem 11:00 às 13:00 horas) para: todos os experimentos, via porta USB do notebook e via bateria de 9V.

Delta painel solar maior ou igual a 0,1V - Todos		N	Média	Des. P.	Soma	Mín	Máx	Correl. Pearson
Todos os horários	Sensor UV1	110	0,06	0,02	6,50	-0,01	0,10	0,56
	Sensor UV2	110	0,09	0,03	9,56	-0,01	0,15	0,65
	Painel Solar	110	0,12	0,02	13,01	0,10	0,17	1,00
09:30 às 15:00 horas	Sensor UV1	106	0,06	0,02	6,48	0,00	0,10	0,58
	Sensor UV2	106	0,09	0,03	9,52	0,00	0,15	0,68
	Painel Solar	106	0,12	0,02	12,58	0,10	0,17	1,00
11:00 às 13:00 horas	Sensor UV1	84	0,07	0,02	5,54	0,02	0,10	0,60
	Sensor UV2	84	0,10	0,03	8,17	0,03	0,15	0,72
	Painel Solar	84	0,12	0,02	10,15	0,10	0,17	1,00
Sem 11:00 às 13:00 horas	Sensor UV1	26	0,04	0,02	0,96	-0,01	0,07	0,09
	Sensor UV2	26	0,05	0,03	1,39	-0,01	0,10	0,21
	Painel Solar	26	0,11	0,01	2,86	0,10	0,13	1,00
Delta painel solar maior ou igual a 0,1V - Notebook								
Todos os horários	Sensor UV1	44	0,04	0,02	1,61	-0,01	0,06	0,40
	Sensor UV2	44	0,05	0,03	2,33	-0,01	0,08	0,46
	Painel Solar	44	0,11	0,01	4,94	0,10	0,14	1,00
09:30 às 15:00 horas	Sensor UV1	40	0,04	0,02	1,59	0,00	0,06	0,44
	Sensor UV2	40	0,06	0,02	2,28	0,00	0,08	0,53
	Painel Solar	40	0,11	0,01	4,50	0,10	0,14	1,00
11:00 às 13:00 horas	Sensor UV1	22	0,04	0,01	0,90	0,02	0,06	0,80
	Sensor UV2	22	0,06	0,02	1,34	0,03	0,08	0,77
	Painel Solar	22	0,11	0,01	2,52	0,10	0,14	1,00
Sem 11:00 às 13:00 horas	Sensor UV1	22	0,03	0,02	0,71	-0,01	0,06	0,09
	Sensor UV2	22	0,05	0,03	0,99	-0,01	0,08	0,24
	Painel Solar	22	0,11	0,01	2,42	0,10	0,13	1,00
Delta painel solar maior ou igual a 0,1V - Bateria 9V								
Todos os horários	Sensor UV1	66	0,07	0,01	4,89	0,03	0,10	0,69
	Sensor UV2	66	0,11	0,02	7,23	0,08	0,15	0,96
	Painel Solar	66	0,12	0,02	8,08	0,10	0,17	1,00
09:30 às 15:00 horas	Sensor UV1	66	0,07	0,01	4,89	0,03	0,10	0,69
	Sensor UV2	66	0,11	0,02	7,23	0,08	0,15	0,96
	Painel Solar	66	0,12	0,02	8,08	0,10	0,17	1,00
11:00 às 13:00 horas	Sensor UV1	62	0,07	0,01	4,64	0,03	0,10	0,67
	Sensor UV2	62	0,11	0,02	6,84	0,08	0,15	0,96
	Painel Solar	62	0,12	0,02	7,63	0,10	0,17	1,00
Sem 11:00 às 13:00 horas	Sensor UV1	4	0,06	0,00	0,25	0,06	0,07	0,89
	Sensor UV2	4	0,10	0,01	0,40	0,09	0,10	0,98
	Painel Solar	4	0,11	0,01	0,44	0,10	0,11	1,00

Fonte: Autoria própria (2019).

A **Tabela 4.5** apresenta as informações de estatística descritiva para a análise entre delta painel solar e os deltas dos sensores (sensor UV1 e sensor UV2), considerando apenas os valores maiores ou iguais a 0,1V registrados pelo painel solar. Por meio dessa análise, é possível averiguar se o aumento da geração de energia solar é acompanhado pelo aumento da radiação solar ultravioleta. Observando a **Tabela 4.5** nota-se que o maior grau de relação linear entre as variáveis é observado para o recorte de 11:00 às 13:00 horas, para todos os experimentos e experimentos com alimentação via porta USB do notebook. Enquanto, os experimentos com alimentação via bateria 9V, apresentam maior grau de relação para o recorte sem os horários de 11:00 às 13:00 horas, todavia, é necessário reforçar que o número de observações para esse recorte é inferior aos experimentos efetuados com alimentação via porta USB do notebook. De modo geral, a relação que abrange todos os horários é moderada e positiva (com exceção dos experimentos via bateria 9V), evidenciando que o aumento da geração de energia solar é moderadamente acompanhado pelo aumento da radiação solar ultravioleta. Essa característica é ainda mais acentuada quando observamos apenas o recorte de 11:00 às 13:00 horas, mostrando grau de relação linear forte e positivo entre o painel solar x sensor UV2 e moderado e positivo para painel solar x sensor UV1.

Na **Figura 4.36** são apresentados os gráficos de dispersão entre delta painel solar x delta sensor UV1 e delta painel solar x delta sensor UV2 para os valores de delta painel solar menores ou iguais a -0,1V, considerando os diferentes horários (todos, 09:30 às 15:00 horas, 11:00 às 13:00 horas e sem 11:00 às 13:00 horas) para todos os experimentos.

