

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA  
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

LAÍS TAMARA DE ALMEIDA

**IMPLANTAÇÃO DE UM PIRANÔMETRO TERMOELÉTRICO  
NA UTFPR PARA ANÁLISE DO POTENCIAL DE ENERGIA  
SOLAR NESTA LOCALIDADE**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2015

LAÍS TAMARA DE ALMEIDA

**IMPLANTAÇÃO DE UM PIRANÔMETRO TERMOELÉTRICO NA  
UTFPR PARA ANÁLISE DO POTENCIAL DE ENERGIA SOLAR  
NESTA LOCALIDADE**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação,  
do curso de Engenharia Elétrica, do  
Departamento Acadêmico de Eletrotécnica  
(DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná (UTFPR), como requisito parcial para  
obtenção do título de Engenheira Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior.

CURITIBA

2015

Laís Tamara de Almeida

## Implantação de um piranômetro termoeletrico na UTFPR para análise do potencial de energia solar nesta localidade

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheira Eletricista do curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 01 de Julho de 2015.

---

Prof. Emerson Rigoni, Dr.  
Coordenador de Curso  
Engenharia Elétrica

---

Prof<sup>a</sup>. Annemahlen Gehrke Castagna, Mestre  
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso  
de Engenharia Elétrica do DAELT

### ORIENTAÇÃO

---

Jair Urbanetz Junior, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Orientador

### BANCA EXAMINADORA

---

Jair Urbanetz Junior, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Gerson Máximo Tiepolo, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Carlos Henrique Karam Salata, Eng.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

À memória de minha avó materna Aparecida Castilho Romualdo Dário, por sempre se lembrar de sua neta em suas orações mesmo nunca tendo frequentado uma escola.

À memória de minha avó paterna Elza Almeida que não tive a oportunidade de conhecer.

À minha mãe Zilda de Fátima Dário de Almeida, meu pai Adivon de Almeida e meu irmão Diogo Leonardo de Almeida.

Ao meu futuro cônjuge Erison Carlos de Oliveira por sua eterna dedicação.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus pelo seu amor incondicional perante os seres humanos, dando o dom da vida, saúde e sabedoria, permitindo que este trabalho fosse possível.

Aos meus pais Zilda de Fátima Dário de Almeida e Adivon de Almeida, por não medirem esforços físicos e econômicos quanto a minha educação até este momento.

Ao professor Dr. Jair Urbanetz Jr, por seu apoio e orientação na confecção deste.

Aos professores que participaram da banca examinadora Gerson Máximo Tiepolo e Carlos Henrique Karam Salata.

A todos os colegas, professores e funcionários da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

## RESUMO

ALMEIDA, T. L. **IMPLANTAÇÃO DE UM PIRANÔMETRO TERMOELÉTRICO NA UTFPR PARA ANÁLISE DO POTENCIAL DE ENERGIA SOLAR NESTA LOCALIDADE.** 2015. 94f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

Este trabalho realizou um estudo do método para a instalação de um Piranômetro na Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Curitiba – Sede Centro, na cobertura do bloco “B” e também de um Datalogger no laboratório B-207 da mesma localidade para o cálculo da irradiação solar neste local. A segunda meta deste trabalho foi colher os dados obtidos pelo piranômetro e compará-los aos dados disponíveis pelo INMET. Para instalar o sistema e comparar os dados, este trabalho também realizou um estudo a respeito da irradiância e os fenômenos naturais que nela interferem. Para o funcionamento correto do sistema também foram avaliados os manuais do Piranômetro e do Datalogger.

**Palavras-chave:** Irradiância. Irradiação. Piranômetro. Datalogger. UTFPR. Curitiba.

## ABSTRACT

ALMEIDA, T. L. **IMPLEMENTATION OF A THERMOELETRIC PYRANOMETER AT UTFPR FOR THE ANALYSIS OF THE POTENTIAL OF SOLAR ENERGY IN THIS LOCATION.** 2015. 94f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

This work make a study of the method for installing a Pyranometer in the Federal Technological University of Paraná – Câmpus Curitiba - Center, on top of the block "B" and also a Datalogger in B-207 lab in the same location for the calculation of solar radiation at this location. The second goal of this study was to collect the data obtained by the pyranometer and compare them to the data available at INMET. To install the system and comparing data, this study also conducted a study on the irradiance and natural phenomena that affect it. For the correct operation of the system were also evaluated manuals pyranometer and Datalogger

**Keywords:** Irradiance. Irradiation. Pyranometer. Datalogger. UTFPR. Curitiba.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Partes que compõem o Sol .....	20
Figura 2 Estações de ano - Movimento de Translação .....	22
Figura 3 Declinação solar.....	22
Figura 4 Irradiância extraterrestre ao longo do ano.....	23
Figura 5 Ângulos da Incidência Solar: Ângulo Zenital ( $\Theta_z$ ), Elevação Solar ( $\alpha$ ) e Ângulo Azimutal do Sol ( $\gamma_s$ ).....	25
Figura 6 Ângulos da Incidência Solar: Ângulo Azimutal da Superfície ( $\gamma$ ), Ângulo Azimutal do Sol ( $\gamma_s$ ) e Inclinação da Superfície de Captação ( $\beta$ ) .....	25
Figura 7 Ângulos de incidência e reflexão da luz solar .....	26
Figura 8 Irradiância solar.....	27
Figura 9 Componentes da irradiância solar.....	29
Figura 10 Distribuição espectral da irradiância no topo da atmosfera; da irradiância ao incidir perpendicularmente sobre uma superfície inclinada ( $37^\circ$ ) ao nível do mar e voltada para a linha do Equador; da irradiância após atravessar uma massa de ar de 1,5. ....	31
Figura 11 Mapa mundial de irradiação solar em média anual.....	32
Figura 12 Mapa solar Brasileiro sazonal. ....	33
Figura 13 Mapa solar de radiação global horizontal, média diária anual.....	34
Figura 14 Piranômetro Termoelétrico CMP 3.....	36
Figura 15 Termopilha do Piranômetro Fotovoltaico.....	37
Figura 16 Resposta espectral dos piranômetros. 1 Distribuição espectral da irradiância solar na superfície da Terra; 2 Resposta do piranômetro termoelétrico. 3 Resposta do piranômetro fotovoltaico (silício).....	37
Figura 17 Piranômetro Termoelétrico Kipp&Zonen 03 .....	38
Figura 18 Datalogger CR1000.....	38
Figura 19 Terraço do bloco B da UTFPR .....	40
Figura 20 Piranômetro instalado no TECPAR .....	42



Figura 21 Correta distância de Instalação do Piranômetro. ....	42
Figura 22: Suporte para o Piranômetro CMP 03 .....	43
Figura 23 Alçapão de acesso ao terraço do bloco B .....	44
Figura 24 Escada para acesso ao terraço do bloco B.....	45
Figura 25 Marcação da parede para confecção dos furos de fixação do suporte .....	46
Figura 26 Abertura da caixa do Piranômetro.....	47
Figura 27 Tampa de proteção do sistema de fixação.....	47
Figura 28 Piranômetro sem a tampa de proteção .....	48
Figura 29 Marcação do suporte para a furação.....	48
Figura 30 Confecção do furo no suporte .....	49
Figura 31 Confecção dos dois primeiros furos na parede (a).....	50
Figura 32 Confecção dos dois primeiros furos na parede (b).....	50
Figura 33 Fixação do suporte furos superiores .....	51
Figura 34 Fixação do piranômetro e nivelamento do mesmo.....	51
Figura 35 Cabo conectado ao Piranômetro.....	52
Figura 36 Descida de cabos para sala B-207.....	52
Figura 37 Piranômetro CMP 3, detalhe da sensibilidade do equipamento.....	53
Figura 38 Cabo do piranômetro a ser emendado.....	54
Figura 39 Emenda das Vias azuis e posterior solda .....	54
Figura 40 Emenda das vias azuis isoladas com tubo termocontrátil .....	55
Figura 41 Malhas de proteção dos cabos unidas .....	55
Figura 42 Cabo passado pelo vão da janela da sala B207 .....	56
Figura 43 Acabamento da extremidade do cabo.....	56
Figura 44 Datalogger CR-1000 entradas possíveis e conexões necessárias no Datalogger.....	57
Figura 45 Conexão do piranômetro ao Datalogger .....	58

Figura 46 Verificação da tensão e polaridade da fonte de alimentação que será conectada ao Datalogger .....	58
Figura 47 Borne de alimentação do Datalogger conectado com a tensão e polaridade corretos .....	59
Figura 48 Cabo conversor Serial-USB conectado ao Datalogger .....	59
Figura 49 Janela inicial de configuração do software PC200W.....	60
Figura 50 Janela de seleção do Datalogger utilizado .....	61
Figura 51 Janela de seleção da Porta de comunicação usada pelo computador.....	61
Figura 52 Device Configuration Utility - porta de comunicação .....	62
Figura 53 Janela inicial software PC200W .....	62
Figura 54 Janela do programa PC200W para criação de rotinas – passo inicial .....	63
Figura 55 Janela do programa PC200W para criação de rotinas – seleção do modelo de Datalogger.....	64
Figura 56 Janela do programa PC200W para criação de rotinas – Seleção do modelo de sensor.....	65
Figura 57 Janela do programa PC200W para criação de rotinas – configuração dos dados do sensor.....	65
Figura 58 Janela do programa PC200W para criação de rotinas – Configuração da tabela de saída de dados .....	66
Figura 59 Janela do programa PC200W para criação de rotinas – Verificação da conexão dos cabos .....	67
Figura 60 Janela do programa PC200W para criação de rotinas – Janela final.....	67
Figura 61 Janela inicial software PC200W - Envio de um novo programa.....	68
Figura 62 Janela inicial software PC200W - seleção aba "Colect Data" .....	69
Figura 63 Janela para extração de dados software PC200W – seleção da pasta destino.....	69
Figura 64 Janela de dados extraídos do Datalogger.....	70
Figura 65 Janela para geração de gráficos software PC200W .....	70

Figura 66 Janela para geração de gráficos software PC200W – Dados selecionados .....	71
Figura 67 Estação solarimétrica A807.....	73
Figura 68 Irradiância no dia 14 de Maio de 2015 - UTPFR.....	74
Figura 69 Irradiância no dia 15 de Maio de 2015 - UTPFR.....	74
Figura 70 Irradiância no dia 16 de Maio de 2015 - UTPFR.....	75
Figura 71 Irradiância no dia 17 de Maio de 2015 - UTPFR.....	75
Figura 72 Irradiância no dia 18 de Maio de 2015 - UTPFR.....	76
Figura 73 Irradiância no dia 19 de Maio de 2015 - UTPFR.....	76
Figura 74 Irradiância no dia 20 de Maio de 2015 - UTPFR.....	77
Figura 75 Irradiância no dia 21 de Maio de 2015 - UTPFR.....	77
Figura 76 Irradiância no dia 22 de Maio de 2015 - UTPFR.....	78
Figura 77 Irradiância no dia 23 de Maio de 2015 - UTPFR.....	78
Figura 78 Irradiância no dia 24 de Maio de 2015 - UTPFR.....	79
Figura 79 Irradiância no dia 25 de Maio de 2015 - UTPFR.....	79
Figura 80 Irradiância no dia 26 de Maio de 2015 - UTPFR.....	80
Figura 81 Irradiância no dia 27 de Maio de 2015 - UTPFR.....	80
Figura 82 Irradiância no dia 28 de Maio de 2015 - UTPFR.....	81
Figura 83 Irradiância no dia 29 de Maio de 2015 - UTPFR.....	81
Figura 84 Irradiância no dia 30 de Maio de 2015 - UTPFR.....	82
Figura 85 Irradiância no dia 31 de Maio de 2015 - UTPFR.....	82
Figura 86 Irradiância no dia 01 de Junho de 2015 .....	83
Figura 87 Irradiância no dia 02 de Junho de 2015 .....	83
Figura 88 Irradiância no dia 03 de Junho de 2015 .....	84
Figura 89 Irradiância no dia 04 de Junho de 2015 .....	84
Figura 90 Irradiância no dia 05 de Junho de 2015.....	85

Figura 91 Irradiância no dia 06 de Junho de 2015.....	85
Figura 92 Irradiância no dia 07 de Junho de 2015 .....	86
Figura 93 Irradiância no dia 08 de Junho de 2015 .....	86
Figura 94 Irradiação de Maio UTFPR - INMET .....	88
Figura 95 Irradiação Junho UTFPR.....	89

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Percentual de albedo para diversas superfícies .....	28
Tabela 2 Número de PCD (plataformas de coleta de dados) utilizadas para validação do modelo BRASIL-SR.....	39
Tabela 3: Irradiação média do mês de Maio – Comparação dos dados da UTFPR e do INMET .....	87
Tabela 4 Irradiação média do mês de Junho .....	89

## **LISTA DE SIGLAS**

<b>INPE</b>	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
<b>INMET</b>	Instituto Nacional de Meteorologia
<b>CEPTEC</b>	Centro de Previsão de Tempo e Controle Climático
<b>SONDA</b>	Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais
<b>SFVCR</b>	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede
<b>TECPAR</b>	Instituto de Tecnologia do Paraná
<b>UTFPR</b>	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
<b>UV</b>	Ultravioleta

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	16
1.1 TEMA .....	17
1.1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA .....	17
1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS .....	17
1.3 OBJETIVOS .....	17
1.3.1 OBJETIVO GERAL .....	17
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	18
1.4 JUSTIFICATIVA .....	18
1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	18
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	18
2. REVISÃO DA LITERATURA .....	20
2.1 RADIAÇÃO SOLAR .....	20
2.2 IRRADIÂNCIA .....	21
2.2.1 GEOMETRIA SOL-TERRA .....	21
2.2.2 ÂNGULOS DA GEOMETRIA SOLAR .....	24
2.2.3 RADIAÇÃO SOLAR SOBRE A TERRA .....	27
2.3 MAPAS SOLARES .....	31
2.4 MEDIDORES DE RADIAÇÃO SOLAR .....	34
2.5 PIRANÔMETRO TERMOELÉTRICO KIPP&ZONEN .....	37
3 INSTALAÇÃO DO PIRANÔMETRO TERMOELÉTRICO .....	40
3.1 LOCAL DE INSTALAÇÃO DO PIRANÔMETRO .....	40
3.2 VISITA AO TECPAR .....	41
3.3 SUPORTE PARA FIXAÇÃO DO PIRANÔMETRO .....	42
3.4 INSTALAÇÃO DO PIRANÔMETRO .....	43
3.4.1 FIXAÇÃO DO SUPORTE MECÂNICO .....	44

3.4.2 INSTALAÇÃO DO DATALOGGER .....	53
3.4.3 CONFIGURAÇÃO DO DATALOGGER.....	60
3.4.4 COLETA DE DADOS .....	69
4. ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS.....	72
4.1 IRRADIAÇÃO MÉDIA.....	87
5. CONCLUSÕES .....	90
6. REFERENCIAS.....	91



## 1. INTRODUÇÃO

Os países pelo mundo encontram-se em uma situação de crescimento industrial, econômico e populacional e conseqüentemente a demanda por energia tem aumentado, e para suprir esta nova demanda precisou-se desenvolver novas formas de gerar energia elétrica, pois os modelos clássicos movidos a carvão e petróleo poluem demasiadamente, e a sociedade moderna devido ao efeito estufa e outros fenômenos naturais tem se preocupado cada vez mais com o meio ambiente.

Uma das maneiras de gerar energia que está em voga devido a sua não emissão de poluentes é a energia solar. Pode-se aproveitar o Sol de diversas maneiras. Uma delas, muito usada desde a antiguidade, é aquecer a água. Existem usinas elétricas com turbinas a vapor que utilizam esta energia proveniente do Sol para gerar o vapor e movimentar suas turbinas, porém o interesse deste trabalho esta nos módulos fotovoltaicos que convertem a energia solar em eletricidade.

O Sol nada mais é do que um reator nuclear funcionando e gerando energia através do fenômeno da fusão dos átomos de hidrogênio que se tornam átomos hélio, conseqüentemente gerando energia (RUTHER, 2004).

Descontando as atenuações que a energia solar sofre na atmosfera, chegam à superfície da terra  $1000 \text{ W/m}^2$  de irradiância solar. Levando em conta que o raio médio da terra é de  $6,4 \times 10^6 \text{ m}$ , chega à sua superfície uma energia total  $1,75 \times 10^{17} \text{ W}$ . Considerando que o consumo global médio durante um ano é de  $3,4 \times 10^6 \text{ kWh}$ , chega-se a conclusão de que em aproximadamente 12 minutos o Sol irradia energia suficiente para alimentar todo o planeta (RUTHER, 2004).

Porém mesmo o planeta terra possuindo uma irradiação solar imensa, existem locais onde a irradiância é baixa e não é justificável economicamente a utilização de sistemas fotovoltaicos. Para evitar-se de instalar um sistema fotovoltaico ineficiente, precisa-se realizar um estudo da irradiação solar no local e da viabilidade econômica da instalação.

A irradiação solar é obtida a partir de medidas de irradiância em um aparelho conhecido como piranômetro que terá sua funcionalidade descrita na sequência do trabalho. A proposta deste trabalho foi realizar um estudo e instalar um pirômetro nas dependências da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – Câmpus Curitiba – Sede Centro, a fim de comparar os dados disponibilizados pelo INPE e INMET com os dados coletados pelo equipamento instalado.

## **1.1 TEMA**

Estudo para realizar a instalação de um piranômetro e juntamente desenvolver o conhecimento necessário para coletar e interpretar os dados obtidos pelo equipamento.

### **1.1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA**

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná adquiriu um piranômetro termoelétrico modelo CMP 03, 12V, do fabricante KIPP&ZONEN e um Datalogger CR1000 da fabricante CAMPBELL SCIENTIFIC para serem instalados na cobertura do bloco B da sede Centro do Câmpus Curitiba.