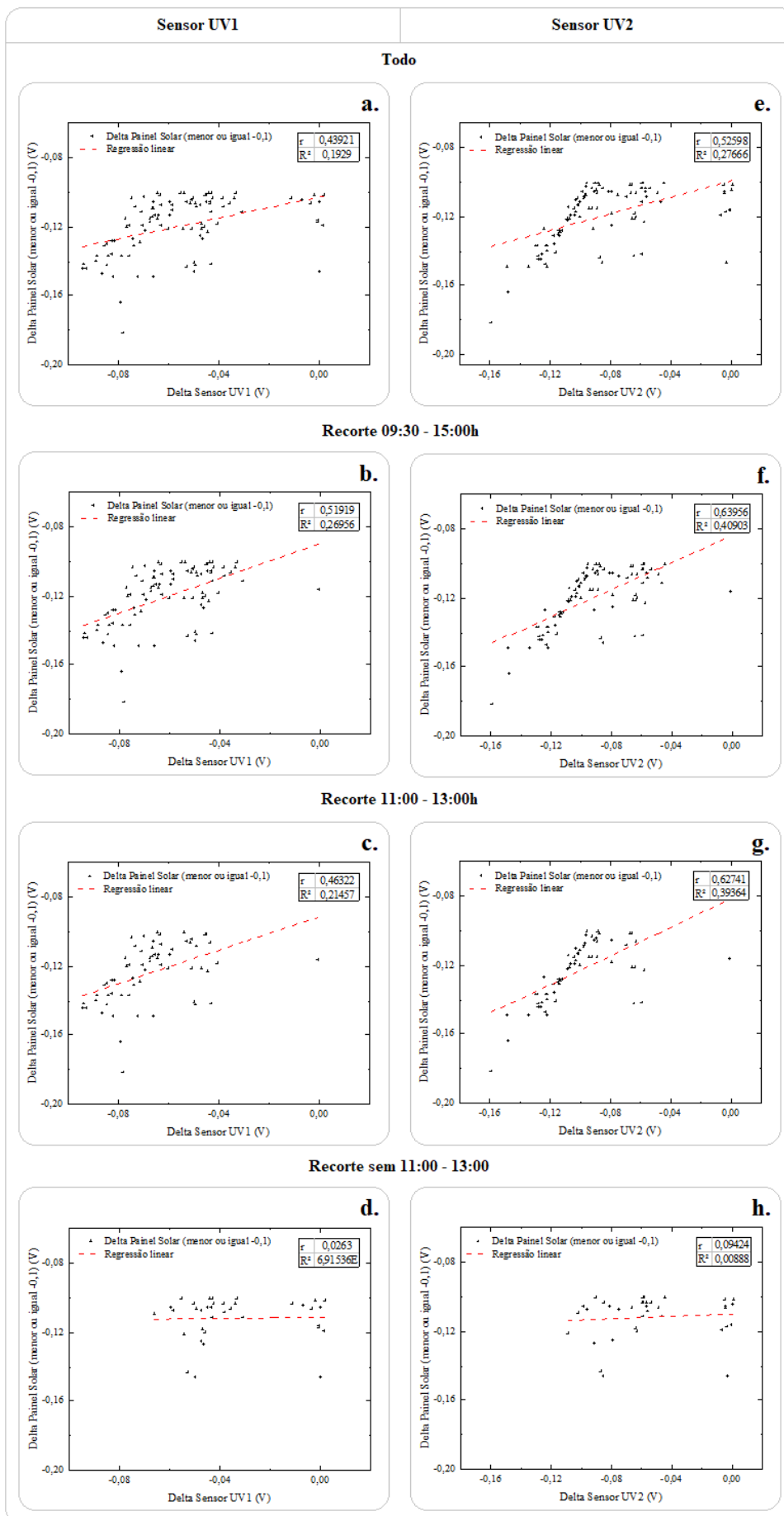


Figura 4.36: Gráficos de dispersão para todos os experimentos. Esquerda: para as variáveis X: delta sensor UV1 e Y: delta painel solar menor ou igual a -0,1V, para (a) todos os horários, (b) 09:30 às 15:00 horas, (c) 11:00 às 13:00 horas e (d) sem 11:00 às 13:00 horas. Direita: para as variáveis X: delta sensor UV2 e Y: delta painel solar menor ou igual a -0,1V, para (e) todos os horários, (f) 09:30 às 15:00 horas, (g) 11:00 às 13:00 horas e (h) sem 11:00 às 13:00 horas.

Fonte: Autoria própria (2019).

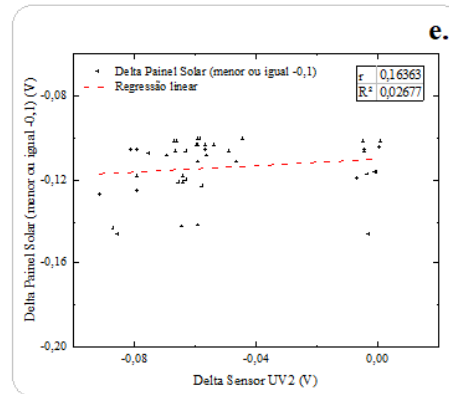
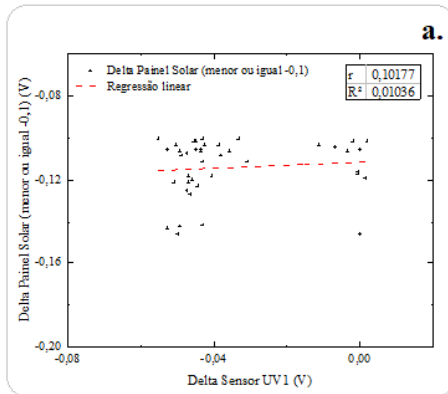
A **Figura 4.36** mostra os gráficos de dispersão e os coeficientes de correlação linear entre delta painel solar e os deltas dos sensores (sensor UV1 e sensor UV2), considerando apenas os valores menores ou iguais a -0,1V registrados pelo painel solar. Dessa maneira, é possível investigar se a diminuição da geração de energia solar é acompanhada pela diminuição da radiação solar ultravioleta. Para todos os experimentos, os coeficientes de correlação de Pearson mostram que a relação linear entre as variáveis estudadas é moderada e positiva para os horários de 11:00 às 13:00 horas ($r = 0,46$ sensor UV1 e $r = 0,63$ sensor UV2) e inexistente para o recorte que exclui os horários de 11:00 às 13:00 horas ($r = 0,03$ sensor UV1 e $r = 0,09$ sensor UV2). Para o recorte que inclui todos os horários, é verificada uma relação linear moderada e positiva ($r = 0,44$ sensor UV1 e $r = 0,53$ sensor UV2) entre as variáveis estudadas. No geral, para os horários com maior fluxo de radiação solar incidente, a diminuição da geração de energia solar fotovoltaica é moderadamente acompanhada pela diminuição da radiação solar ultravioleta (valores de delta painel solar menores ou iguais a -0,1V).

Na **Figura 4.37** são apresentados os gráficos de dispersão entre delta painel solar x delta sensor UV1 e delta painel solar x delta sensor UV2 para os valores de delta painel solar menores ou iguais a -0,1V, considerando os diferentes horários (todos, 09:30 às 15:00 horas, 11:00 às 13:00 horas e sem 11:00 às 13:00 horas) para os experimentos com a alimentação da placa Arduino via porta USB do notebook.

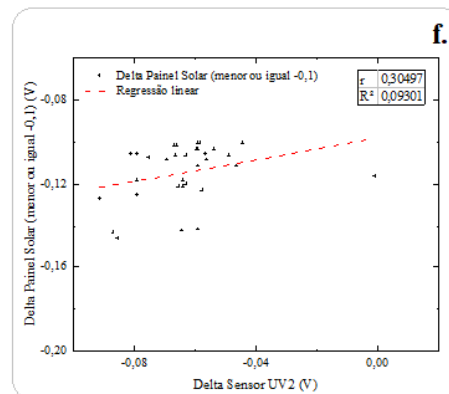
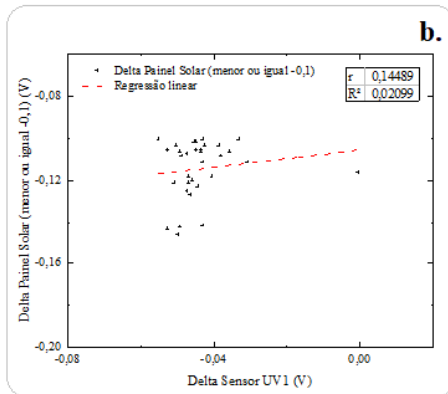
Sensor UV1

Sensor UV2

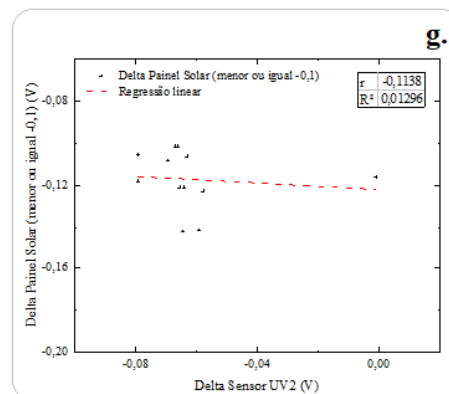
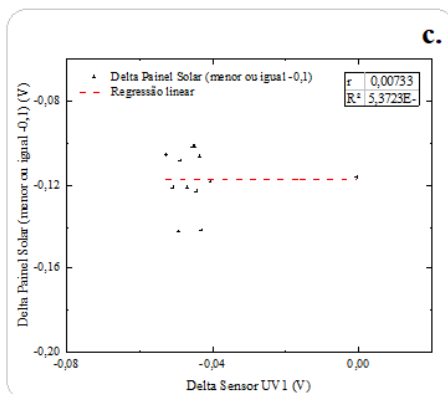
Notebook



Recorte 09:30 - 15:00h



Recorte 11:00 - 13:00h



Recorte sem 11:00 - 13:00

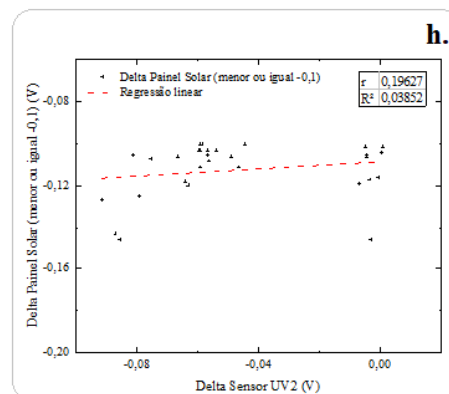
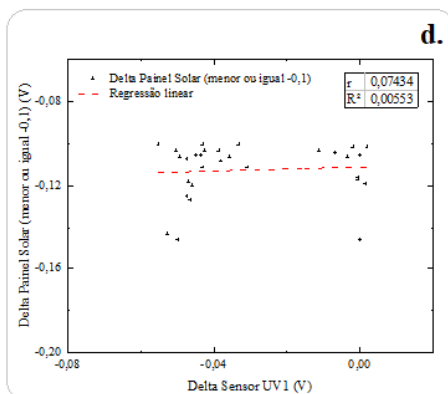


Figura 4.37: Gráficos de dispersão para os experimentos com alimentação via porta USB do notebook. Esquerda: para as variáveis X: delta sensor UV1 e Y: delta painel solar menor ou igual a -0,1V, para (a) todos os horários, (b) 09:30 às 15:00 horas, (c) 11:00 às 13:00 horas e (d) sem 11:00 às 13:00 horas. Direita: para as variáveis X: delta sensor UV2 e Y: delta painel solar menor ou igual a -0,1V, para (e) todos os horários, (f) 09:30 às 15:00 horas, (g) 11:00 às 13:00 horas e (h) sem 11:00 às 13:00 horas.
Fonte: Autoria própria (2019).

Avaliando os coeficientes de correlação de Pearson para os experimentos realizados via porta USB do notebook, **Figura 4.37** é possível notar que não há uma relação linear clara entre as variáveis para todos os recortes de horas avaliados, constatado também através da nuvem de dados que está dispersa em relação a reta de regressão linear. O grau de associação mais expressivo é verificado para o recorte de 09:30 às 15:00 horas ($r = 0,14$ sensor UV1 e $r = 0,30$ sensor UV2) revelando uma associação fraca e positiva entre as variáveis estudadas. O mesmo pode ser observado para todos os horários, que também apresentam valores de correlação fraco e positivo ($r = 0,10$ sensor UV1 e $r = 0,16$ sensor UV2). Tais resultados sugerem que os experimentos realizados através da porta USB do notebook, não possuem relação linear entre o painel solar x sensores UV para valores de delta painel solar menores ou iguais a -0,1V.

Na **Figura 4.38** são apresentados os gráficos de dispersão entre delta painel solar x delta sensor UV1 e delta painel solar x delta sensor UV2 para os valores de delta painel solar menores ou iguais a -0,1V, considerando os diferentes horários (todos, 09:30 às 15:00 horas, 11:00 às 13:00 horas e sem 11:00 às 13:00 horas) para os experimentos realizados com a alimentação da placa Arduino via bateria 9V.

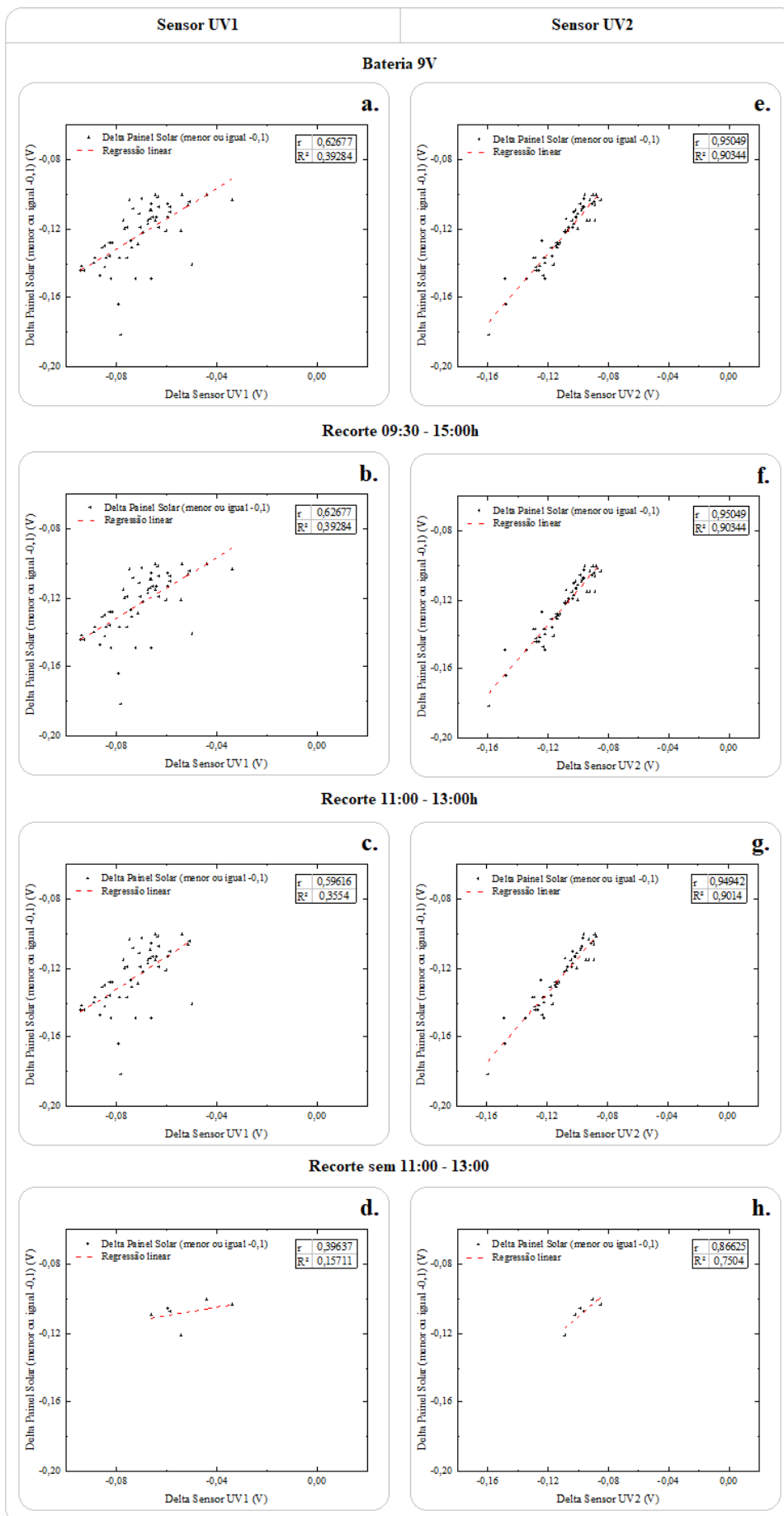


Figura 4.38: Gráficos de dispersão para os experimentos com alimentação via bateria 9V. Esquerda: para as variáveis X: delta sensor UV1 e Y: delta painel solar menor ou igual a -0,1V, para (a) todos os horários, (b) 09:30 às 15:00 horas, (c) 11:00 às 13:00 horas e (d) sem 11:00 às 13:00 horas. Direita: para as variáveis X: delta sensor UV2 e Y: delta painel solar menor ou igual a -0,1V, para (e) todos os horários, (f) 09:30 às 15:00 horas, (g) 11:00 às 13:00 horas e (h) sem 11:00 às 13:00 horas.

Fonte: Autoria própria (2019).

Analisando os coeficientes de correlação de Pearson para os experimentos realizados via bateria 9V (**Figura 4.38**), é possível notar que os valores são positivos para todos os horários analisados, revelando que as variáveis tendem a aumentar e diminuir em conjunto. A associação linear entre painel solar x sensor UV1 é moderada, principalmente para o recorte de 09:30 às 15:00 ($r = 0,63$) e para todas as horas ($r = 0,63$). Para painel solar x sensor UV2 a relação linear é forte, com coeficiente de correlação de Pearson igual $r = 0,95$ para todos os recortes, com exceção do recorte sem 11:00 às 15:00 horas. Tais resultados evidenciam que à medida que ocorre a diminuição da geração de energia solar, a radiação ultravioleta também diminui (valores de delta painel solar menores ou iguais a -0,1V). Comparando com o **Figura 4.39**, percebe-se que a nuvem de dados está mais próxima a reta de regressão linear, principalmente para o sensor UV2.