Este trabalho desenvolveu um método para a instalação do equipamento na universidade. Com a instalação dos componentes foi montado uma central de tratamento de dados para determinar a irradiância neste ponto geográfico e conseqüentemente o potencial elétrico que um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica (SFVCR) pode fornecer.

## **1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS**

O primeiro ponto de dificuldade para o desenvolvimento deste trabalho foi a instalação do piranômetro, pois este deve ser instalado no alto e de modo que o cabo necessário para a conexão do piranômetro ao Datalogger não possua mais do que 100m, pois um cabo maior interferiria nas leituras do Datalogger.

Foi projetada e construída uma base metálica para suportar o piranômetro. O suporte serviu para impedir que o piranômetro se movesse e para deixa-lo a uma altura mais elevada do que os módulos fotovoltaicos já instalados no local e também para que não houvesse sombreamento em nenhuma hora do dia durante todo o ano sobre o equipamento.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 OBJETIVO GERAL**

Instalar o piranômetro termoelétrico CMP 03 no terraço do Bloco B da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Câmpus Curitiba – Sede Centro, e o Datalogger CR1000 no laboratório B-207 da mesma localidade para análise do potencial de energia solar na área analisada.

### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Análise dos manuais do piranômetro termoeletrico CMP 03 e do Datalogger CR1000 para a correta instalação e transferência de dados do piranômetro para o Datalogger e deste para um computador para a estimativa do fluxo de radiação solar. Para isto foram seguidos os parâmetros abaixo:

- Estudo sobre irradiância e irradiação, além das equações que tratam estas grandezas;
- Instalação mecânica e elétrica dos dois equipamentos;
- Coleta de dados de irradiância;
- Calculo da irradiação a partir do somatório dos valores da irradiância solar.

### **1.4 JUSTIFICATIVA**

Os dados de irradiação utilizados para o cálculo da geração de energia elétrica dos módulos fotovoltaicos são fornecidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e disponibilizados em tabelas e mapas solares. Eles utilizam médias históricas para fornecer os valores de irradiação solar em dado ponto geográfico. Porém torna-se relevante a instalação de mais sensores para validar os dados já disponibilizados e/ou levantar novos dados mais precisos.

Visa-se também observar o comportamento da irradiância na localidade de estudo e comparar os dados obtidos com os disponíveis nos mapas solares.

### **1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

O trabalho foi dividido em três partes principais: a primeira delas foi o estudo da radiação solar e o funcionamento do piranômetro; a segunda parte foi o estudo de como executar a instalação do piranômetro e instalá-lo e a última parte foi composta pela análise dos dados obtidos e a comparação dos dados disponíveis nos mapas solares.

### **1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO**

No primeiro capítulo, visou-se a apresentação de uma proposta concisa para o trabalho de conclusão de curso, apresentando uma introdução do equipamento

piranômetro termoeletrico e o Datalogger, delimitando o tema e objetivos do trabalho a ser desenvolvido.

O segundo capítulo do trabalho apresenta os conceitos de radiação solar e fluxo de radiação solar (irradiância) além do estudo dos manuais dos equipamentos que serão instalados na Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Curitiba – Sede Centro.

O capítulo três demonstra a instalação elétrica e mecânica dos componentes, bem como a correta conexão entre ambos para a coleta e transferência de dados para um computador para a leitura dos mesmos e cálculo da irradiação solar incidente sobre o bloco-B da UTFPR.

O capítulo quatro se presta a coletar os dados salvos no Datalogger e comparar com os dados disponíveis nos mapas solares.

O quinto capítulo apresenta a conclusão deste trabalho e indica novas frentes para futuros trabalhos.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo tratar-se-á da energia proveniente do Sol que chega à Terra. Esta, por sua vez, é conhecida como radiação solar, que chega à Terra através de ondas eletromagnéticas. O equipamento responsável por medir esta radiação é o piranômetro.

### 2.1 RADIAÇÃO SOLAR

O Sol é a principal fonte de energia para a Terra. Além de ser responsável pela manutenção da vida no Planeta, o Sol é uma estrela média de  $1,39 \times 10^9$  m de diâmetro, que irradia energia suficiente para manter a temperatura da Terra em um patamar confortável (MARTINAZZO, 2004).

O Sol é basicamente gasoso e quente, devido suas reações de fusão nuclear onde hidrogênio torna-se hélio. Ele é composto por cinco camadas como mostrado na figura 1.

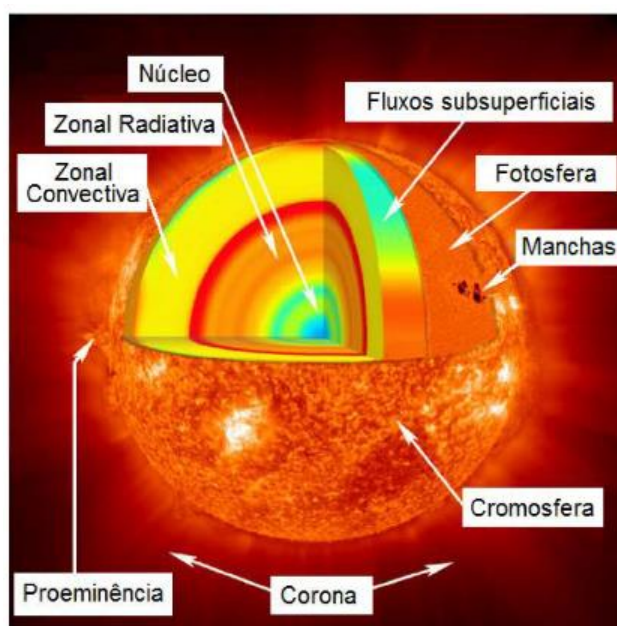


Figura 1 Partes que compõem o Sol  
Fonte: PINHO e GALDINO, 2014

O núcleo, com temperatura de cerca de 15 milhões de kelvin, é a região mais densa e onde a energia é produzida por reações termonucleares. Logo acima se encontra a zona radiativa, onde a energia produzida no núcleo é transferida para as regiões superiores através da radiação (PINHO e GALDINO, 2014).

A zona convectiva possui este nome em função dos processos de convecção que dominam o transporte de energia das regiões mais internas do Sol para a superfície solar (PINHO e GALDINO, 2014).

A fotosfera, primeira região da atmosfera solar, com 330 km de espessura e temperatura próxima de 5.800 K, é a camada visível do Sol. A fotosfera é a fonte da maior parte da radiação visível que é emitida pelo Sol (PINHO e GALDINO, 2014).

A cromosfera está acima da fotosfera. A energia solar passa através desta região em seu caminho desde o centro do Sol. Manchas (*faculae*) e explosões (*flares*) se levantam da cromosfera. *Faculae* são nuvens brilhantes de hidrogênio que aparecem em regiões onde manchas solares logo se formarão. *Flares* são filamentos brilhantes de gás quente emergindo das regiões das manchas. Manchas solares são depressões escuras na fotosfera com uma temperatura típica de 4.000°C (HAMILTON, 1997).

A coroa é a parte mais externa da atmosfera do Sol. É nesta região que as proeminências aparecem. Proeminências são imensas nuvens de gás aquecido e brilhante que explodem da alta cromosfera. A região exterior da coroa se estende ao espaço e inclui partículas viajando lentamente para longe do Sol. A coroa só pode ser vista durante eclipses solares totais, em virtude do alto brilho da fotosfera que a inibe, (HAMILTON, 1997).

## 2.2 IRRADIÂNCIA

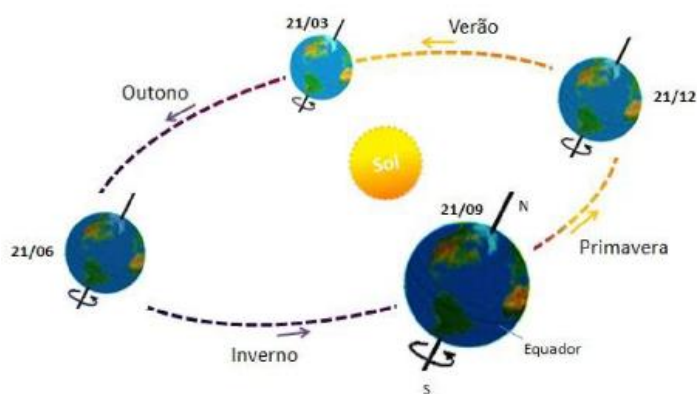
A quantidade de energia transferida pela irradiação depende da distância emissor-receptor, no caso Sol - Terra. A distância entre os dois é cerca de 150.000.000 km e a irradiância equivale a 1366 W/m<sup>2</sup> (RUTHER, 2004), valor este conhecido como constante solar, pois é válido apenas até a atmosfera terrestre devido ao fato das ondas eletromagnéticas sofrerem reflexões e difrações até chegarem à superfície da terra e conseqüentemente na superfície terrestre a irradiância diminui para 1000 W/m<sup>2</sup> (RUTHER, 2004).

### 2.2.1 GEOMETRIA SOL-TERRA

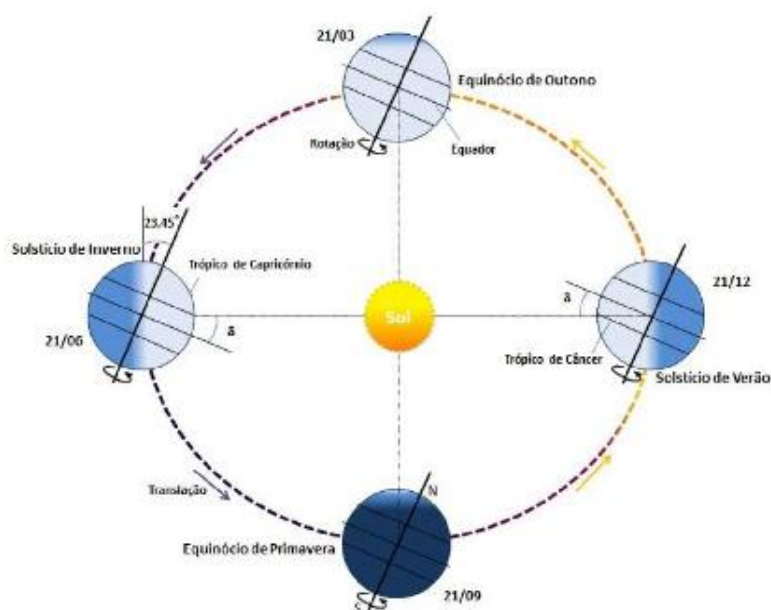
O movimento de translação da terra descreve uma trajetória elíptica com uma pequena excentricidade 0,017. Ao traçar um plano no centro da terra observa-se que esta possui uma inclinação natural 23,45°, conseqüentemente observando-se o

movimento aparente do Sol, ao meio dia solar, ao longo do ano, verifica-se que o ângulo entre os seus raios e o plano do Equador varia entre  $+23,45^\circ$  em torno do dia 21 de Junho (solstício de inverno no hemisfério Sul), e  $-23,45^\circ$  em 21 de dezembro (solstício de verão no hemisfério Sul). Este ângulo é denominado Declinação Solar  $\delta$  (PINHO e GALDINO, 2014). O valor da declinação solar é positivo ao Norte e negativo ao Sul do Equador.

Nos dias 21 de setembro (equinócio de primavera) e 21 de março (equinócio de outono) os raios solares se alinham com o plano do Equador  $\delta = 0$ . A Figura 2 ilustra o movimento da Terra em torno do Sol e as estações do ano para o hemisfério Sul e a Figura 3 mostra a Declinação Solar  $\delta$  em quatro posições da Terra ao longo do ano (PINHO e GALDINO, 2014).



**Figura 2 Estações de ano - Movimento de Translação**  
Fonte: PINHO e GALDINO, 2014



**Figura 3 Declinação solar**  
Fonte: PINHO e GALDINO, 2014

Na Figura 3 é possível observar a variação da duração do dia e da noite ao longo do ano para uma determinada localidade, resultante da inclinação do eixo da Terra. Verificam-se dias mais longos, por exemplo, em localidades no hemisfério Sul, no solstício de verão e dias mais curtos no solstício de inverno. No Equador terrestre a duração dos dias é sempre igual e nas suas proximidades as variações são pequenas ao longo do ano. É possível também observar que nos equinócios, as durações dos dias são as mesmas para qualquer localidade.

Considerando-se as convenções para a declinação solar e a latitude, positivas ao Norte e negativas ao Sul do Equador, a diferença entre a declinação e a latitude determina a trajetória do movimento aparente do Sol para um determinado dia em uma dada localidade na Terra.

A declinação solar pode ser calculada utilizando-se a Equação 2.1 (PINHO e GALDINO, 2014).

$$\text{sen}(\delta) = -\text{sen}(23,45) * \cos\left[\left(\frac{360}{365,25}\right) * (n + 10)\right] \quad (2.1)$$

Onde:

n = representa o dia Juliano, contado de 1 a 365 a partir de 1 de janeiro

A excentricidade da elipse que descreve a trajetória da Terra em torno do Sol resulta em uma variação no valor da irradiância extraterrestre ao longo do ano. A Figura 4 mostra o comportamento anual da irradiância extraterrestre, ou irradiância extraterrestre efetiva.

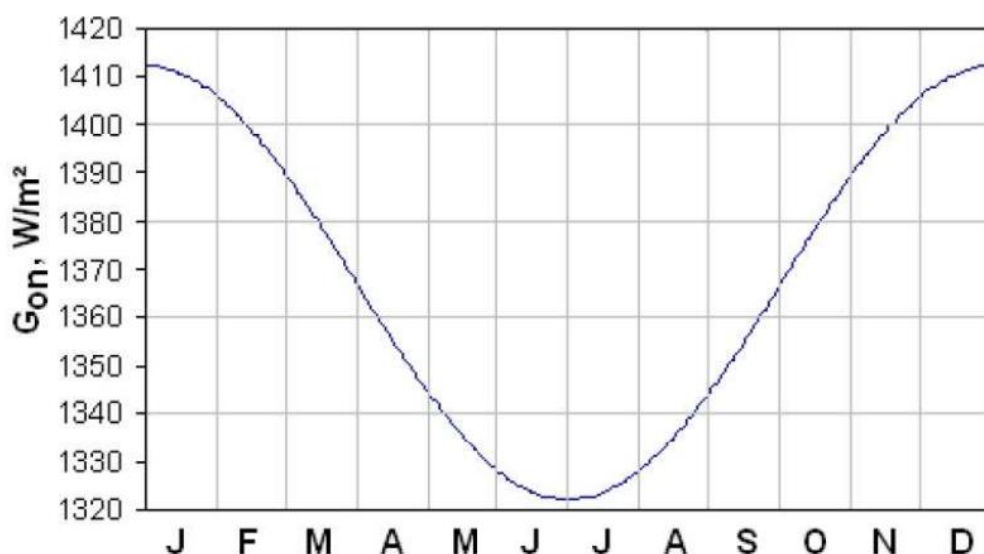


Figura 4 Irradiância extraterrestre ao longo do ano  
Fonte: MARTINAZZO, 2004



## 2.2.2 ÂNGULOS DA GEOMETRIA SOLAR

As relações geométricas entre os raios solares, que variam de acordo com o movimento aparente do Sol e a superfície terrestre, são descritas através de vários ângulos, os quais estão apresentados na Figura 5 e definidos a seguir:

- Ângulo Zenital ( $\Theta_z$ ): ângulo entre a vertical e a linha de incidência do Sol (GUIMARÃES, 2004)

- Altura ou Elevação Solar ( $\alpha$ ): ângulo entre a horizontal e a linha do Sol. Complemento do ângulo zenital (GUIMARÃES, 2003), seu valor deve obedecer à equação 2.2:

$$\theta_z + \alpha = 90^\circ \quad (2.2)$$

- Ângulo Azimutal do Sol ( $\gamma_s$ ) também chamado azimute solar, é o ângulo entre a projeção dos raios solares no plano horizontal e a direção Norte-Sul. O deslocamento angular é tomado a partir do Norte  $0^\circ$  geográfico, sendo, por convenção, positivo quando a projeção se encontrar à direita do Sul (a leste) e negativo quando se encontrar à esquerda (a oeste) (PINHO e GALDINO, 2014),  $\gamma_s$  deve estar na escala de valores mostrado na equação 2.3:

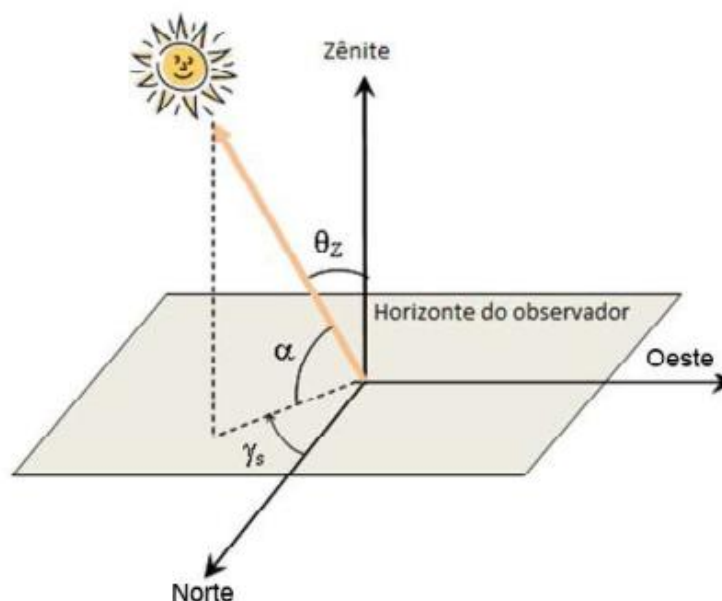
$$-180^\circ \leq \gamma_s \leq 180^\circ \quad (2.3)$$

- Ângulo Azimutal da Superfície  $\gamma$ : ângulo entre a projeção da normal à superfície no plano horizontal e a direção Norte-Sul. Obedece às mesmas convenções do azimute solar (PINHO e GALDINO, 2014).