Na **Tabela 4.6** é apresentada a estatística descritiva do delta painel solar menor ou igual a -0,1V dos dados das variáveis (sensor UV1, sensor UV2 e painel solar) considerando os diferentes horários (todos, de 09:30 às 15:00 horas, de 11:00 às 13:00 horas e sem 11:00 às 13:00 horas) para, todos os experimentos, via porta USB do notebook e via bateria de 9V.

Tabela 4.6: Estatística descritiva do delta painel solar, delta sensor UV1 e delta sensor UV2 para os valores de delta painel solar menores ou iguais a -0,1V, considerando os diferentes horários (todos, de 09:30 às 15:00 horas, de 11:00 às 13:00 horas e sem 11:00 às 13:00 horas) para: todos os experimentos, via porta USB do notebook e via bateria de 9V.

Delta painel solar menor ou igual a -0,1V - Todos		N	Média	Des. P.	Soma	Mín	Máx	Correl. Pearson
Todos os horários	Sensor UV1	100	-0,06	0,02	-5,50	-0,09	0,00	0,44
	Sensor UV2	100	-0,08	0,04	-8,45	-0,16	0,00	0,53
	Painel Solar	100	-0,12	0,02	-11,94	-0,18	-0,10	1,00
09:30 às 15:00 horas	Sensor UV1	90	-0,06	0,02	-5,48	-0,09	0,00	0,52
	Sensor UV2	90	-0,09	0,03	-8,37	-0,16	0,00	0,64
	Painel Solar	90	-0,12	0,02	-10,82	-0,18	-0,10	1,00
11:00 às 13:00 horas	Sensor UV1	64	-0,07	0,02	-4,28	-0,09	0,00	0,46
	Sensor UV2	64	-0,10	0,03	-6,49	-0,16	0,00	0,63
	Painel Solar	64	-0,12	0,02	-7,91	-0,18	-0,10	1,00
Sem 11:00 às 13:00 horas	Sensor UV1	36	-0,03	0,02	-1,22	-0,07	0,00	0,03
	Sensor UV2	36	-0,05	0,03	-1,96	-0,11	0,00	0,09
	Painel Solar	36	-0,11	0,01	-4,02	-0,15	-0,10	1,00
Delta painel solar menor ou igual a -0,1V - Notebook								
Todos os horários	Sensor UV1	42	-0,03	0,02	-1,42	-0,06	0,00	0,10
	Sensor UV2	42	-0,05	0,03	-2,11	-0,09	0,00	0,16
	Painel Solar	42	-0,11	0,01	-4,78	-0,15	-0,10	1,00
09:30 às 15:00 horas	Sensor UV1	32	-0,04	0,01	-1,40	-0,06	0,00	0,14
	Sensor UV2	32	-0,06	0,02	-2,03	-0,09	0,00	0,30
	Painel Solar	32	-0,11	0,01	-3,66	-0,15	-0,10	1,00
11:00 às 13:00 horas	Sensor UV1	12	-0,04	0,01	-0,51	-0,05	0,00	0,01
	Sensor UV2	12	-0,06	0,02	-0,73	-0,08	0,00	-0,11
	Painel Solar	12	-0,12	0,01	-1,41	-0,14	-0,10	1,00
Sem 11:00 às 13:00 horas	Sensor UV1	30	-0,03	0,02	-0,91	-0,06	0,00	0,07
	Sensor UV2	30	-0,05	0,03	-1,38	-0,09	0,00	0,20
	Painel Solar	30	-0,11	0,01	-3,38	-0,15	-0,10	1,00
Delta painel solar menor ou igual a -0,1V - Bateria 9V								
Todos os horários	Sensor UV1	58	-0,07	0,01	-4,09	-0,09	-0,03	0,63
	Sensor UV2	58	-0,11	0,02	-6,34	-0,16	-0,08	0,95
	Painel Solar	58	-0,12	0,02	-7,15	-0,18	-0,10	1,00
09:30 às 15:00 horas	Sensor UV1	58	-0,07	0,01	-4,09	-0,09	-0,03	0,63
	Sensor UV2	58	-0,11	0,02	-6,34	-0,16	-0,08	0,95
	Painel Solar	58	-0,12	0,02	-7,15	-0,18	-0,10	1,00
11:00 às 13:00 horas	Sensor UV1	52	-0,07	0,01	-3,77	-0,09	-0,05	0,60
	Sensor UV2	52	-0,11	0,02	-5,76	-0,16	-0,09	0,95
	Painel Solar	52	-0,13	0,02	-6,51	-0,18	-0,10	1,00
Sem 11:00 às 13:00 horas	Sensor UV1	6	-0,05	0,01	-0,32	-0,07	-0,03	0,40
	Sensor UV2	6	-0,10	0,01	-0,58	-0,11	-0,08	0,87
	Painel Solar	6	-0,11	0,01	-0,65	-0,12	-0,10	1,00

Fonte: Autoria própria (2019).

A **Tabela 4.6** apresenta as informações de estatística descritiva para a análise entre delta painel solar e os deltas dos sensores (sensor UV1 e sensor UV2), considerando apenas os valores menores ou iguais a $-0,1V$ registrados pelo painel solar. Por meio dos coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis, é possível averiguar se a diminuição da geração de energia solar é acompanhada pelo decaimento da radiação solar ultravioleta. Analisando a **Tabela 4.6**, verifica-se que o maior grau de relação entre as variáveis, para todos os experimentos e via porta USB do notebook, é observado para o recorte de 09:30 às 15:00 horas. Enquanto, os experimentos com alimentação via bateria 9V apresentaram correlação linear mais representativa para o recorte de 09:30 às 15:00 horas e para o recorte que considera todos os horários. Os experimentos com alimentação via bateria 9V, foram os que apresentaram maior grau de relação linear entre as variáveis, principalmente para o sensor UV2.

4.3 SUMÁRIO DOS RESULTADOS

Os resultados discutidos nessa seção, mostraram que o equipamento de detecção de nuvens foi capaz de acompanhar a variação de nebulosidade e insolação ao longo dos experimentos, evidenciando uma diferença de até $0,46V$ entre um dia de céu claro/com poucas nuvens para um dia de céu encoberto/nublado. A análise da relação linear entre o painel solar e o equipamento de detecção de nuvens para cada experimento, mostrou uma associação forte e positiva para o sensor UV2 em todos os experimentos. Para o sensor UV1, foi observada uma relação linear de magnitude fraca para o experimento DN2.1, moderada para o experimento DN3.5 e forte para os demais experimentos. Isso mostra que, o painel solar e o equipamento de detecção de nuvens possuem relação linear positiva e majoritariamente forte, evidenciando que as variáveis tendem aumentar e diminuir em conjunto. O grau de associação mais representativo entre o painel solar e o sensor UV1 ($r = 0,96$), foi verificado durante o experimento DN3.4, enquanto, para o painel solar e o sensor UV2 ($r = 0,99$), o maior grau de relação linear ocorreu ao longo do experimento DN4.4.

Na avaliação geral dos experimentos de detecção de nuvens, os resultados para os dados normais e MMS para todos os experimentos, mostram que as relações lineares mais representativas entre o painel solar e os sensores UV ocorrem entre às 11:00 às 13:00 horas, no entanto, apesar das variáveis aumentarem e diminuírem simultaneamente, essa relação é fraca. Para a avaliação das distintas fontes de alimentação do equipamento, é observado que a bateria

de 9V, é a única que representa uma associação linear positiva e de magnitude forte entre as variáveis.

Os resultados da análise para os períodos onde ocorre variações nas medidas (delta) para todos os experimentos, mostram que as variáveis possuem relação linear forte e positiva para todos os recortes avaliados, com exceção do recorte sem os horários de 11:00 às 13:00, que apresenta grau de relação positivo e moderado. Essas características indicam que os momentos onde ocorre a mudança de menor/maior para maior/menor geração de energia solar, são acompanhados também pelo aumento/diminuição da radiação ultravioleta. Outra vez, a fonte de alimentação do equipamento via bateria de 9V obteve o grau mais forte de relação linear entre as variáveis.

Para a avaliação do aumento da geração de energia solar fotovoltaica acima ou igual a 0,1V para todos os experimentos, a relação linear entre as variáveis mostrou que o aumento da geração de energia solar é significativamente acompanhado pelo aumento da radiação ultravioleta durante o período de maior incidência de radiação solar na superfície. Enquanto, para o recorte sem 11:00 às 13:00 horas, a associação linear entre as variáveis, foi relativamente fraca. Esses resultados são esperados, dado que próximo ao nascer e pôr do sol a radiação ultravioleta percorre um caminho óptico maior, sofrendo atenuação (processo de absorção e espalhamento) pelas moléculas e aerossóis, presentes na atmosfera, antes de atingir a superfície e por isso quase não atinge o solo. Próximo ao meio dia solar, essa trajetória é mais curta, ocorrendo o máximo fluxo de radiação solar incidente na superfície (IQBAL, 1983 e CORRÊA, 2015). Portanto, sugere-se que o equipamento de detecção de nebulosidade é mais efetivo para realizar a previsão da geração de energia solar fotovoltaica durante o máximo fluxo de energia solar incidente (próximo ao meio dia solar). Efetuando a comparação entre as duas fontes utilizadas para alimentação do equipamento de baixo custo, a bateria de 9V desempenhou novamente a melhor relação entre o painel solar e o equipamento de baixo custo.

A redução da geração de energia solar para valores abaixo ou igual a -0,1V para todos os experimentos, apresentou grau de relação linear moderado e positivo entre as variáveis para quase todos os recortes analisados e fraco para o recorte que exclui os horários de 11:00 às 13:00 horas. Dessa maneira, é possível inferir que a diminuição da geração de energia solar é moderadamente seguida pelo decréscimo da radiação ultravioleta. Na avaliação para duas fontes de alimentação, é observada mais uma vez, que a associação linear mais forte entre as variáveis, ocorre para experimentos via bateria de 9V.

Tendo em vista os aspectos observados, pode-se inferir que os experimentos realizados via bateria 9V apresentaram relação linear mais representativa entre as variáveis, se comparados

com os experimentos via USB do notebook. Considerando que a irradiância solar varia ao longo do dia, do ano, da latitude e altitude, assim como, é influenciada pelo tipo de superfície na qual incide, os resultados podem ser explicados pelas diferentes localidades utilizadas para a realização dos experimentos via porta USB do notebook (Niterói e Manaus), enquanto, os experimentos via bateria 9V foram executados para a mesma região (Manaus).

Por meio dos resultados, foi constatado que o sensor UV2 (mais recente) representou, em grande parte, uma relação linear de magnitude mais significativa do que o sensor UV1 (mais antigo). Esse aspecto é comum, pois equipamentos de medição tendem a se deteriorar ao longo do tempo, o que contribui para afirmação de que os sensores utilizados devem ser calibrados periodicamente, de modo a prolongar a vida útil do equipamento e garantir maior confiabilidade da medição.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

Neste trabalho foi apresentado o desenvolvimento de um equipamento de baixo custo capaz de detectar a variação da nebulosidade e insolação. O equipamento foi desenvolvido utilizando a plataforma Arduino em conjunto com o sensor de raio ultravioleta UVM-30A fabricado pela Lagoele Electronic. Com o intuito de analisar a relação entre o equipamento de baixo custo e a geração de energia solar fotovoltaica, foi utilizado o painel solar fotovoltaico 2W da Voltaic Systems simultaneamente com o equipamento de detecção de nuvens. Foram realizados ao todo 13 testes experimentais entre maio de 2018 a maio de 2019.

Os resultados obtidos mediante a avaliação individual dos testes experimentais, mostraram que as medidas do equipamento são correspondentes com as variações de nebulosidade registradas por meio da webcam. Através das imagens, foi possível constatar que os períodos com maiores oscilações nas medidas do equipamento coincidem com a condição de céu parcialmente nublado. Enquanto, as menores variações na tensão registrada pelo equipamento, correspondem a céu claro ou céu com poucas nuvens (para valores altos) e a céu nublado ou céu encoberto (para valores baixos). Desse modo, foi mostrado que o equipamento de baixo custo foi capaz de detectar, de maneira adequada, a variação da radiação solar e da nebulosidade, revelando a sua aplicabilidade para diferentes condições atmosféricas apresentadas durante os experimentos. A análise da diferença entre os experimentos DN1.1 e DN1.2, revelou que em dias com céu predominantemente encoberto/nublado é observada uma diferença de até 0,46V no equipamento de detecção de nuvens, evidenciando a potencialidade de se utilizar um sistema de previsão/detecção de nebulosidade, em curto prazo, a partir deste tipo de medição, o que pode ser determinante para amenizar os impactos causados pela variabilidade da nebulosidade na geração de energia solar fotovoltaica. A análise da correlação linear e da dispersão da variação da voltagem medida no equipamento com a variação da geração de uma célula fotovoltaica, obteve resultados majoritariamente sólidos, principalmente para o máximo fluxo de radiação solar incidente.

Portanto, perante todos os resultados expostos nessa pesquisa, é possível inferir que o equipamento de baixo custo, desenvolvido neste trabalho, tem capacidade para avaliar e monitorar a nebulosidade, assim como, pode ser aplicado na realização das previsões de geração solar fotovoltaica. É importante salientar que o equipamento visa preencher a lacuna de instrumentos acessíveis para detecção de nebulosidade e insolação, que com o aprimoramento

de uma metodologia, pode ser utilizado na previsão da geração de energia solar fotovoltaica, em pequenos horizontes temporais. A contribuição dessas estimativas auxiliará no planejamento energético das empresas e usuários que utilizam essa fonte de energia, reduzindo os gastos gerados pela compra de reservas operacionais, ajudando na gestão de mudanças de produção e garantindo a maior estabilidade do mercado financeiro de energia.

5.1 TRABALHOS FUTUROS

Para dar seguimento ao projeto do desenvolvimento do equipamento de baixo custo que permitirá a criação de um sistema de previsão de curto prazo para geração solar fotovoltaica, os seguintes passos deverão ser realizados:

i. Calibração dos sensores UV.

Este passo é importante, pois o sensor UV mais recente, mostrou grau de relação mais forte entre as variáveis, se comparado ao sensor UV mais antigo. Durante esta pesquisa, não foi possível a realização de um teste com sensor UV e um equipamento tradicional de medição de radiação ultravioleta. Dessa maneira, é fundamental que os sensores sejam calibrados periodicamente, para que possam garantir medidas confiáveis para efetuação da previsão para energia solar fotovoltaica de curto prazo.

ii. Execução de mais testes experimentais.

A execução de mais testes experimentais é necessária, não apenas para verificar o desempenho do equipamento de baixo custo em conjunto com distintos painéis solares e em maior quantidade, mas também, para verificar a vida útil do equipamento, de modo a avaliar qual o seu desempenho ao longo do tempo de operação.

iii. Produção de um abrigo para o equipamento.

Ao longo da realização desse estudo, verificou-se a necessidade de um abrigo para o equipamento de detecção de nuvens, com intuito de permitir a sua aplicação mesmo em condições chuva. É relevante destacar, que a partir dos experimentos DN3, foi utilizado um

abrigo para a realização dos testes experimentais. A criação deste abrigo ocorreu no laboratório do LAMMOC, o desenho, elaborado por mim, com a ferramenta online no Tinkercad, foi posteriormente impresso na impressora 3D. Apesar do desenvolvimento do abrigo, optou-se pela não utilização de uma tampa protetora para que não houvesse interferência na medida do sensor ultravioleta. Desta maneira, é fundamental que o equipamento se torne impermeável para que possa ser utilizado mesmo em ocorrência de chuva.