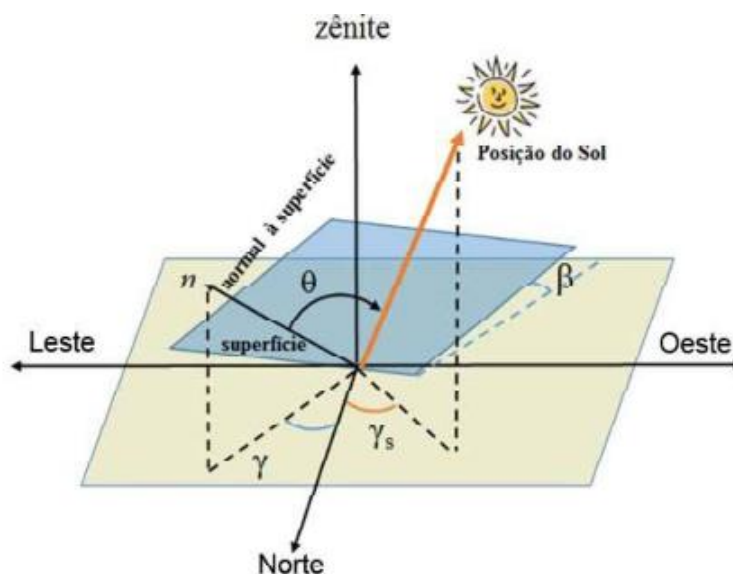
- Inclinação da superfície de captação  $\beta$ : - ângulo entre o plano da superfície em questão e o plano horizontal no caso deve variar conforme a equação 2.4 (MARTINAZZO, 2004):

$$0^\circ \leq \beta \leq 90^\circ \quad (2.4)$$

Nas figuras 5 e 6 são mostrados os ângulos importantes para a incidência solar em uma superfície.



**Figura 5 Ângulos da Incidência Solar: Ângulo Zenital ( $\Theta_z$ ), Elevação Solar ( $\alpha$ ) e Ângulo Azimutal do Sol ( $\gamma_s$ )**  
**Fonte: PINHO e GALDINO, 2014**



**Figura 6 Ângulos da Incidência Solar: Ângulo Azimutal da Superfície ( $\gamma$ ), Ângulo Azimutal do Sol ( $\gamma_s$ ) e Inclinação da Superfície de Captação ( $\beta$ )**  
**Fonte: PINHO e GALDINO, 2014**

Outros ângulos de igual importância, que não estão representados na Figura 5 e 6, são os ângulos  $\omega$ ,  $\Theta$  e  $\Theta_z$  que serão mostrados na sequência:

- Ângulo Horário do Sol ou Hora Angular do Sol  $\omega$ , a partir do meridiano local, e devido ao movimento de rotação da Terra. Conforme apresentado na

Equação 2.5, cada hora solar  $H_s$  corresponde a um deslocamento de  $15^\circ$ , durante o período vespertino  $\omega$  será positivo, no período da tarde será negativo e ao meio dia solar nulo (GUIMARÃES, 2003):

$$\omega = (H_s - 12)15^\circ \quad (2.5)$$

O ângulo  $\Theta_z$  pode ser calculado em função da declinação solar  $\delta$ , do ângulo horário  $\omega$  e da latitude local  $\phi$ , através da equação 2.6. Também se pode observar o ângulo  $\Theta_z$  na figura 7.

$$\cos(\theta_z) = \cos(\delta) \cos(\omega) \cos(\phi) + \text{sen}(\delta) \text{sen}(\phi) \quad (2.6)$$

O ângulo de incidência  $\Theta$ , entre os raios do Sol e uma superfície com orientação  $\gamma$  e inclinação  $\beta$  qualquer, pode ser obtido utilizando-se a Equação (2.7). Também se pode observar o ângulo  $\Theta$  na figura 7.

$$\cos(\theta) = \cos(\beta) \cos(\delta) \cos(\phi) + \cos(\beta) \text{sen}(\delta) \text{sen}(\phi) \quad (2.7)$$

Os ângulos  $\Theta_z$  e  $\Theta$  permitem calcular a componente direta que incide normalmente a um plano horizontal  $G_{dh}$  ou a qualquer superfície inclinada  $G_{d\beta}$ , desde que conhecida a componente direta da irradiância incidente sobre a superfície, conforme Equação 2.8. Essa informação é necessária para os cálculos de irradiância solar direta coletada por dispositivos de conversão de energia solar. A Figura 7 indica o ângulo de incidência da irradiância solar direta sobre uma superfície horizontal e sobre uma superfície inclinada (PINHO e GALDINO, 2014).

$$\frac{G_{d\beta}}{G_{dh}} = \frac{G_d \cos(\theta)}{G_d \cos(\theta_z)} = \frac{\cos(\theta)}{\cos(\theta_z)} \quad (2.8)$$

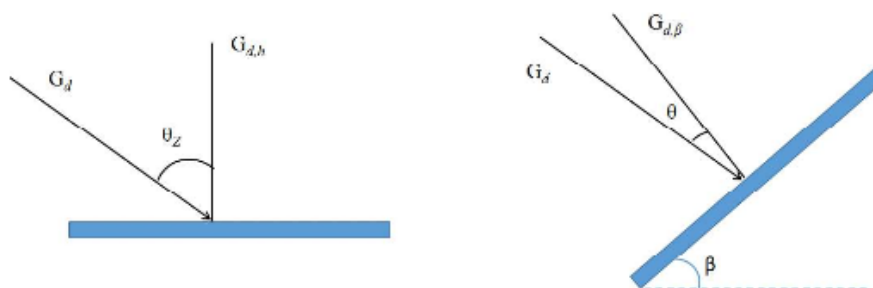


Figura 7 Ângulos de incidência e reflexão da luz solar  
Fonte: PINHO e GALDINO, 2014

### 2.2.3 RADIAÇÃO SOLAR SOBRE A TERRA

Observações periódicas feitas a partir do espaço permitem análises mais qualitativas dos fluxos de energia na Terra. Estas atualizam o diagrama de fluxo de potência global, as bases de medição são de março de 2000 a novembro de 2005. Segundo esse diagrama 46% da energia solar é absorvido ou refletido diretamente pela atmosfera, dos cerca de 54% restantes da irradiância solar, 7% é refletida e 47% é absorvida pela superfície terrestre. Ou seja, quase metade da energia proveniente do Sol é perdida já na atmosfera (PINHO e GALDINO, 2014).

Na figura 8 se pode observar o comportamento da irradiância solar e seu fluxo normal.

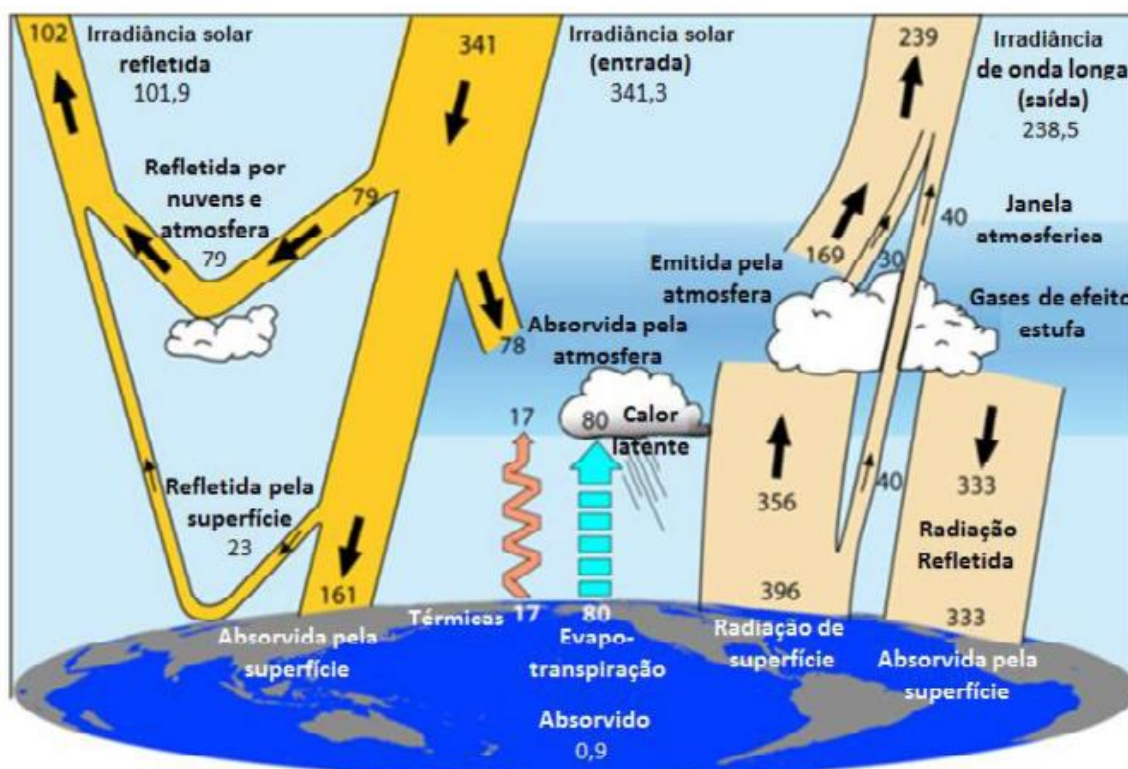


Figura 8 Irradiância solar  
Fonte: PINHO e GALDINO, 2014

Quando um corpo recebe irradiação solar, esta é composta por duas componentes: uma direta que não sofreu interferência do meio, e outra sofreu reflexão ou difração nas nuvens ou na água antes de ser absorvida, esta conhecida por radiação difusa.

Mesmo em um dia totalmente sem nuvens, pelo menos 20 % da radiação que atinge a superfície é difusa. Já em um dia totalmente nublado, não há radiação direta, e 100 % da radiação é difusa (PINHO e GALDINO, 2014).

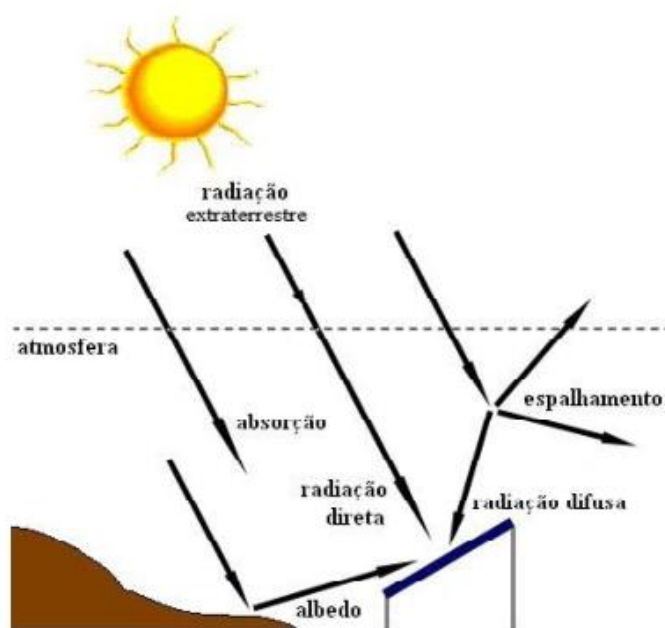
A absorção atmosférica da irradiação solar ocorre, sobretudo, devido a dois componentes que constituem a atmosfera: o ozônio e vapor d'água existindo outros gases que interferem na radiação sobre a Terra, como dióxido de carbono, oxigênio e gases em geral, porém estes exercem menor influência. Todos eles, em quantidades distintas, absorvem parte da irradiação incidente. O espalhamento ocorrido na atmosfera é causado, sobretudo por moléculas de gases, particulados e gotículas de água (GUIMARÃES, 2003).

Caso a superfície estiver inclinada com relação à horizontal aparecerá uma terceira componente refletida pelos arredores (solo, vegetação, obstáculos, terrenos rochosos, etc.), esta sendo conhecida como albedo. Na Tabela 1 são apresentados valores típicos de albedo para algumas superfícies.

<b>SUPERFÍCIE</b>	<b>ALBEDO</b>
<b>GRAMADO</b>	0,18-0,23
<b>GRAMA SECA</b>	0,28 - 0,32
<b>SOLO DESCAMPADO</b>	0,17
<b>ASFALTO</b>	0,15
<b>CONCRETO NOVO (sem ação de intempéries)</b>	0,55
<b>CONCRETO (em construção urbana)</b>	0,2
<b>NEVE FRESCA</b>	0,8-0,9
<b>ÁGUA, PARA DIFERENTES VALORES DE ALTURA SOLAR</b>	
<b><math>\alpha &gt; 45^\circ</math></b>	0,05
<b><math>\alpha &gt; 30^\circ</math></b>	0,08
<b><math>\alpha &gt; 20^\circ</math></b>	0,12
<b><math>\alpha &gt; 10^\circ</math></b>	0,22

**Tabela 1 Percentual de albedo para diversas superfícies**  
**Fonte: PINHO e GALDINO, 2014**

Na figura 9 se observa as três componentes da reflexão que foram mencionadas anteriormente.



**Figura 9 Componentes da irradiância solar**  
**Fonte: PINHO e GALDINO, 2014**

Antes de atingir o solo, as características da radiação solar (intensidade, distribuição espectral e angular) são afetadas por interações com a atmosfera, devidas aos efeitos de absorção e espalhamento. Estas modificações são dependentes da espessura da camada atmosférica, esta quantidade de ar é definida por um coeficiente denominado Massa de Ar (AM, do inglês *Air Mass*). Outros três fatores determinantes para esta interferência são o ângulo zenital do Sol, à distância Terra-Sol e das condições atmosféricas e meteorológicas (PINHO e GALDINO, 2014).

A massa de ar define aproximadamente a distância real que a luz percorre até chegar à superfície da terra, para ângulos zenitais entre  $0^\circ$  e  $70^\circ$  a massa de ar ao nível do mar pode ser definida matematicamente pela Equação 2.9, onde esta equação considera a terra plana. Para ângulos maiores, os efeitos da curvatura da Terra devem ser levados em consideração, conseqüentemente esta equação não poderá ser mais usada.

$$AM = \frac{1}{\cos(\theta_z)} \quad (2.9)$$

Denomina-se de AM1 quando a massa de ar é igual a 1, ou seja, o Sol encontra-se no zênite (ângulo zenital igual a  $0^\circ$  o Sol esta perpendicular com o solo, figuras 5 e 6). Outras denominações são dadas, por exemplo, AM2, quando o ângulo

zenital é igual a  $60^\circ$  e AM0 (sem massa atmosférica para a radiação solar atravessar), definida como a massa de ar no topo da atmosfera (radiação extraterrestre) (PINHO e GALDINO, 2014).

A Figura 10 mostra o espectro da irradiância solar em três condições: no topo da atmosfera da Terra -AM0-; ao atingir perpendicularmente uma superfície ao nível do mar inclinada a  $37^\circ$  -AM1,3- e voltada para a linha do Equador e após atravessar uma espessura de atmosfera 50 % maior que quando o Sol encontra-se no zênite, incidindo sobre uma superfície ao nível do mar -AM1,5- (irradiância direta + circunsolar).

O Sol emite luz com uma distribuição semelhante ao que seria esperado a partir de um corpo negro a 5.800K (5.527°C), que é aproximadamente a temperatura de sua superfície. Quando a luz atravessa a atmosfera, parte é absorvida por gases com bandas de absorção específicas. O ozônio ( $O_3$ ), por exemplo, absorve em uma banda na faixa do UV (Ultravioleta) em comprimentos de onda inferiores a 300nm, o vapor de água ( $H_2O$ ) e o dióxido de Carbono e ( $CO_2$ ) absorvem em várias bandas na faixa do IR (infravermelho) em comprimentos de onda superiores a 1000nm (PINHO e GALDINO, 2014).

Outra parte da radiação incidente na atmosfera interage com esta e é espalhada em todas as direções, constituindo a radiação difusa, ou seja não sendo aproveitada pela superfície.

As perdas do fluxo de potência entre o espectro da irradiância incidente no topo da atmosfera e o espectro da irradiância global que atinge a superfície inclinada citada são de aproximadamente 27%, resultando em cerca de 1.000 W/m<sup>2</sup> incidentes sobre a referida superfície, cabendo ressaltar que este nível de irradiância é considerado como valor padrão para a especificação da potência nominal de uma célula ou de um módulo fotovoltaico (PINHO e GALDINO, 2014).

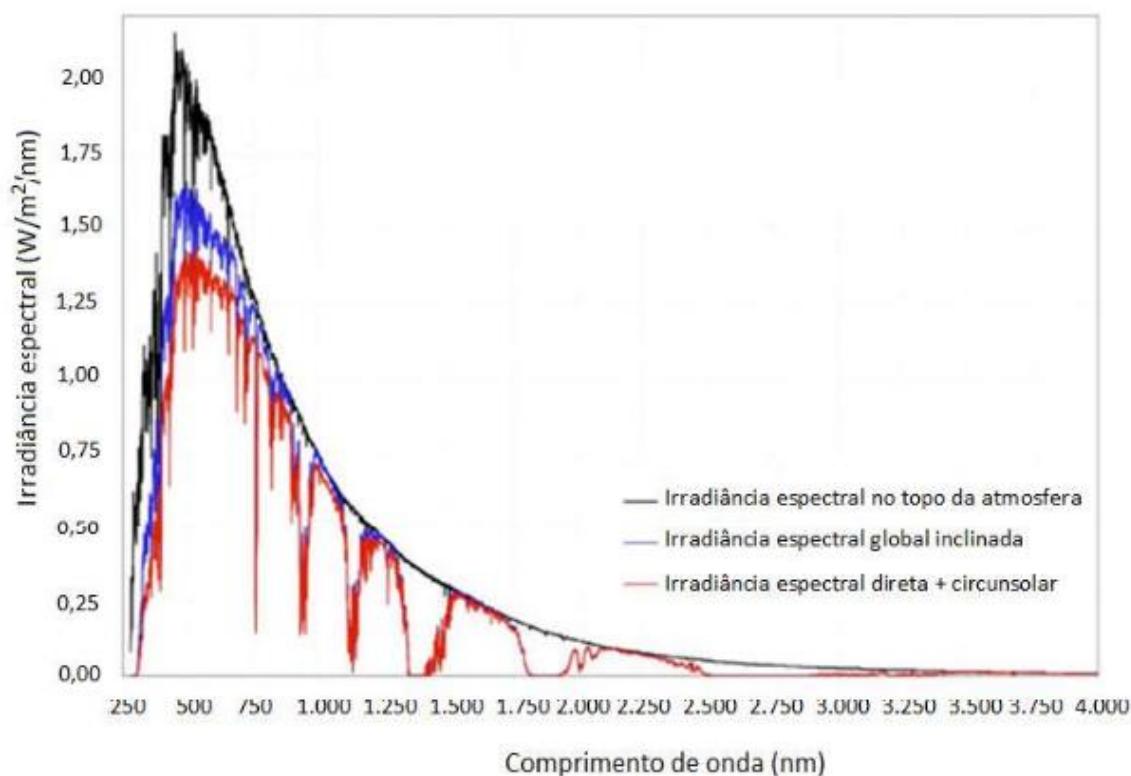


Figura 10 Distribuição espectral da irradiância no topo da atmosfera; da irradiância ao incidir perpendicularmente sobre uma superfície inclinada ( $37^\circ$ ) ao nível do mar e voltada para a linha do Equador; da irradiância após atravessar uma massa de ar de 1,5.