- iv. Realizar a implementação do equipamento desenvolvido em uma área de estudo e aplicar Redes Neurais Artificiais.

Provavelmente será utilizada a região noroeste da Bahia como área de estudo. Com isso, poderá ser avaliado o desempenho do equipamento desenvolvido neste trabalho e seus possíveis desafios para realizar a previsão de curto prazo para geração solar fotovoltaica. As Redes Neurais Artificiais são modelos matemáticos não lineares que se aproximam ao cérebro humano, que possuem capacidade de aprender a reconhecer padrões. Portanto, será utilizada para reconhecer os padrões de nebulosidade na região estudada e assim permitir a previsão para geração de energia solar fotovoltaica.

O cronograma completo com todas as atividades do projeto e do mestrado está disponibilizado em Anexos deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ADAFRUIT. **2.1mm DC Barrel Jack to Alligator Clips**. NYC, 2018. Disponível em: <<https://www.adafruit.com/product/1328>>. Acesso em: 11 dez. 2018.

ADAFRUIT. **3.5 / 1.3mm or 3.8 / 1.1mm to 5.5 / 2.1mm DC Jack Adapter Cable**. NYC, 2018. Disponível em: <<https://www.adafruit.com/product/2788>>. Acesso em: 11 dez. 2018.

ADAMOWSKY, J. C; FURUKAWA, C. M. **Uma Abordagem Voltada à Automação Industrial**. Revista Mecatrônica Atual, São Paulo, v. Especial, n.1, p. 8-11, out. 2001.

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **Glossário**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/glossario#gloss-r>>. Acesso em: 03 abr. 2018.

AMERICAN METEOROLOGICAL SOCIETY (AMS). **Ångström Compensation Pyrheliometer**. Disponível em: <http://glossary.ametsoc.org/wiki/%c3%85ngstr%c3%b6m_compensation_pyrheliometer>. Acesso em: 17 abr. 2018.

AMERICAN METEOROLOGICAL SOCIETY (AMS). **Cloud**. Disponível em: <<http://glossary.ametsoc.org/wiki/Cloud>>. Acesso em: 23 mai. 2018.

AMERICAN METEOROLOGICAL SOCIETY (AMS). **Cloud Condensation Nuclei**. Disponível em: <http://glossary.ametsoc.org/wiki/Cloud_condensation_nuclei>. Acesso em: 23 mai. 2018.

ARDUINO. **About Us**. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Main/AboutUs>>. Acesso em: 26 abr. 2018.

ARDUINO. **Arduino Mega 2560 Rev3**. [S. 1.], 2019. Disponível em: <<https://store.arduino.cc/usa/mega-2560-r3>>. Acesso em: 26 abr. 2018.

ARDUINO. **Arduino Uno REV3**. Disponível em: <<https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>>. Acesso em: 26 abr. 2018.

AUTOMOTIVE BUSINESS. **Eletrônica Descomplicada**. Disponível em: <<http://www.automotivebusiness.com.br/dicionario.pdf>>. Acesso em: 26 abr. 2018.

BANZI, M; SHILOH, M. **Getting Started with Arduino**. 3 Edition. Maker Media: Sebastopol, 2014.

CALUIANU, I; NOTTON, G; COLDA, I; CALUIANU, S. **Photovoltaic Energy Generation Under Partially Shading Conditions**. In: IEEE Advanced Electromechanical Motion Systems & Electric Drives Joint Symposium, Lille, France, 2009.

CHATURVEDI, D. K; ISHA. **Solar Power Forecasting: A Review**. International Journal of Computer Applications 145(6):28-50, July 2016.

CRESPO, A. **Estatística Fácil**. São Paulo, SP: Saraiva, 2009.

CORRÊA, M. P. **Solar ultraviolet radiation: properties, characteristics and amounts observed in Brazil and South America**. Anais Brasileiros de Dermatologia, Rio de Janeiro, v. 90, ed. 3, 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0365-05962015000300297>. Acesso em: 17 set. 2019.

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA (DEE). **Glossário**. Disponível em: <<http://www.dee.ufrj.br/museu/glossario.html>>. Acesso em: 17 abr. 2018.

DUBEY, S; SARVAIYA, J. N; SESHADRI, B. **Temperature Dependent Photovoltaic (PV) Efficiency and Its Effect on PV Production in the World A Review**. Elsevier, Singapore, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.05.072>.

EKE, R; SENTURK, A. **Performance comparison of a double-axis sun tracking versus fixed PV system**. Elsevier, Turkey, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.06.006>.

ELETRÔNICA CASTRO. **Placa de Fibra de Vidro Perfurada 10 X 10cm**. São Paulo, Brasil, 2018. Disponível em: <<https://www.eletronicacastro.com.br/placas-fenolite/10440-placa-de-fibra-de-vidro-perfurada-10-x-10cm-0000000010440.html>>. Acesso em: 21 nov. 2018.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanco Energético Nacional 2017: Relatório Síntese, ano base 2016**. Rio de Janeiro: EPE, 2017.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Plano Decenal de Expansão de Energia 2026**. Rio de Janeiro: EPE, 2017.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Projeção da Demanda de Energia Elétrica para os Próximos 10 Anos (2017- 2026)**. Rio de Janeiro: EPE, 2017.

ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY (EERE). **PV Systems**. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20080601113928/http://www1.eere.energy.gov:80/solar/pv_systems.html>. Acesso em: 11 abr. 2018.

FIGUEIREDO FILHO, D. B; SILVA JÚNIOR, J. A. **Desvendando Os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r)**. Revista Política Hoje, Recife, v. 18, n. 1, p. 115-146, 2009.

FILIFEFLOP. **Barra de Pinos 1x40 180 Graus**. Florianópolis, SC, 2018. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/barra-de-pinos-1x40-180-graus/>>. Acesso em: 30 nov. 2018.

FILIFEFLOP. **Biblioteca Arduino: Aprenda Como Criar a Sua**. Florianópolis, SC, 2018. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/blog/desenvolvendo-uma-biblioteca-arduino/>>. Acesso em: 28 mar. 2018.

FILIFEFLOP. **Medidor de Índice UV com Arduino**. Florianópolis, SC, 2018. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/blog/medidor-de-indice-uv-com-arduino/>>. Acesso em: 28 mar. 2018.

FILIFEFLOR. **Módulo Cartão Micro SD**. Florianópolis, SC, 2018. Disponível em: < <https://www.filifefflor.com/produto/modulo-cartao-micro-sd/>>. Acesso em: 28 mar. 2018.

FILIFEFLOR. **Placa MEGA 2560 R3 + Cabo USB para Arduino**. Florianópolis, SC, 2018. Disponível em: < <https://www.filifefflor.com/produto/placa-mega-2560-r3-cabo-usb-para-arduino/>>. Acesso em: 28 mar. 2018.

FILIFEFLOR. **Real Time Clock RTC DS3231**. Florianópolis, SC, 2018. Disponível em: < <https://www.filifefflor.com/produto/real-time-clock-rtc-ds3231/>>. Acesso em: 28 mar. 2018.

FILIFEFLOR. **Sensor de Raio Ultravioleta UV UVM-30A**. Florianópolis, SC, 2018. Disponível em: <<https://www.filifefflor.com/produto/sensor-de-raio-ultravioleta-uv/>>. Acesso em: 28 mar. 2018.

FILIFEFLOR. **Suporte Bateria 9V Plug P4**. Florianópolis, SC, 2019. Disponível em: <<https://www.filifefflor.com/produto/suporte-bateria-9v-plug-p4/>>. Acesso em: 19 fev. 2019.

FRAUNHOFER INSTITUTE FOR SOLAR ENERGY SYSTEMS (ISE), 2018. **Photovoltaics Report**. Disponível em: < <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf>>. Acesso em: 04 abr. 2018.

FUJITA, T. T; PEARL, E. W; SHENK, W. E. (1975). **Satellite-Tracked Cumulus Velocities**. Journal of Applied Meteorology, 14, 407-413.