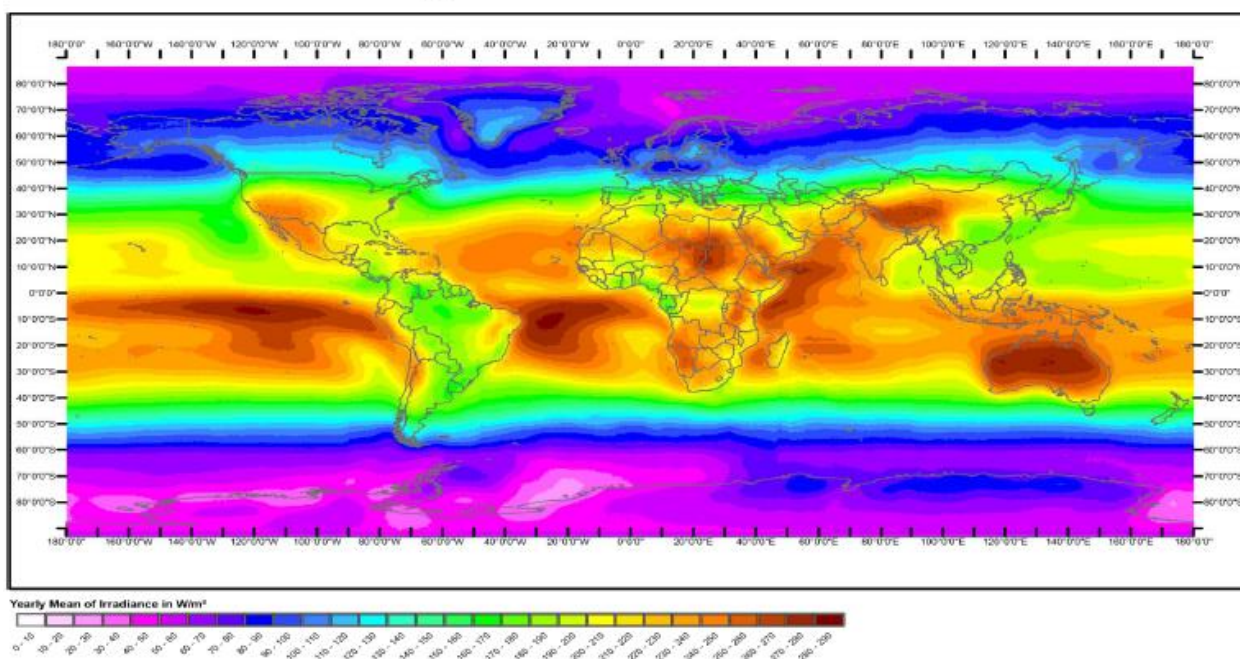
Fonte: PINHO e GALDINO, 2014

### 2.3 MAPAS SOLARES

São ferramentas gráficas onde se armazena as médias anuais das radiações solares nos locais especificados e em sua maioria são confeccionados por dados coletados por satélites. Na figura 11 é mostrado um exemplo de mapa solar mundial.



### Averaged Solar Radiation 1990-2004

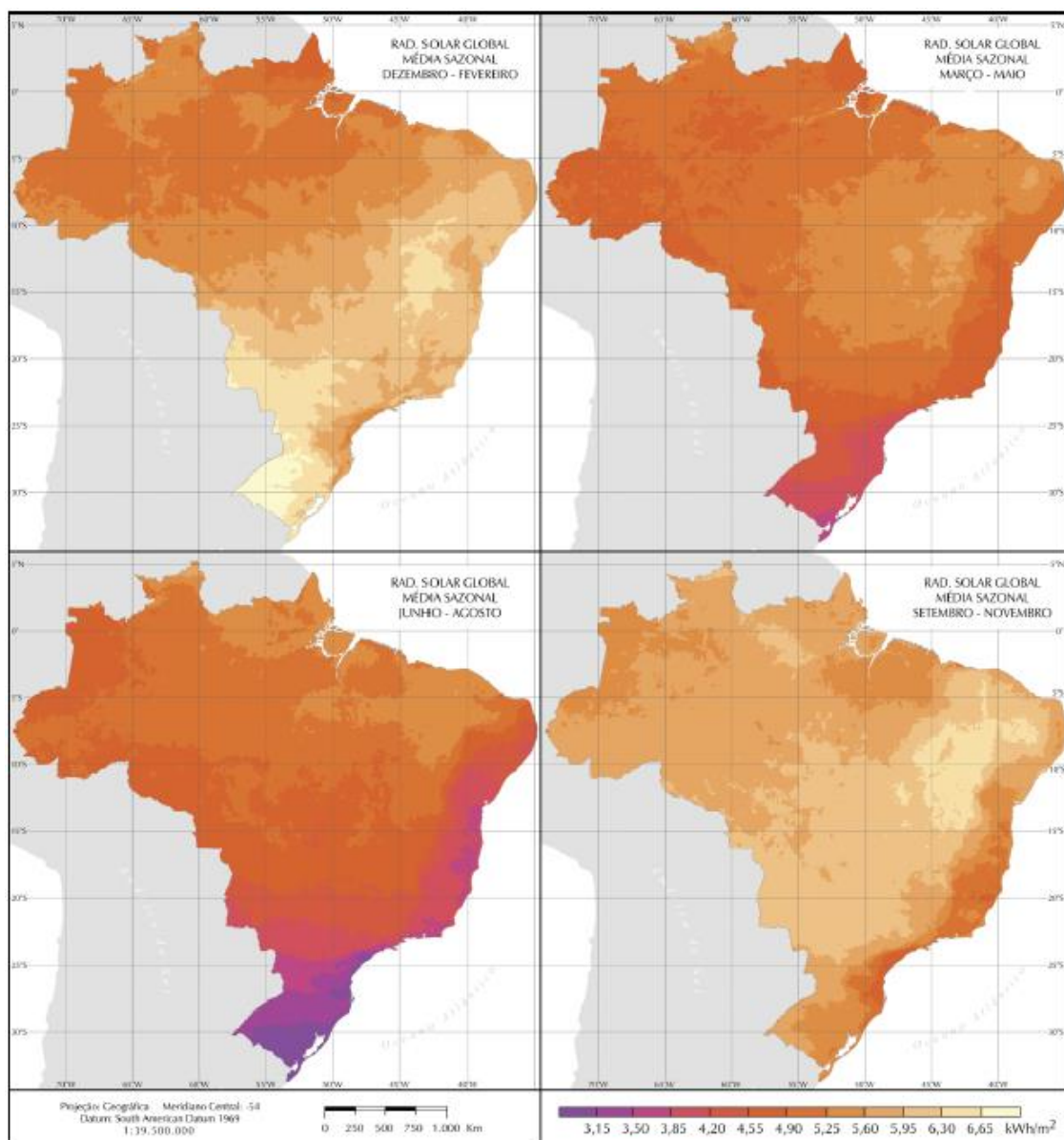


**Figura 11 Mapa mundial de irradiação solar em média anual**  
**Fonte: ([http://www.sodais.com/eng/map/maps\\_for\\_free.html](http://www.sodais.com/eng/map/maps_for_free.html))**

Este tipo de mapa é muito útil, pois com ele é possível para o projetista de sistemas fotovoltaicas determinar a energia solar aproximada disponível no local onde o sistema será instalado e, conseqüentemente, torna-se mais fácil de determinar se um projeto terá irradiação suficiente para gerar a energia elétrica esperada, e também se será viável economicamente a instalação do referido sistema.

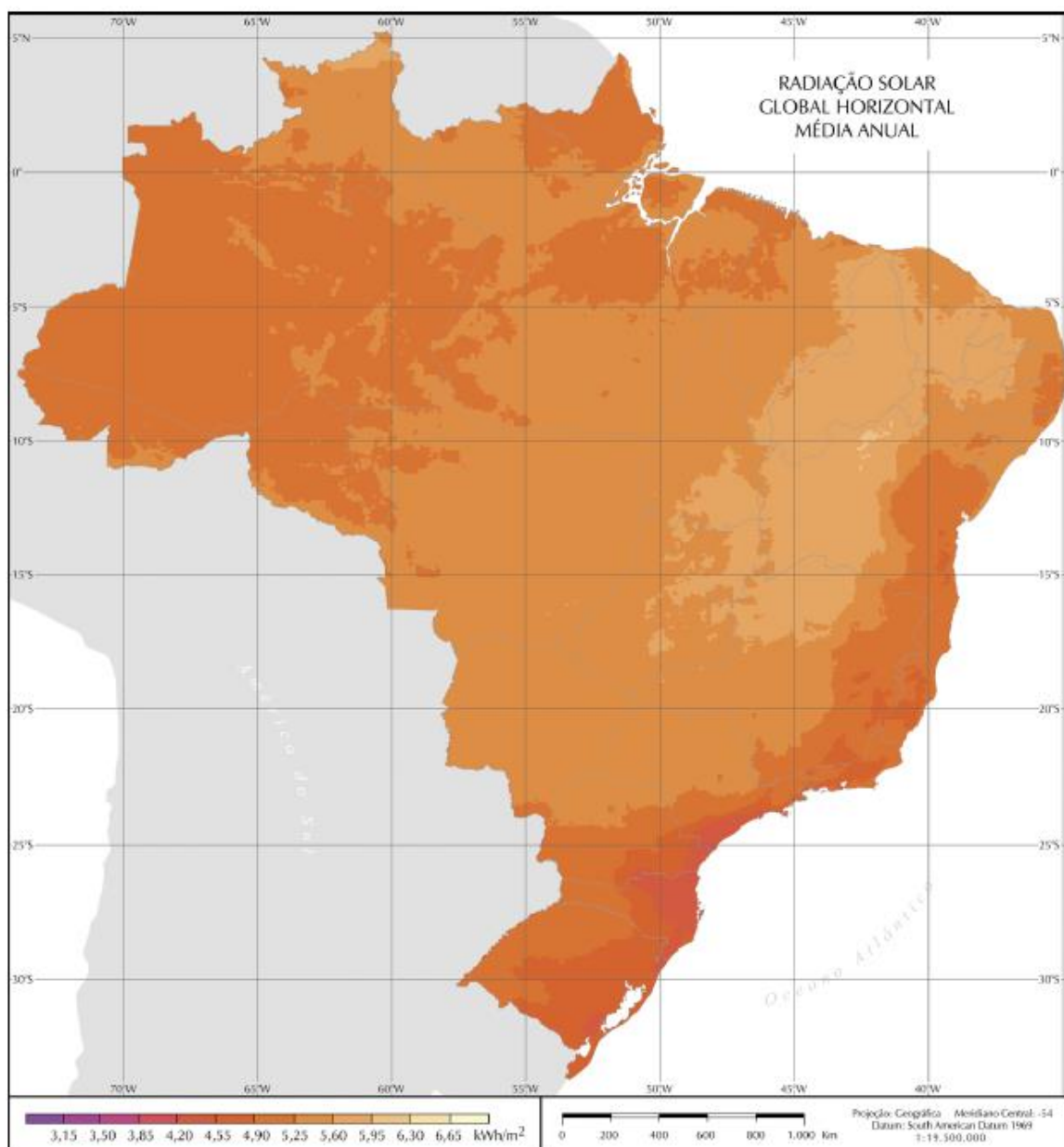
O mapa mostrado na figura 11 apresenta um valor médio da irradiância solar mundial entre os anos de 1990 a 2004. Neste mapa existe uma escala de cores mostrando que quanto mais quente a cor do ponto no mapa, maior será sua irradiância média, porém este mapa não trás informações suficientes para um estudo mais apurado da estimativa de energia solar mundial, pois este mostra apenas a irradiância e não é mostrado a quantidade de dados que este utilizou em sua construção, e também não trás informações de quais são os períodos do dia levados em conta para sua conclusão.

Na figura 12 se observa o mapa da irradiação média sazonal no Brasil, no plano horizontal.



**Figura 12** Mapa solar Brasileiro sazonal.  
**Fonte:** PEREIRA, et al, 2006.

A figura 13 mostra o mapa da média diária anual da radiação global horizontal no Brasil, (PEREIRA, et al, 2006).



**Figura 13** Mapa solar de radiação global horizontal, média diária anual.  
Fonte: PEREIRA, et al, 2006

## 2.4 MEDIDORES DE RADIAÇÃO SOLAR

A medição da radiação solar, tanto da global como das componentes direta e difusa, na superfície terrestre é de grande importância para o estudo das influências das condições climáticas e atmosféricas, como também para o desenvolvimento de projetos que visam à captação e a conversão da energia solar. Com um histórico dessas medidas, pode-se viabilizar a instalação de sistemas

fotovoltaicos em uma determinada região, buscando o máximo aproveitamento do recurso ao longo do ano, onde as variações da intensidade da radiação solar sofrem significativas alterações.

Ou seja, o que no fim irá determinar a instalação ou não de um sistema fotovoltaico em uma determinada região será o quanto de energia solar a região recebe durante o ano e conseqüentemente esta quantidade de energia que o sistema poderá converter em eletricidade.

As questões principais que devem ser respondidas antes de se iniciar um projeto de usina fotovoltaica são:

- Identificação e seleção da localização mais adequada para instalação do sistema fotovoltaico;
- Dimensionamento do gerador fotovoltaico;
- Cálculo da produção de energia anual, mensal ou diária;
- Estabelecimento de estratégias operacionais e dimensionamento do sistema de armazenamento (para sistemas isolados).

O objetivo da medição dos dados solares é a obtenção experimental do valor instantâneo do fluxo energético solar (irradiância) ou integrado (irradiação ao longo de tempo: hora, dia ou ano). É de interesse das pessoas envolvidas em projetos solares, o conhecimento dos valores da irradiância ou irradiação global e de suas componentes direta e difusa incidentes em uma superfície.

Existem dois tipos principais de piranômetro: piranômetro termoelétrico e o piranômetro fotovoltaico. No presente trabalho dar-se-á enfoque no piranômetro termoelétrico, pois será o modelo a ser instalado na UTFPR.

O piranômetro mede a irradiância global (direta + difusa). É um instrumento cujo sensor de irradiância é uma pilha termoelétrica, constituída por termopares em série. A função dos termopares é gerar uma tensão elétrica proporcional à diferença de temperatura entre duas superfícies, normalmente pintada de preto e branco e igualmente iluminadas. Assim, a diferença de potencial medida na saída do instrumento pode ser relacionada com o nível de irradiação incidente (GUIMARÃES, 2003).



**Figura 14 Piranômetro Termoelétrico CMP 3**  
**Fonte: Kipp&Zonen - Datasheet CMP 3**

O piranômetro do tipo fotovoltaico, mostrado na Figura 15, é composto por uma célula fotovoltaica de pequenas dimensões e apresenta como vantagem o custo mais baixo e como desvantagem o fornecimento de medidas com menor precisão. A principal origem da imprecisão deste tipo de piranômetro é a sua resposta espectral (Figura 16), a qual está limitada entre 400 a 1.100 nm para aqueles que adotam células de C-Si, introduzindo incertezas que podem chegar a 5% em relação ao piranômetro termoelétrico (que responde até 2.500 nm). Porém, sua vantagem inerente é o tempo de resposta praticamente instantâneo e linear com a irradiância (PINHO e GALDINO,2014).



Figura 15 Termopilha do Piranômetro Fotovoltaico  
Fonte: PINHO e GALDINO, 2014

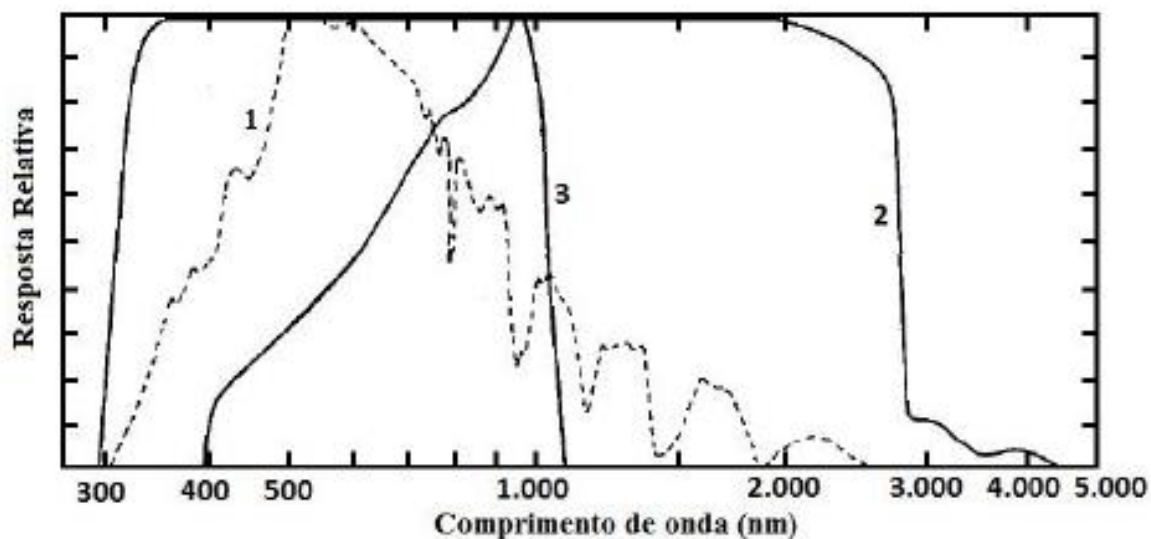


Figura 16 Resposta espectral dos piranômetros. 1 Distribuição espectral da irradiância solar na superfície da Terra; 2 Resposta do piranômetro termoelétrico. 3 Resposta do piranômetro fotovoltaico (silício).  
Fonte: PINHO e GALDINO, 2014

## 2.5 PIRANÔMETRO TERMOELÉTRICO KIPP&ZONEN

Na figura 17 observa-se o piranômetro da empresa KIPP&ZONEN. Neste capítulo será estudado como instalar este equipamento e como conectá-lo ao equipamento Datalogger, equipamento responsável por armazenar os dados colhidos e gerar as informações necessárias ao estudo de capacidade solar de uma determinada região.



**Figura 17 Piranômetro Termoelétrico Kipp&Zonen 03**  
Fonte: KIPP&ZONEN

Os dados do piranômetro são transferidos para um equipamento conhecido como Datalogger, Figura 18, o qual foi instalado na sala B-207 da UTFPR.



**Figura 18 Datalogger CR1000**  
Fonte: CAMPBELL SCIENTIFIC

O fluxo energético solar (irradiância) pode ser medido através do piranômetro termoelétrico ou piranômetro fotovoltaico. Para conclusão deste trabalho foi instalado na UTFPR o piranômetro termoelétrico modelo CMP 03, 12V do fabricante KIPP&ZONEN o qual mede irradiância solar global (direta + difusa) quando instalado no plano horizontal, ou seja, campo hemisférico. Tal equipamento é classificado, segundo a norma ISO 9060. O motivo da escolha deste equipamento dá-se pelo fato da instituição já possuir este equipamento faltando apenas sua instalação.

O fluxo de radiação solar global incidente na superfície terrestre em um dado ponto geográfico pode ser obtido também, segundo o Atlas Brasileiro de Energia Solar de 2006, através de modelos matemáticos os quais consideram dados de satélites geoestacionários para extrair imagens e dados climatológicos levando em consideração a modelagem das nuvens, a condição de céu claro e de céu

encoberto. Este modelo é conhecido como modelo BRASIL-SR, (MARTINS e PEREIRA, 2005).

Os dados obtidos do modelo BRASIL-SR são comparados a informações provenientes de estações solarimétricas localizadas na superfície do território brasileiro e estão disponíveis no site do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE). Tais parâmetros foram também comparados à Rede SONDA que são estações equipados com sensores. A tabela 2 apresenta o número destas plataformas de coleta de dados instaladas em território brasileiro, e seu período de envio dos dados utilizados no modelo BRASIL-SR.

<b>Região Brasileira</b>	<b>Número de Estações</b>	<b>Período de Dados</b>
<b>Norte</b>	11	2002 a 2005
<b>Nordeste</b>	13	2003 a 2005
<b>Centro-Oeste</b>	25	2002 a 2005
<b>Sudeste</b>	38	2002 a 2005
<b>Sul</b>	11	2004 a 2005

**Tabela 2 Número de PCD (plataformas de coleta de dados) utilizadas para validação do modelo BRASIL-SR**

**Fonte: PEREIRA, et al, 2006**

A importância das informações coletadas torna-se relevante neste momento do setor de energia brasileiro devido à crise que o país enfrenta em relação à seca em alguns estados sendo necessário o acionamento de termoelétricas em tempo integral e a antecipação de leilões exclusivos de energia solar e eólica, segundo a ANEEL, que seriam efetuados em 2017 e foram concretizados em Outubro de 2014 sendo que 31 projetos de centrais fotovoltaicas foram aprovados.



### 3 INSTALAÇÃO DO PIRANÔMETRO TERMOELÉTRICO

O capítulo anterior prestou-se a mostrar o que é a irradiância e a energia que o Sol é capaz de irradiar à Terra. Porém este trabalho tem como objetivo instalar um piranômetro na UTFPR para comparar os dados que serão obtidos com os disponíveis em mapas solares e os disponíveis no INPE, mas para isto é necessário a instalação do piranômetro KIPP&ZONEN. Para tanto este capítulo prestar-se-á desenvolver o projeto da estrutura metálica da base que irá sustentar o piranômetro, a conexão do mesmo ao Datalogger e o desenvolvimento do programa para leitura dos dados.

#### 3.1 LOCAL DE INSTALAÇÃO DO PIRANÔMETRO

O laboratório de pesquisas do departamento de eletrotécnica (DAELT) da UTFPR esta localizado na sala B-207, sendo este o motivo da escolha do terraço do bloco B como ponto para a instalação do piranômetro. Outra vantagem é o bloco B estar em um ponto central da UTFPR, ser elevado e não sofrer sombreamentos de construções em suas adjacências. Fato importante, pois como já mencionado para o piranômetro funcionar corretamente este não deve ficar abaixo de sombras durante suas medições.



**Figura 19** Terraço do bloco B da UTFPR  
Fonte: Acervo da autora

### 3.2 VISITA AO TECPAR

Um ponto importante para a o trabalho foi à visita ao TECPAR, pois no local há uma estação solarimétrica instalada junto à usina solar da localidade. Uma funcionária auxiliou na visita explicando sobre os equipamentos que são empregados na estação a qual está conectada a rede SONDA para gerar dados de irradiância global (direta e difusa). A instalação feita no TECPAR servirá de modelo para a instalação na UTFPR.

A estação do TECPAR conta com um piranômetro do mesmo fabricante do modelo que foi utilizado na UTFPR. Este é conectado por um cabo ao Datalogger que também está junto a esta estação. Porém, no TECPAR a comunicação com o computador é feita através de um cabo de fibra ótica, pois normalmente o Datalogger se comunicaria com o computador através do protocolo RS-232, porém este não funciona para longas distâncias. Neste caso o Datalogger teve que ser instalado na base do piranômetro. Após a coleta dos dados, estes ainda analógicos são convertidos em dados digitais, convertidos para outro protocolo de comunicação, por um terceiro equipamento, e enviados a central através dos cabos de fibra-ótica, onde os dados são tratados e enviados para a rede SONDA.

Como o TECPAR teve problemas com a comunicação de sua central com o Datalogger, esta precisou da ajuda de profissionais da Campbell para desenvolver um *software* específico que faz a leitura dos dados. Na UTFPR como a distância entre o piranômetro e o Datalogger é menor que 100m e este foi instalado na central de tratamento de dados logo não foi necessária a instalação de outro equipamento além dele e o *software* instalado para monitoramento e coleta de dados foi o padrão disponibilizado para *download* no site do fabricante do Datalogger. Portanto a Campbell não acompanhou a instalação do equipamento na UTFPR.

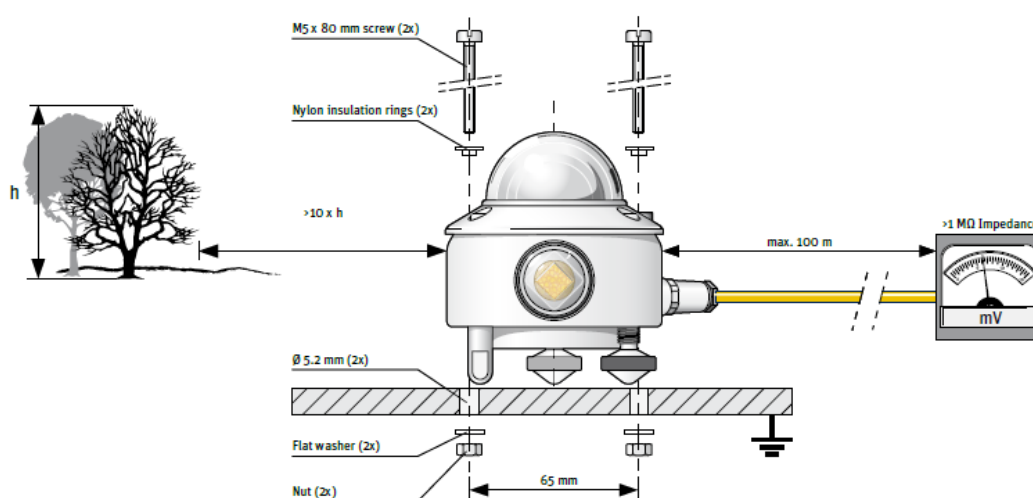
Tanto o piranômetro instalado no TECPAR quanto o instalado na UTFPR estão no plano horizontal. A figura 20 é mostrada um dos três piranômetro instalados no TECPAR



**Figura 20 Piranômetro instalado no TECPAR**  
 Fonte: Acervo da autora

### 3.3 SUPORTE PARA FIXAÇÃO DO PIRANÔMETRO

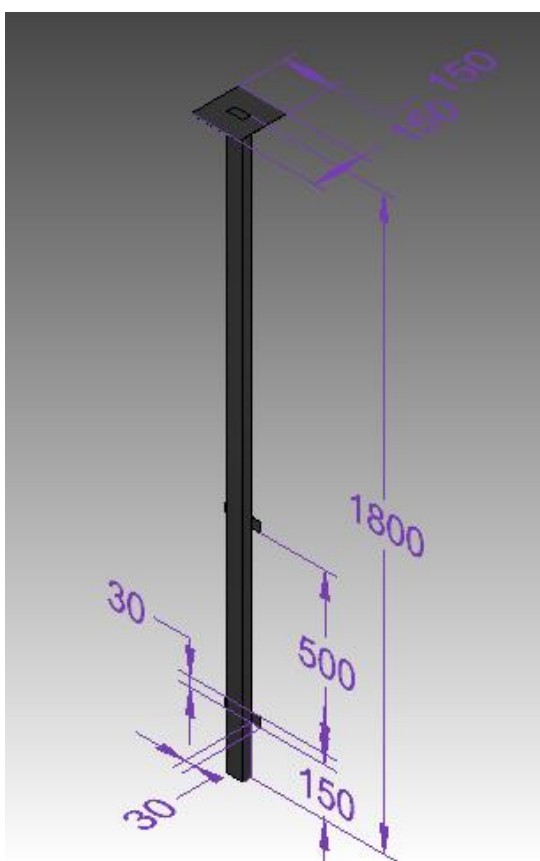
O piranômetro foi instalado para medir a radiação direta e difusa, conseqüentemente deverá ser instalado de modo a obter estas radiações durante todo o dia. Portanto durante todo o dia não deve sofrer influência de sombras. Para isto, segundo o manual de instalação, o equipamento deverá ser instalado a uma distância dez vezes maior que a altura que qualquer anteparo tenha em relação a posição de instalação do piranômetro, conforme pode ser observado na figura 21, devido a esta necessidade de se evitar sombras sobre o equipamento elevou-se o suporte de instalação para 1800mm. Com esta elevação o piranômetro torna-se o ponto mais elevado da UTFPR, com exceção ao bloco E, porém esta maior elevação do bloco E, como dito anteriormente será compensada pela distância que o mesmo está do piranômetro.



**Figura 21 Correta distância de Instalação do Piranômetro.**  
 Fonte: KippZonen\_Manual\_CMP\_CMA\_series\_Pyranometers\_Albedometers.

Como mencionado anteriormente e mostrado na figura 19, o equipamento foi instalado no parapeito do terraço do bloco B. Para isto foi desenvolvido a estrutura mecânica mostrada na figura 22. Como a estrutura ficará exposta a intempéries esta foi confeccionada em aço pré-zincado e por fim pintada com tinta anticorrosiva, para que esta não oxide e quebre-se com eventuais ventos.

A preocupação com o vento torna-se válida, pois como já dito, o equipamento foi instalado num ponto elevado, e como pode ser observado na figura 22 existe aproximadamente 1,1m de distância entre o topo e o último ponto de fixação do suporte ao parapeito, ou seja, a peça sofrerá um esforço de torção em um braço de 1,1m e não existirão anteparos para proteger o suporte do vento.



**Figura 22: Suporte para o Piranômetro CMP 03**  
Fonte: Acervo da autora

### 3.4 INSTALAÇÃO DO PIRANÔMETRO

Os materiais necessários para a instalação do piranômetro foram: um marcador permanente, um martelo, uma broca 3,0mm para aço rápido, uma broca para 6,0mm para aço rápido, um punção para marcar furo, uma broca 3,5mm para concreto, uma broca 6,0mm para concreto, uma furadeira 220V com função

martelete, quatro buchas 6,0mm para concreto, quatro parafusos de rosca soberba M6x40 cabeça abaulada fenda simples, uma chave de boca nº8, uma chave de fenda com fenda simples, uma chave allen número 4, 10 abraçadeiras de nylon pretas T18 modelo T30 da Hellermann Tryton, 5 metros de cabo manga 3 vias 26AWG, estanho para solda 1mm, ferro de solda, tubo termocontrátil 6,4mm e 2,2mm para a emenda do cabo.

### 3.4.1 FIXAÇÃO DO SUPORTE MECÂNICO

Como o piranômetro irá medir a radiação solar que incide na UTFPR ao longo do mês é necessário instalar o mesmo num local alto e onde não tenham anteparos que produzam sombra sobre o equipamento. Devido ao fato da universidade disponibilizar apenas o bloco B para montar os equipamentos de coleta de dados, tornou-se obrigatória a instalação do equipamento no terraço deste bloco.

O acesso ao bloco B da universidade é feito através de um alçapão localizado no terraço deste bloco conforme pode ser visto nas figuras 23 e 24. Este alçapão possui tamanho reduzido o que tornou difícil o transporte dos materiais necessários para a instalação e o único modo de acesso a este é através de escadas de madeira como mostrado nas figuras também.



**Figura 23 Alçapão de acesso ao terraço do bloco B**  
Fonte: Acervo da autora



**Figura 24 Escada para acesso ao terraço do bloco B**  
**Fonte: Acervo da Autora**

Após chegar ao terraço com todos os materiais necessários o primeiro passo foi marcar a parede onde o suporte mostrado na figura 22 seria instalado, a marcação é mostrada na figura 25. Para marcação foi utilizado uma broca 3,5 mm de diâmetro.



**Figura 25** Marcação da parede para confecção dos furos de fixação do suporte  
**Fonte:** Acervo da Autora

Optou-se por fazer primeiramente os furos superiores no suporte, como mostrado na figura 31, e posteriormente os furos inferiores, pois deste modo evita-se prender o suporte de modo inclinado, o que afetaria as medições do sistema.

Feitos os dois primeiros furos na parede, utilizou-se o piranômetro para marcar o suporte e fazer os furos que prendem o piranômetro no suporte, para isto retirou-se o piranômetro de sua caixa. Este possui uma tampa que impede o acesso aos furos de fixação conseqüentemente esta deve ser retirada, conforme mostrado nas figuras 26, 27 e 28.



**Figura 26** Abertura da caixa do Piranômetro  
Fonte: Acervo da Autora



**Figura 27** Tampa de proteção do sistema de fixação  
Fonte: Acervo da Autora





**Figura 28 Piranômetro sem a tampa de proteção**  
**Fonte: Acervo da Autora**

Pode-se observar na figura 28 os dois furos que servem para a fixação do piranômetro. Nesta foto também se pode notar um marcador de nível que mais tarde foi utilizado para nivelar o equipamento. Nas figuras 29 e 30 observa-se o processo de marcação do suporte e a confecção do furo.



**Figura 29 Marcação do suporte para a furação**  
**Fonte: Acervo da Autora**



**Figura 30** Confeção do furo no suporte  
**Fonte:** Acervo da Autora

Os parafusos que prendem o piranômetro são do tipo M5x35mm zincados brancos cabeça cilíndrica fenda sextavada interna presos por arruela e porca, conseqüentemente fez-se dois furos de 3mm de diâmetro, e aumentou-se estes furos com uma broca 6,0mm de diâmetro.

Com o suporte furado partiu-se para a furação da parede como mostrado nas figuras 31 e 32. Escolheu-se usar para a fixação parafusos M6 zincados brancos rosca soberba cabeça panela fenda simples, e buchas de nylon. Para isto fez-se necessário furos de 8mm de diâmetro, porém como a parede possuía um concreto muito rígido se decidiu por primeiramente fazer dois furos de 3mm, posteriormente aumentá-los para 6 mm com outra broca e por fim aumentá-los para 8mm com uma última broca. Este processo torna-se mais demorado por usar três brocas diferentes, porém exige menor esforço físico para perfurar a parede. As figuras 31 e 32 mostram a confecção dos dois primeiros furos e o processo realizado para alargar estes furos.



**Figura 31** Confeção dos dois primeiros furos na parede (a)  
Fonte: Acervo da Autora



**Figura 32** Confeção dos dois primeiros furos na parede (b)  
Fonte: Acervo da Autora

O próximo passo consistiu em fixar o piranômetro no suporte e nivelar o mesmo, como mostrado nas figuras 33 e 34. Para nivelar o equipamento é usado o nível que vem montado no equipamento mostrado na figura 28.