GLOBAL SOLAR ATLAS. **Download Maps for Your Country or Region**. Disponível em: <<http://globalsolaratlas.info/downloads/>>. Acesso em: 03 abr. 2018.

HOUZE Jr., R. A. 1993. **Cloud Dynamics**. Academic Press, 573 pp.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Atlas de Nuvens**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=nuvens>>. Acesso em: 23 mai. 2018.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Global Energy and CO2 Status Report**. Disponível em: <<https://www.iea.org/geco/>>. Acesso em: 14 abr. 2018.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Glossary**. Disponível em: <<http://www.iea.org/about/glossary/m/#tabs-3>>. Acesso em: 13 abr. 2018.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA), 2017. **Renewables Information 2017** edition. OECD/IEA, Paris.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA), 2017. **World Energy Balances: Overview 2017** edition. OECD/IEA, Paris.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA), 2017. **World Energy Outlook 2014** edition. OECD/IEA, Paris.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World Energy Outlook 2017**. Disponível em: <<https://www.iea.org/weo2017/>>. Acesso em: 04 abr. 2018.

IQBAL, M. **An Introduction to Solar Radiation**. Library of Congress Cataloging in Publication Data. Canada: Academic Press, 1983.

JEWELL, W. **Issues in Utility-Interactive Photovoltaic Generation**. United States: N. p., 1994.

KAUSHIKA N. D; MISHRA A; RAI A. K. 2018. **Introduction to Solar Photovoltaic Power**. In: Solar Photovoltaics. Springer, Cham

LETENDRE, S; MAKHYOUN, M; TAYLOR M. 2014. **Predicting Solar Power Production: Irradiance Forecasting Models, Applications and Future Prospects**. A report prepared for the Solar Electric Power Associations, Washington, DC.

LOGOELE. **Módulo de sensor de UVM-30A**. Guangzhou, China, 2016. Disponível em: http://www.logoele.com/products_detail/productId=87.html. Acesso em: 14 nov. 2018.

MALVINO, P. **Eletrônica**, volume 1, McGraw-Hill, São Paulo, 1986.

MARTINS, N. A. **Sistemas Microcontrolados: Uma abordagem com o Microcontrolador PIC 16F84**. Editora Novatec Ltda, 1ª edição. 2005.

MAXIM INTEGRATED. **DS3231**. Maxim Integrated Products, Inc, 2015. Disponível em: <<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/ds3231.pdf>>. Acesso em: 29 abr. 2018.

MEHL, E. L. M. **Conceitos Fundamentais Sobre Placas de Circuito Impresso**. [S. l.], 2011. Disponível em: <http://www.eletrica.ufpr.br/mehl/te232/textos/PCI_Conceitos_fundamentais.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2018.

MELO, P; GUTIERREZ, R; ROSA, S. **Complexo eletrônico: o segmento de placas de circuito impresso**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 7, p. 93-108, mar. 1998

MIDDLETON SOLAR. **Middleton Solar Factory Direct Price List**. Disponível em: <<http://www.middletonsolar.com/documents/factorydirectpricelist.pdf>>. Acesso em: 01 mai. 2018.

MORETTIN, P. A; TOLOI, C. M. C. **Análise de Séries Temporais**. São Paulo, SP: Blucher, 2005.

MORRIS, A. S. **Principios de Mediciones e Instrumentacion**. 1 ed. [S.L.]: Pearson Educación, 2002. 229 p.

MORRIS, A S. **Measurement and Instrumentation Principles**. 3 ed. [S.L.]: Butterworth-Heinemann, 2001. 512\491 p.

MULTILASER. **Webcam Multilaser Plug E Play 16Mp Nightvision Microfone Usb Preto**. São Paulo, SP, 2018. Disponível em: <<https://www.multilaser.com.br/webcam-multilaser-plug-e-play-16mp-nightvision-microfone-usb-preto-wc045/p>>. Acesso em: 12 dez. 2018.

NASCIMENTO, C. A. **Princípio de Funcionamento da Célula Fotovoltaica**. 2004. 21f. Monografia (Especialização em Fontes Alternativas de Energia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY (NREL), 2016. **U.S. Photovoltaic System Cost Benchmark: QI 2016**. September.

NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY (NREL), 2017. **U.S. Photovoltaic System Cost Benchmark: QI 2017**. August.

OLIVEIRA NETO, B. B; MONTEIRO, P. F; QUEIROGA, S. L. M; **Aplicabilidade dos Microcontroladores em Inovações Tecnológicas**. 2012. Trabalho apresentado ao 7. CONNEPI, Tocantins, 2012.

PARRY-HILL, M. J; SUTTER, R. T; DAVIDSON, M. W. (n.d.) **Solar Cell Operation**. In: Optical microscopy primer: Physics of light and color. Disponível em: <<http://micro.magnet.fsu.edu/primer/java/solarcell/index.html>>. Acesso em: 20 mar. 2018.

PEARCE, J. M. **Building Research Equipment With Free, Open-Source Hardware**. Science 2012, 337 (6100), 1303–1304.

PEIXOTO, J. P; OORT, A. H. (1992) **Physics of Climate**, American Institute of Physics, New York, 520pp.

PELLAND, S; REMUND, J; KLEISSL, J; OZEKI, T; BRABANDERE, K. (2013). **Photovoltaic and Solar Forecasting: State of the Art**. IEA PVPS Task 14, Subtask 3.1 Report IEA-PVPS T14-01: 2013.

PEREIRA, E. B; MARTINS, F. R; ABREU, S. L; RÜTHER, R. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos: INPE. 2006. Disponível em: <http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil_solar_atlas_R1.pdf>. Acesso em 14 de abril de 2018.

PINHO, J.; GALDINO, M. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014.

PIXABAY. **Pilha Bateria 9V**. [S. l.], 2019. Disponível em: <<https://pixabay.com/pt/vectors/pilha-bateria-9v-3741469/>>. Acesso em: 19 fev. 2019.

PROENÇA, E. D. R. B. **A Energia Solar Fotovoltaica em Portugal: Estado da Arte e Perspectivas de Desenvolvimento**. 2007. 88 p. Dissertação (Engenharia e Gestão Industrial) - Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2007. Disponível em: <<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395137487931/Tese%20-%20A%20Energia%20Solar%20Fotovoltaica%20em%20Portugal.pdf>>. Acesso em: 04 abr. 2018.

RADNAI, R.; KINGHAM, E. G. **Automatic Instruments and Measuring Systems. Jones' Instrument Technology**. 5 ed. [S.L.]: Butterworth-Heinemann, 1986. 174\174 p.

S4 SOLAR DO BRASIL. **Sistemas Fotovoltaicos**. Disponível em: <<http://s4solar.com.br/energia-solar/sistemas-fotovoltaicos/>>. Acesso em: 11 abr. 2018.

SALERNO, C. H; LEVA, F. F; CAMACHO, J. R; GUIMARÃES, J; SEBASTIÃO, C. **Modelo de um Projeto de um Sistema Fotovoltaico**. In: AGRENER-5o. Encontro de Energia no Meio Rural e Geração Distribuída, 2004, Campinas. Proceedings do 5o. AGRENER, 2004. v. 1.

SILVA, M. S. **Rede de Sensores Sem Fio de Baixo Custo para Monitoramento Ambiental**. 2013. 139 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Campinas, SP.

SILVA, R. M. **Energia Solar no Brasil: Dos Incentivos aos Desafios**. Brasília: Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado, Fevereiro/2015 (Texto para Discussão nº 166). Disponível em: www.senado.leg.br/estudos. Acesso em 3 de fevereiro de 2015.

SOARES, D. D. S. F. **Impactos da Dinâmica Atmosférica na Flutuação de Potência em Usinas Fotovoltaicas**. 2014. 190 Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

TUOHY, A; ZACK, J; HAUPT, S; SHARP, J; AHLSTROM, M; DISE, S; GRIMIT, E; MOEHRLIN, C; LANGE, M; CASADO, M; BLACK, J; MARQUIS, M; COLLIER, C. 2015. **Solar Forecasting: Methods, Challenges, and Performance**. IEEE Power and Energy Magazine. 13. 50-59.