**Figura 33 Fixação do suporte furos superiores**  
Fonte: Acervo da Autora

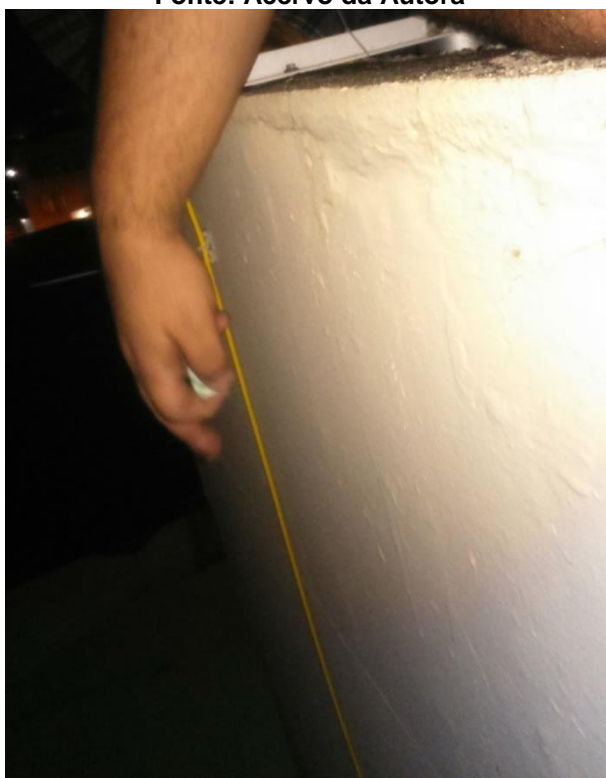


**Figura 34 Fixação do piranômetro e nivelamento do mesmo**  
Fonte: Acervo da Autora

Para finalizar a instalação fizeram-se os últimos dois furos na parede para fixar os parafusos inferiores do suporte, e conectou-se o cabo de comunicação com o Datalogger. As figuras 35 e 36 mostram o cabo conectado ao equipamento e a sua descida a sala B-207, local onde será instalado o Datalogger.



**Figura 35** Cabo conectado ao Piranômetro  
**Fonte:** Acervo da Autora



**Figura 36** Descida de cabos para sala B-207  
**Fonte:** Acervo da Autora

### 3.4.2 INSTALAÇÃO DO DATALOGGER

O piranômetro que foi instalado é apenas um sensor que varia um sinal de tensão conforme a radiação solar que sobre ele incide. Segundo o manual do fabricante, o piranômetro CMP 3 é capaz de medir uma irradiância de até  $1500 \text{ W/m}^2$  variando a tensão de sua pilha de 0 até 30 mV, caso onde a irradiância é máxima. Segundo o fabricante cada equipamento possui uma sensibilidade específica. Esta varia ente 5 e  $20 \mu\text{V}$ , no caso do equipamento instalado na UTFPR esta vale  $15,59 \mu\text{V}$  como pode ser visto na figura 37.

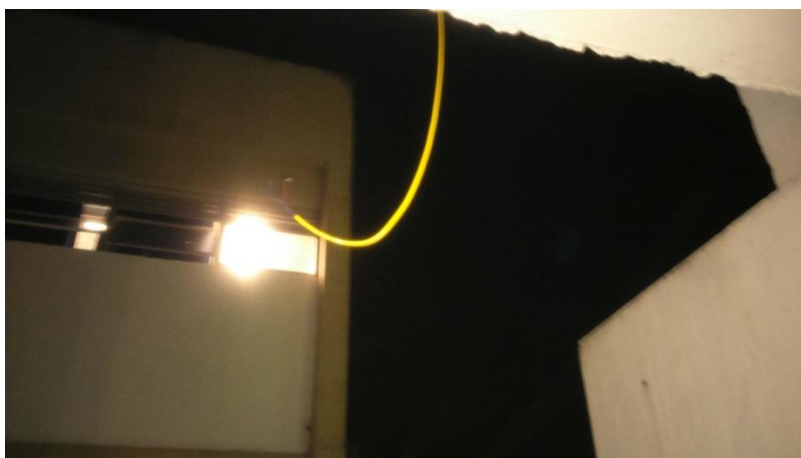


**Figura 37 Piranômetro CMP 3, detalhe da sensibilidade do equipamento**  
Fonte: Acervo da Autora

Para converter este sinal de tensão em uma unidade de irradiância e consequentemente converter um sinal analógico em digital é necessário instalar um equipamento de aquisição de dados, no caso da UTFPR, o modelo escolhido foi o Datalogger CR-1000 da Campbell Scientific. Este equipamento possui uma precisão de aproximadamente  $2\mu\text{V}$  nas medições segundo o manual do fabricante. O Datalogger possui memória interna para 120 dias de aquisição de dados e comunicação via protocolo RS-232 .

Juntamente com o piranômetro foi enviado seu cabo de conexão ao sistema de aquisição de dados. Segundo seu manual este cabo pode possuir até 100m, porém o cabo enviado não possuía os 100m permitidos pelo fabricante e para a

instalação do equipamento foi necessário emendar o cabo conforme se pode ver na figura 38.

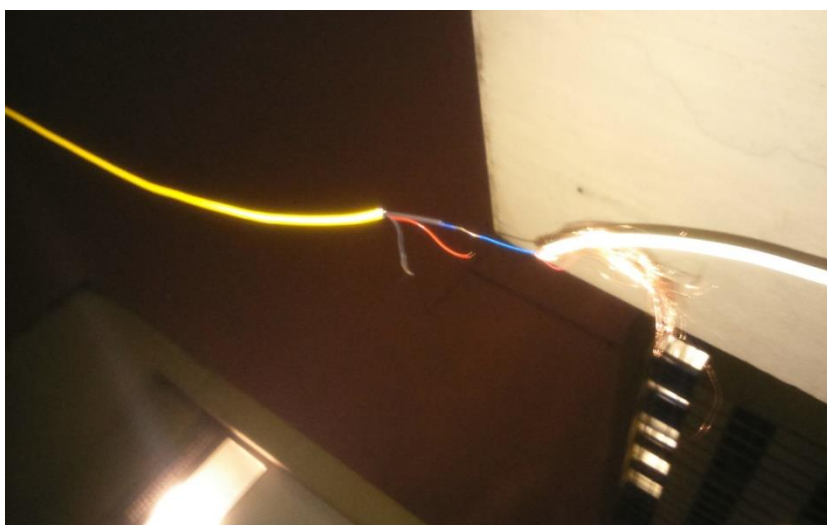


**Figura 38 Cabo do piranômetro a ser emendado**

**Fonte: Acervo da Autora**

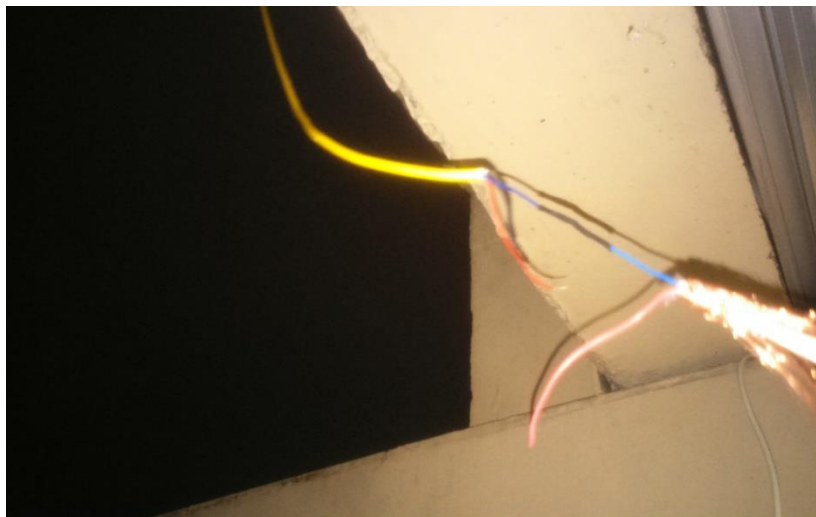
O cabo escolhido para realizar a emenda foi um cabo manga duas vias 26AWG com blindagem eletromagnética semelhante ao já enviado pelo fabricante para conexão do equipamento. A diferença reside em que o original possui uma capa protetora que o permite ser instalado em ambiente externo. Os cabos possuem duas vias, uma vermelha para o sinal positivo da tensão, uma azul para o negativo, e uma malha para filtrar interferências eletromagnéticas. Estas três componentes devem ser emendadas para o correto funcionamento do conjunto.

As vias dos cabos foram emendadas, soldadas e isoladas com tubo termocontrátil para reduzir a resistência elétrica da emenda ao mínimo possível, como pode ser visto nas figuras 39 e 40.



**Figura 39 Emenda das Vias azuis e posterior solda**

**Fonte: Acervo da Autora**



**Figura 40 Emenda das vias azuis isoladas com tubo termocontrátil**  
**Fonte: Acervo da Autora**

Outro ponto importante ao emendar os cabos foi unir as malhas de cobre e isola-las com tubo termocontrátil, como pode ser visto na figura 41.



**Figura 41 Malhas de proteção dos cabos unidas**  
**Fonte: Acervo da Autora**

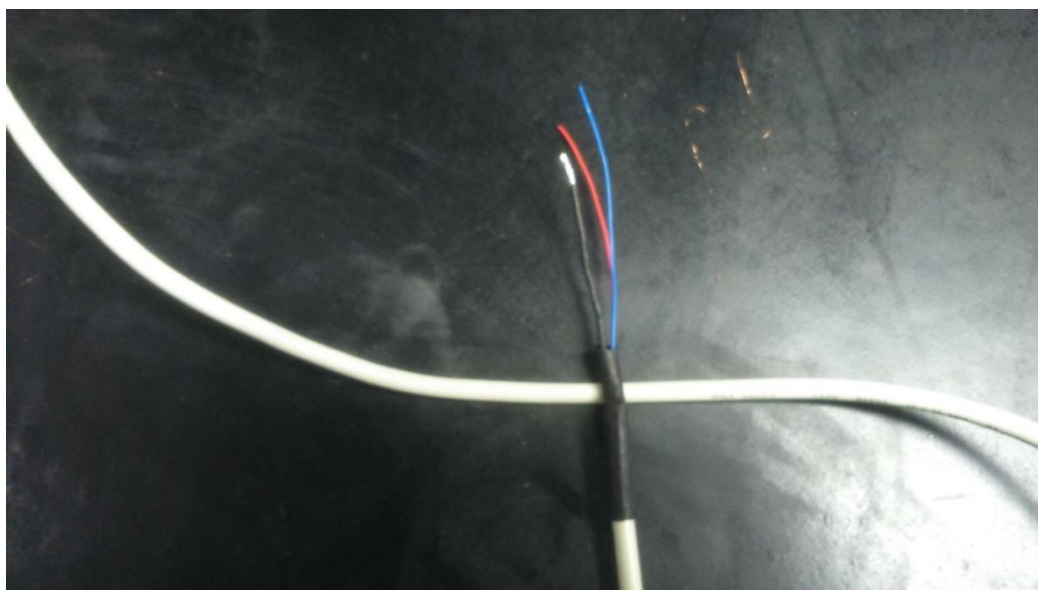
Após unir a malhas dos cabos e protegê-las com um tubo termocontrátil também, o cabo foi passado através do vão da janela da sala conforme pode ser visto na figura 42.





**Figura 42 Cabo passado pelo vão da janela da sala B207**  
**Fonte Acervo da Autora**

Para finalizar o processo de emenda do cabo este teve sua extremidade aparada, as pontas das vias isoladas, a malha de cobre estanhada e o isolante do cabo protegido com tubo termocontrátil. Este acabamento pode ser observado na figura 43.



**Figura 43 Acabamento da extremidade do cabo**  
**Fonte: Acervo da Autora**

O piranômetro possui uma polaridade no sinal de tensão gerado e esta deve ser respeitada na conexão com o Datalogger, pois o mesmo possui em sua programação a diretriz de que quando é lido um sinal de irradiação negativo este deve considerar este valor nulo. Portanto, caso o piranômetro esteja conectado errado ao Datalogger este irá desconsiderar as medições diurnas, pois as mesmas

parecerão negativas e captará apenas os resíduos medidos à noite pelo piranômetro.

Como pode ser observado na figura 44 o Datalogger possui 8 entradas analógicas. Para o presente trabalho optou-se por utilizar a entrada número 1 para coleta de dados, como mostrada na figura 45. Na figura 44 também é mostrado que este deve ser alimentado com uma fonte de alimentação externa, segundo o manual do Datalogger este admite tensão de entrada que varie 9,6 até 16,0V nas figuras 46 e 47 é mostrado o teste da polaridade e nível de tensão que serão conectados ao equipamento.

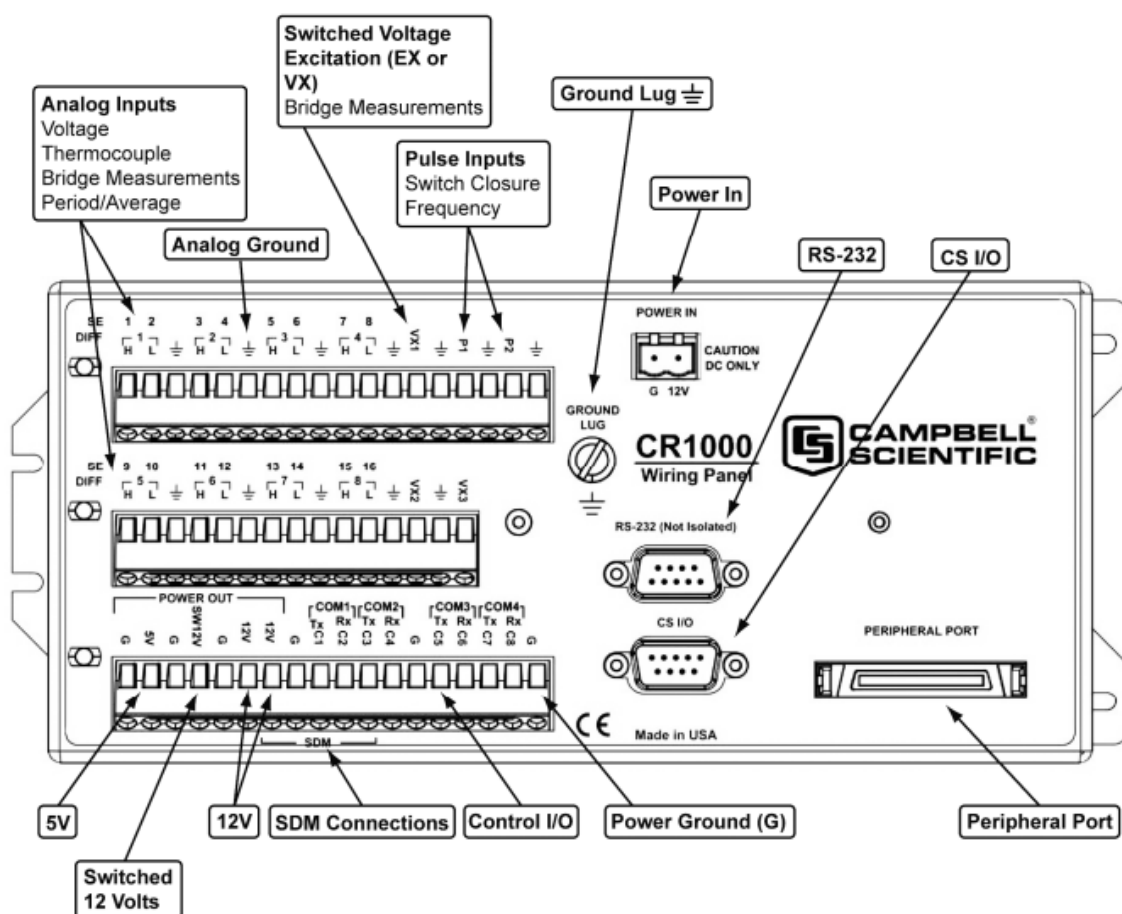


Figura 44 Datalogger CR-1000 entradas possíveis e conexões necessárias no Datalogger  
Fonte: Manual CR-1000 Campbell Scientific

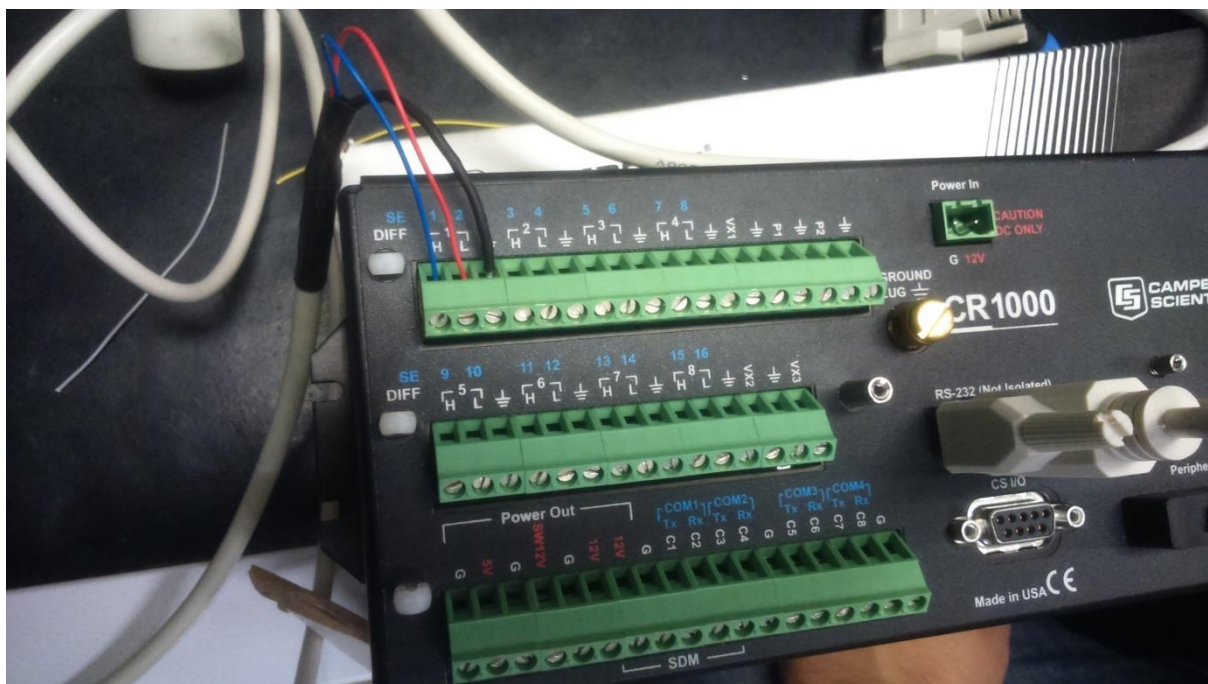


Figura 45 Conexão do piranômetro ao Datalogger  
Fonte: Acervo da Autora



Figura 46 Verificação da tensão e polaridade da fonte de alimentação que será conectada ao Datalogger  
Fonte: Acervo da Autora



Figura 47 Borne de alimentação do Datalogger conectado com a tensão e polaridade corretos  
Fonte: Acervo da Autora

Como mostrado na figura 44 para conectar o computador que irá receber os dados do Datalogger é disponibilizado um borne DB-9 e protocolo de comunicação RS-232. Porém o computador a ser utilizado para este fim não possui este tipo de conector, então foi necessário adquirir um cabo conversor serial-USB como mostrado na figura 48.