TWIDELL, J; WEIR, T. **Renewable Energy Resources**. 2 ed. London And New York: Taylor And Francis, 2006. 30 p.

UNRESTRICTEDSTOCK. Computers and Hardware Free Vector Set. [S. l.], 2019. Disponível em: <http://unrestrictedstock.com/projects/computers-and-hardware-free-vector-set/>. Acesso em: 19 fev. 2019.

VAREJÃO-SILVA, M. A. (2006). **Meteorologia e Climatologia**, 2nd edn (446 pp.). INMET Recife PE, Brazil.

VIANELLO, R. L. **A Estação Meteorológica e Seu Observador: Uma Parceria Secular de Bons Serviços Prestados à Humanidade**. INMET [S.L.], n.11, p. 1-19, mai. 2011.

VOLTAIC SYSTEMS. **2 Watt Solar Panel**. NYC, 2018. Disponível em: <https://www.voltaicsystems.com/2-watt-panel>. Acesso em: 11 dez. 2018.

WORLD ENERGY ASSESSMENT (WEA), 2000. **Energy and the Challenge of Sustainability**. World Energy Assessment Report, prepared by UNDP, UN-DESA and the World Energy Council. New York: United Nations.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). **Manual on the Observation of Clouds and Other Meteors: International Cloud Atlas**. Volume I. Switzerland: 180 p. 1975.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). **Definitions of Clouds**. Disponível em: <https://cloudatlas.wmo.int/clouds-definitions.html>. Acesso em: 23 mai. 2018.

ANEXOS

O código a seguir, escrito em linguagem Processing, foi elaborado no IDE Arduino para executar as funções necessários do equipamento de baixo custo, projetado para avaliar e monitorar a nebulosidade. O código executa todos os módulos que compõem o equipamento de baixo custo (Card SD e RTC), dois sensores UV e o painel solar.

No código, é possível verificar o uso das bibliotecas citadas no item “3.2.1 Montagem do projeto” neste trabalho. A biblioteca correspondente ao módulo RTC (DS3231.h) pode ser acessada em <https://github.com/JChristensen/DS3232RTC#arduino-ds3232rtc-library>. A biblioteca do sensor de raio ultravioleta (U8glib.h) está disponível em <https://code.google.com/archive/p/u8glib/>. Enquanto, a biblioteca utilizada pelo módulo Card SD (SD.h) é concedida no próprio Arduino IDE, em Sketch - incluir bibliotecas.

```
*****
#include <DS3231.h> // Biblioteca para o Módulo RTC
#include <U8glib.h> // Biblioteca para o Sensor UV
#include <SD.h> // Biblioteca para o CardSD

File arquivoCSV;
long id = 1; // Contador
const int cs = 10;

const int PinoPainelSolar = A5; // Pino de entrada analógica ao qual o painel solar está
conectado

// Inicie o Painel Solar
int sensorPainelSolar = 0; // Valor lido a partir do pote

// Inicie o DS3231 usando a interface de hardware
DS3231 rtc(SDA, SCL);

int pino_sensor1 = A0;
```

```
int valor_sensor1 = 0;

//Segundo sensor
int pino_sensor2 = A2;
int valor_sensor2 = 0;

//PINAGEM DO CARTÃO SD

//CS - 53 (qualquer pino digital)
//SCK - 52
//MOSI - 51
//MOSO - 50
//VCC - 5v
//GND - GND

//CS - 10 (qualquer pino digital)
//SCK - 13
//MOSI - 11
//MOSO - 12
//VCC - 5v
//GND - GND

//PINAGEM DO SENSOR UV

//"- " - GND
//"out" - A0 (qualquer pino analogico)
//"+ " - 5v

//PINAGEM DO RTC

//32k - ignora
//SQW - ignora
//SCL - SCL 21 (qualquer pino analogico)
//SDA - SDA 20 (qualquer pino analogico)
```

```

//VCC - 5v
//GND - GND

///PINAGEM DO PAINEL SOLAR
//Fio preto - GND
//Fio vermelho - A5 (qualquer pino analógico)
//Deve ser colocado na protoboard duas resistências de mesmo valor e elas devem estar em série
//No encontro das duas resistências, logo abaixo, coloca-se a conexão A5
//Logo abaixo da resistência GND, coloca-se a conexão GND

void setup(void)
{
  Serial.begin(9600);

  /// Inicie o objeto RTC

  rtc.begin();

  // As seguintes linhas podem ser descomentadas para definir a data e a hora
  //rtc.setDOW(TUESDAY); // Definir dia da semana à domingo
  //rtc.setTime(12, 13, 0); // Definir a hora para 12:00:00 (formato 24hr)
  //rtc.setDate(04, 06, 2019); // Definir a data para janeiro 1st, 2014

  Serial.begin(9600);

  /// Inicie o cartão SD

  SD.begin(53); // O parâmetro é o pino conectado ao CS do módulo

  File arquivoCSV = SD.open("dadosf.csv", FILE_WRITE);
  if (arquivoCSV) {

```



```

arquivoCSV.println("Teste de arquivos TXT em SD no Arduino");
arquivoCSV.println(" "); // Blank line in case there was something in the file
String header = "ID; Tensao1; Tensao2; Pannel Solar; Dia da semana(); Data(); Hora()" ;
arquivoCSV.println(header);
Serial.println("header ok");
arquivoCSV.close();
Serial.println("OK.");
}

else {
    Serial.println("Erro ao abrir ou criar o arquivo texto.txt.");
}

}

void loop() {

//RTC

// Enviar dia da semana
Serial.print(rtc.getDOWStr());
Serial.print(" ");

// Enviar data
Serial.print(rtc.getDateStr());
Serial.print(" -- ");

// Enviar a hora
Serial.println(rtc.getTimeStr());

//Calcula o nível de UV do sensor 1

```

```

valor_sensor1 = analogRead(pino_sensor1);
//Calcula tensão em milivolts
int tensao1 = (valor_sensor1 * (5.0 / 1023.0)) * 1000;
Serial.println(tensao1);

//Calcula o nível de UV do sensor 2

valor_sensor2 = analogRead(pino_sensor2);
//Calcula tensão em milivolts
int tensao2 = (valor_sensor2 * (5.0 / 1023.0)) * 1000;
Serial.println(tensao2);

//Painel Solar

// read the analog in value:
sensorPainelSolar = analogRead(PinoPainelSolar);

// // read three sensors and append to the string:
int sensor = sensorPainelSolar;
Serial.println(sensorPainelSolar);

//Cartão SD

Serial.print("Writing to the text file...");
File arquivoCSV = SD.open("dadosf.csv", FILE_WRITE);
String dataString = String(id) + ";" + String(valor_sensor1) + ";" + String(valor_sensor2) + ";"
+ String(sensorPainelSolar) + ";" + String(rtc.getDOWStr()) + ";" + String(rtc.getDateStr()) +
";" + String(rtc.getTimeStr());

if (arquivoCSV)
{
Serial.print("done...");
arquivoCSV.println(dataString);
}

```

```
arquivoCSV.close(); // close the file:
Serial.println("file closed.");
Serial.println(dataString);
} else
{
// if the file didn't open, report an error:
Serial.println("error opening the text file!");

}
```

```
// increment id number
```

```
id++;
```

```
delay(3000);
```

```
}
```

```
*****
```

CRONOGRAMA DE ATIVIDADES

Realizado  À Realizar 

Atividades		2017		2018												2019											
		Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	
1	Reunião com orientador	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
2	Revisão bibliográfica da dissertação	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
3	Montagem do equipamento	■	■	■	■	■	■	■								■											
4	Qualificação do mestrado							■																			
5	Produção de artigo científico													■	■						■	■	■	■	■	■	■
6	Teste do equipamento em conjunto com painel solar													■	■			■	■	■							
7	Teste de dois equipamentos em conjunto com painel solar													■	■			■	■	■							
8	Teste de resistência do equipamento													■	■			■	■	■							
9	Análise e tabulação de dados													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
10	Redação da dissertação									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
11	Defesa do mestrado																									■	