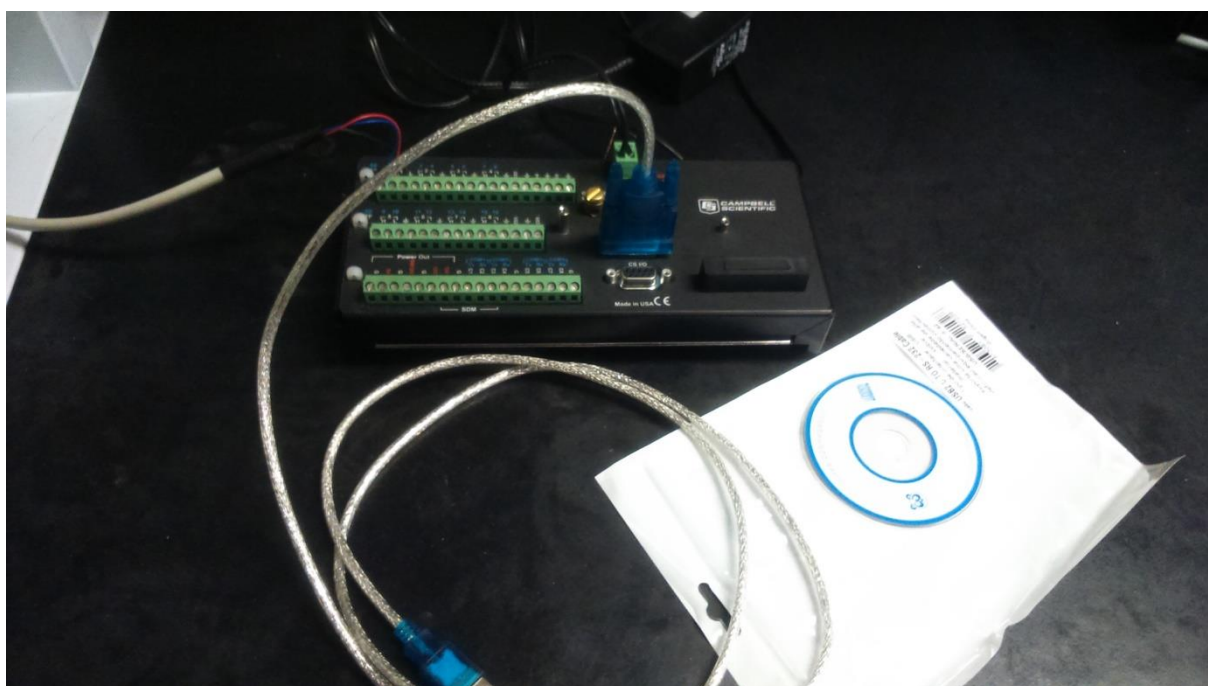


Figura 48 Cabo conversor Serial-USB conectado ao Datalogger  
Fonte: Acervo da Autora

Uma vez instalado o Datalogger o último passo necessário é programar o mesmo e inserir os parâmetros necessários para seu funcionamento.

### 3.4.3 CONFIGURAÇÃO DO DATALOGGER

Para configurar o equipamento são necessários os três software listados a seguir. Todos estão disponíveis para *download* no site do fabricante.

**PC200W\_4.3:** *Software* usado para criar os programas que irão converter os dados analógicos dos sensores em digitais, no caso deste trabalho o medidor será um piranômetro da CMP 3 da Kipp&Zonen. O PC200W também será necessário para extrair os dados do Datalogger;

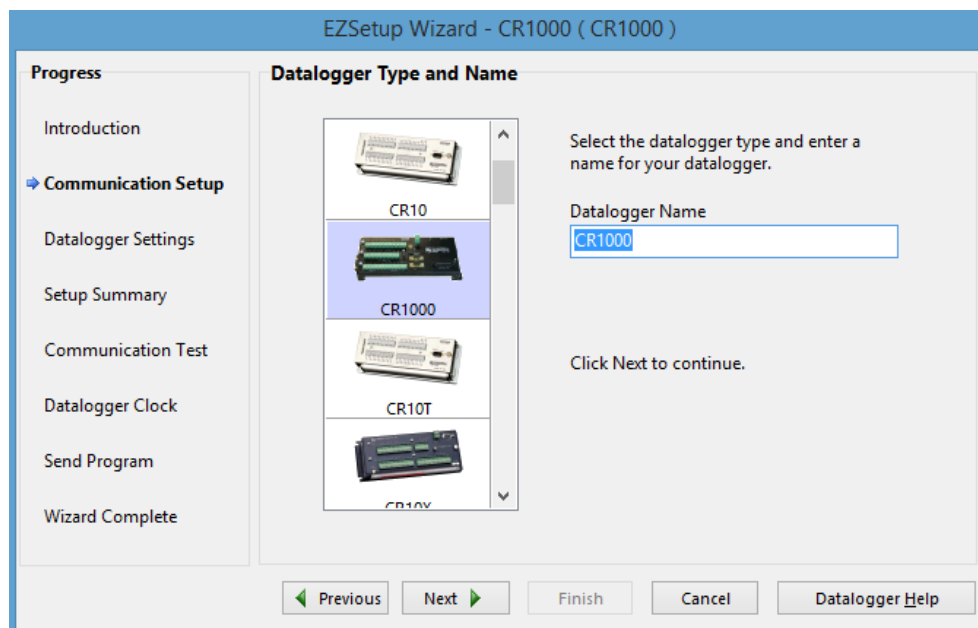
**CR1000\_os\_28:** Configura os parâmetros e atualiza os dados do software PC200W.

**DevConfig\_2.10:** Configura os drives necessários para conexão do Datalogger ao computador que irá extrair seus dados, também é necessário quando se deseja conectar o equipamento a uma rede de dados via ethernet ou TCP-IP.

Após a instalação dos três softwares descritos é necessário ligar o Datalogger ao computador e iniciar o programa PC200W, por ser a primeira vez em que o *software* é iniciado irá abrir a janela mostrada na figura 49. Nesta deve-se selecionar a opção “next”. Na sequência irá abrir a janela mostrada na figura 50 onde se deve selecionar o modelo do equipamento que será utilizado.



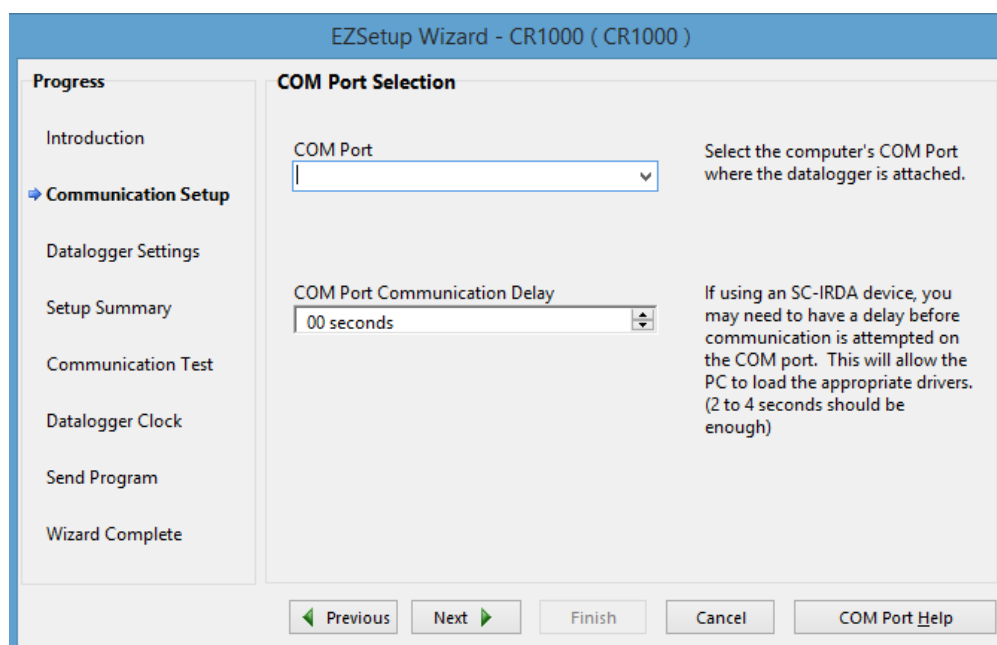
**Figura 49** Janela inicial de configuração do software PC200W  
Fonte: Acervo da Autora



**Figura 50 Janela de seleção do Datalogger utilizado**

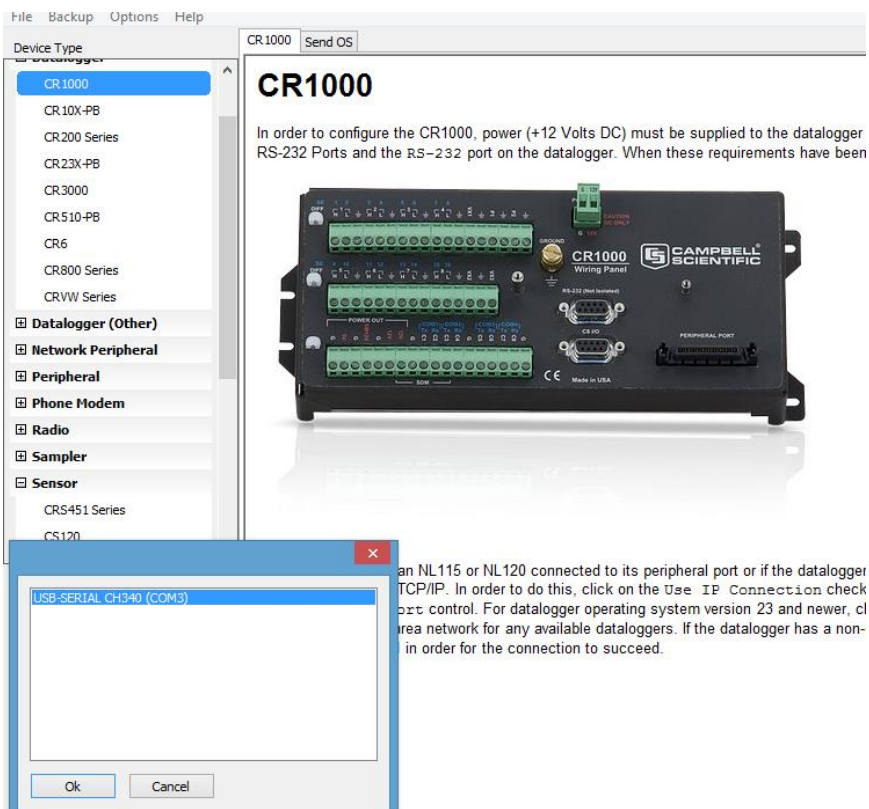
Fonte: Acervo da Autora

Depois de selecionado o modelo do Datalogger é necessário selecionar a porta em qual o Datalogger está ligado ao computador como mostrado na figura 51. Para descobrir a porta onde o Datalogger esta conectado é necessário iniciar o programa Device Configuration Utility e selecionar a opção “Communication Port”. Irá abrir a janela mostrada na figura 52.



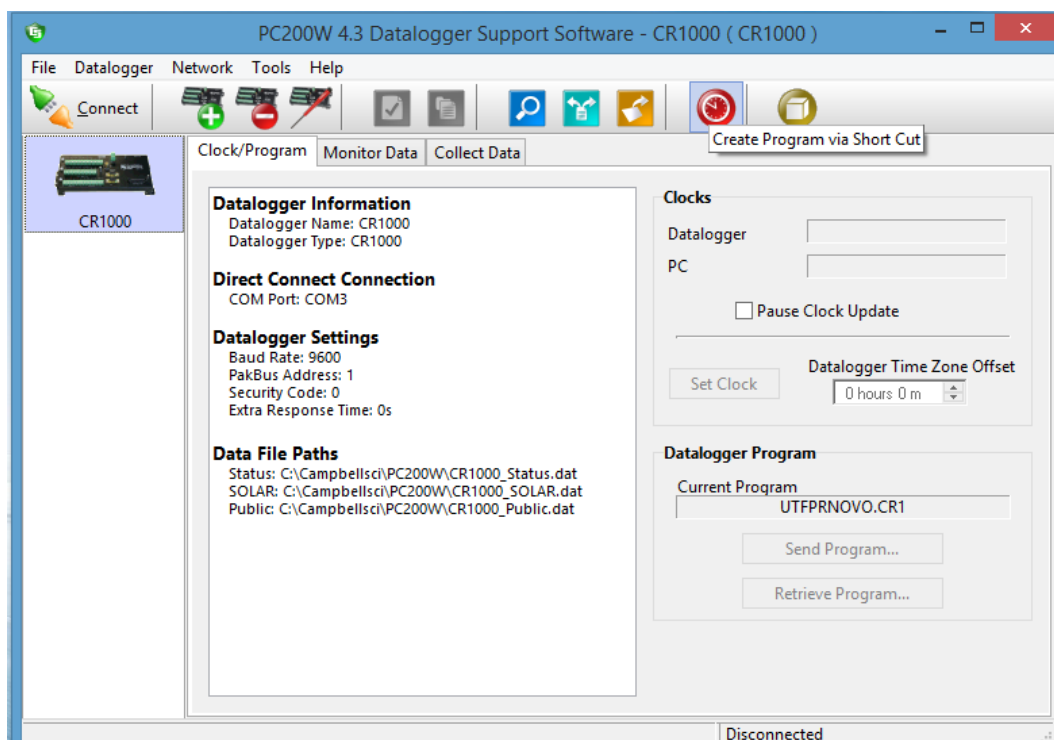
**Figura 51 Janela de seleção da Porta de comunicação usada pelo computador**

Fonte acervo da Autora



**Figura 52 Device Configuration Utility - porta de comunicação**  
**Fonte: Acervo da Autora**

Feita a seleção da porta de comunicação basta clicar em “next” e irá abrir a janela mostrada na figura 53.



**Figura 53 Janela inicial software PC200W**  
**Fonte: Acervo da Autora**

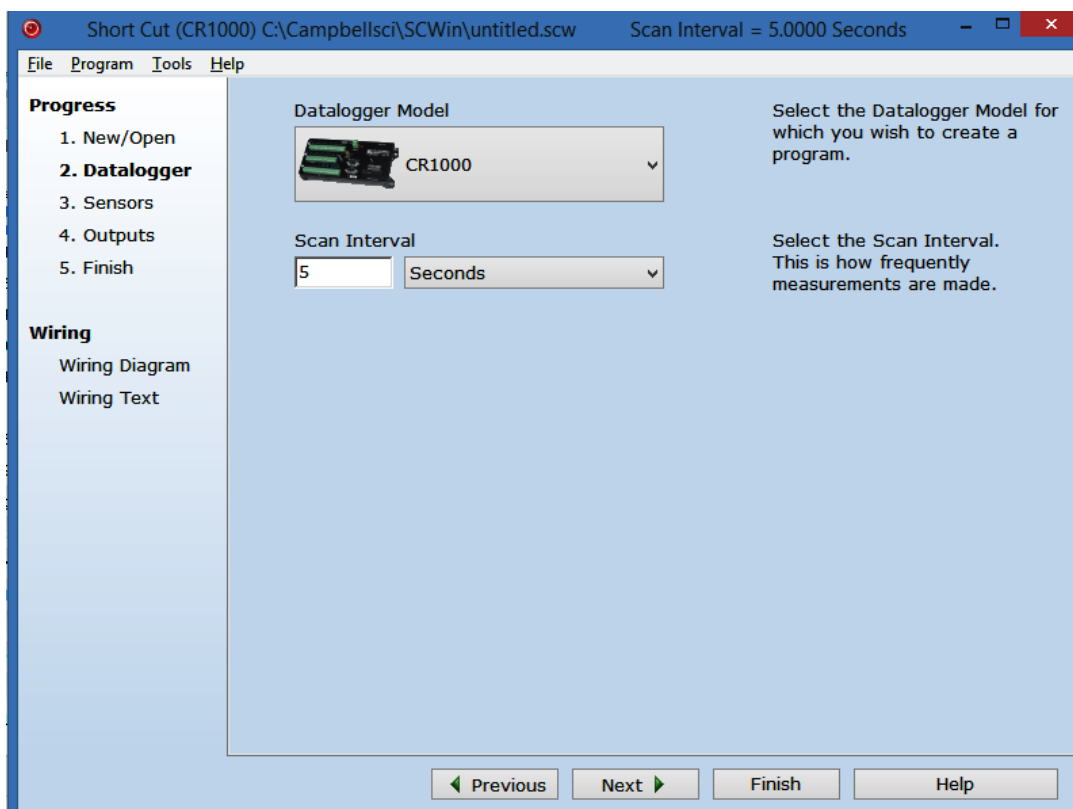
Instalado o *software*, é necessário configurar quais serão as aquisições que o Datalogger irá realizar e a forma como estas serão exibidas ao usuário. Para isto deve-se selecionar a opção “Create Program via Short Cut”, mostrada na figura 53, posteriormente irá abrir a janela mostrada na figura 54.



**Figura 54** Janela do programa PC200W para criação de rotinas – passo inicial  
**Fonte:** Acervo da Autora

Após selecionar a opção novo programa, irá abrir a janela mostrada na figura 55. Nesta nova janela deverá ser selecionado qual será o tipo de Datalogger que será utilizado. Novamente deve ser selecionado o modelo CR-1000, como mostrado na figura 55, a opção “scan interval” deve ser mantida em 5 segundos como já é o padrão de fábrica.





**Figura 55** Janela do programa PC200W para criação de rotinas – seleção do modelo de Datalogger

Fonte: Acervo da Autora

O Datalogger possui internamente na memória alguns modelos de sensores padrões de mercado. Um destes modelos já existente é o piranômetro CMP 3 da Kipp&Zonen, utilizado neste trabalho, então o próximo passo foi selecionar este modelo na lista de modelos possíveis como mostrado na figura 56.

Como o piranômetro já está arquivado na memória do Datalogger todas as informações necessárias sobre a medição e erros possíveis já estão pré-definidas. Por este motivo para o próximo passo basta apenas determinar a sensibilidade do equipamento, esta como já foi mencionada anteriormente vale  $15,59 \mu\text{V}$ . A figura 57 mostra esta configuração.

Como mencionado no rodapé das janelas mostradas nas figuras 56 e 57 durante o período noturno, o piranômetro pode ser sensibilizado e o mesmo irá gerar valores de irradiação negativos, porém o Datalogger é capaz de reconhecer estes valores como erros e anulá-los.

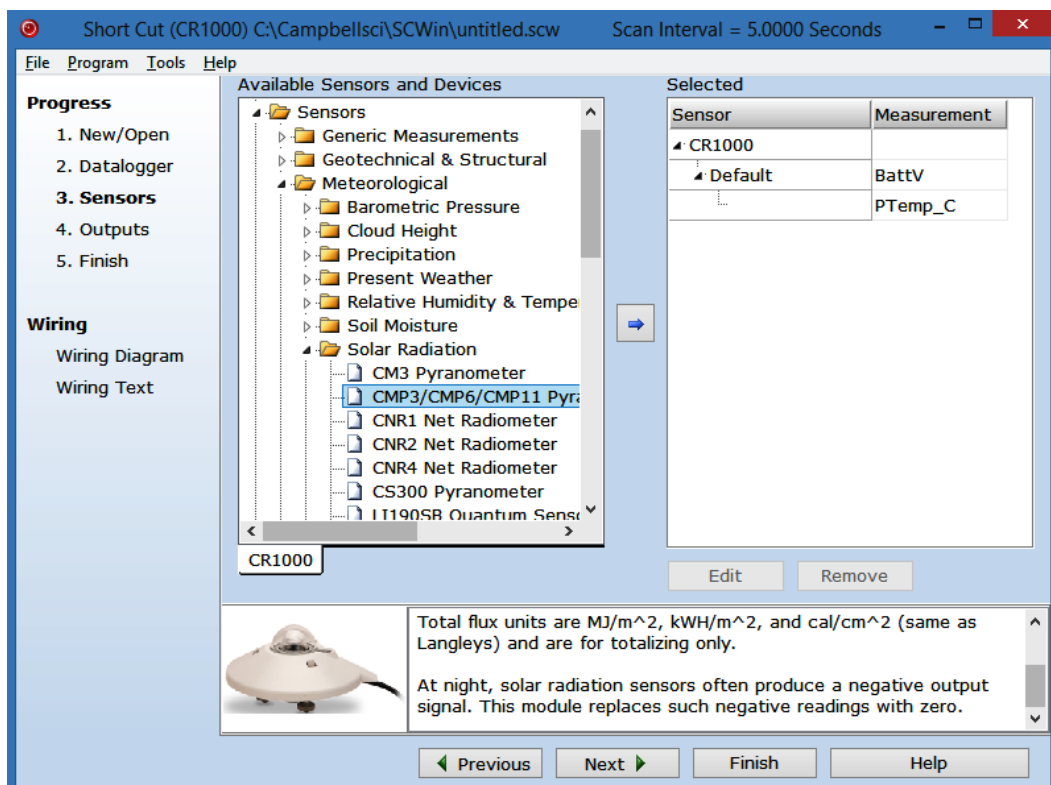


Figura 56 Janela do programa PC200W para criação de rotinas – Seleção do modelo de sensor  
Fonte: Acervo da Autora

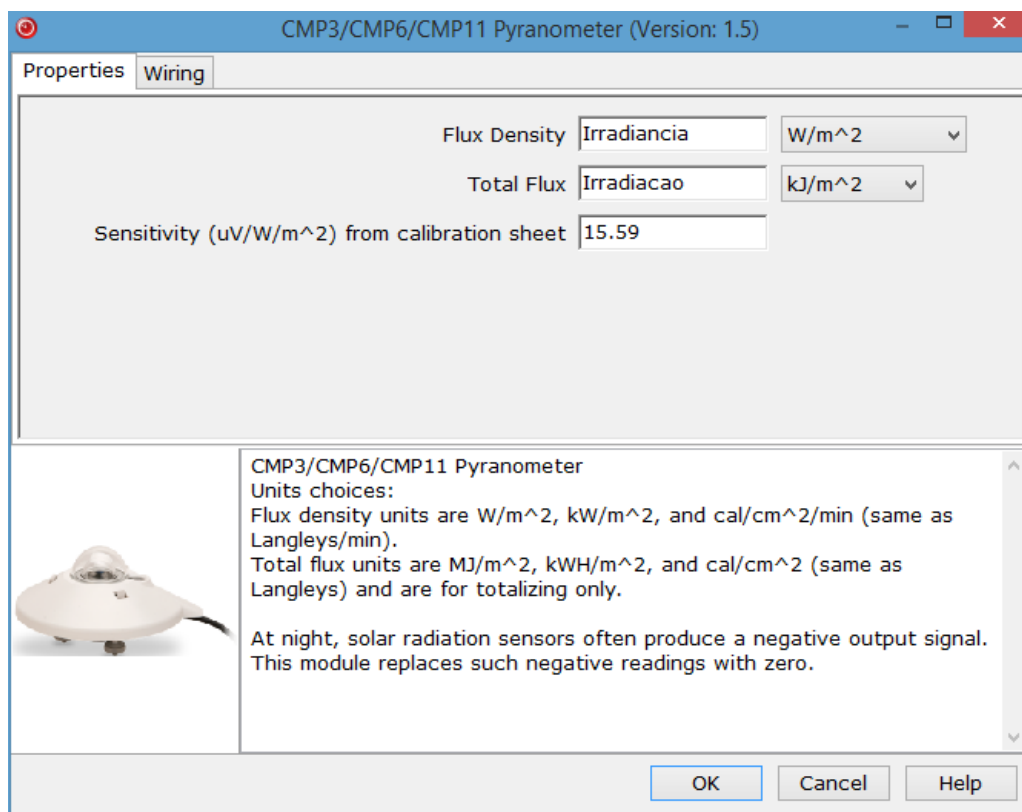
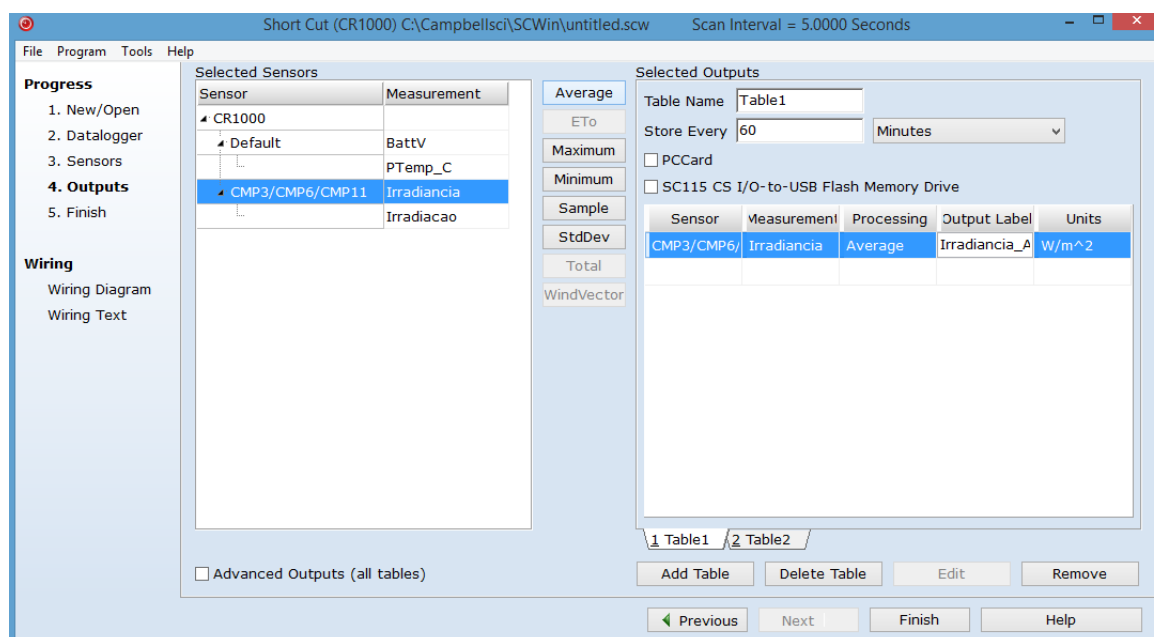


Figura 57 Janela do programa PC200W para criação de rotinas – configuração dos dados do sensor  
Fonte: Acervo da Autora

Como mostrado na figura 57 na janela de configuração dos dados do sensor também é possível renomear as medições que serão apresentadas e selecionar as unidades em que estas devem ser apresentadas.

O próximo passo consiste em configurar a tabela de saída dos dados. Para isto basta selecionar a medição desejada e clicar em “average” como mostrado na janela mostrada na figura 58.



**Figura 58 Janela do programa PC200W para criação de rotinas – Configuração da tabela de saída de dados**

**Fonte: Acervo da Autora**

O tempo de coleta de dados “Store Every”, mostrado na figura 58 deve ser alterado para 1 minuto, como para este trabalho existirá apenas uma medição, a da irradiação a tabela 2 pode ser excluída. Posteriormente deve-se clicar em “Wiring Text” e realizar a verificação a conexão dos cabo do piranômetro ao Datalogger esta igual a mostrada na figura 59.

Após conferir as conexões no Datalogger, para finalizar o processo basta clicar em “Finish”, salvar o programa criado e fechar a janela mostrada na figura 60 pois antes de enviar o programa para o Datalogger deve ser configurada a porta de comunicação como será mostrado na sequência.

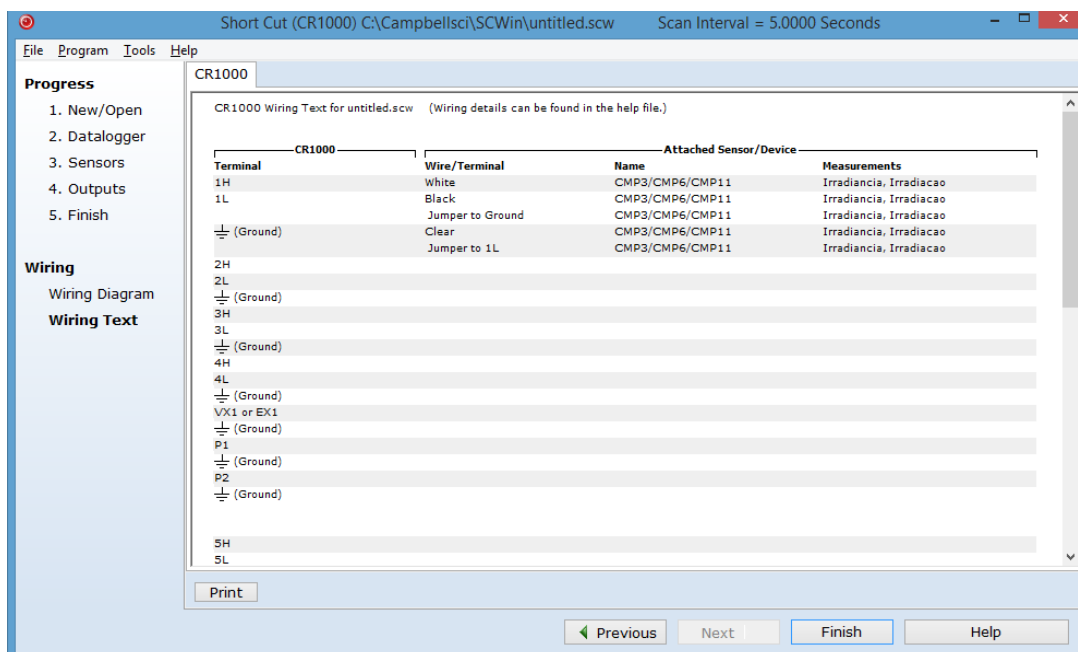


Figura 59 Janela do programa PC200W para criação de rotinas – Verificação da conexão dos cabos

Fonte: Acervo da Autora

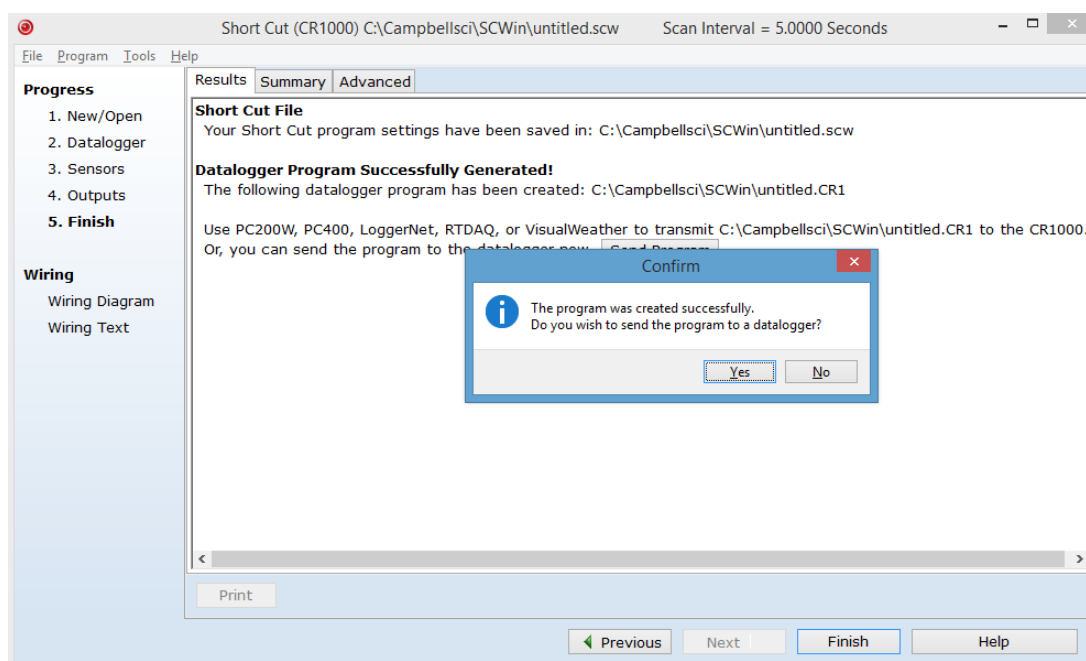


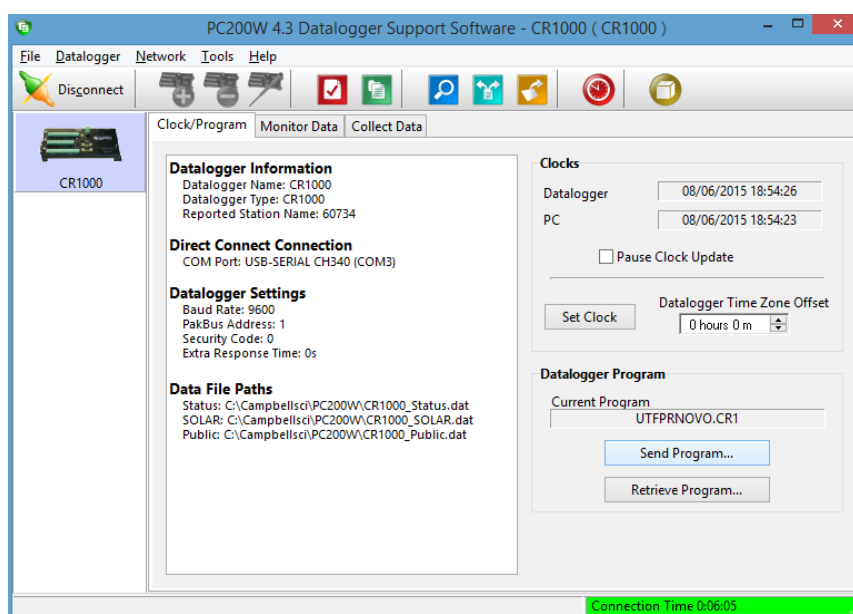
Figura 60 Janela do programa PC200W para criação de rotinas – Janela final

Fonte: acervo da Autora

Feitas todas as configurações necessárias deve-se voltar a janela inicial do *software* mostrada na figura 53 e selecionar a função “conect”. Atentar para o fato de que a porta de comunicação que aparece deve ser a mesma que está disponível no *software* “Device Configuration Utility”, caso contrário deve-se selecionar a função

“Add Datalogger” e repetir o processo mostrado nas figuras 49, 50 e 51, corrigida a porta de comunicação. O próximo passo é selecionar a função “connect”. Automaticamente o rodapé da figura 53 irá ficar verde e aparecerá a palavra “connected”. A partir deste ponto já é possível enviar ao Datalogger o programa criado.

Para enviar um programa ao Datalogger basta clicar no ícone “Send Program” mostrado na janela da figura 61. Irá aparecer uma janela de seleção onde deve ser carregado o arquivo criado anteriormente.



**Figura 61 Janela inicial software PC200W - Envio de um novo programa**  
**Fonte: Acervo da Autora**

Enviado o programa para o Datalogger é necessário comparar os relógios mostrados na janela da figura 53 e caso estes estejam diferentes é necessário clicar em “Set Clock” para acertar o relógio do Datalogger, pois as medições extraídas serão em função dos horários em que estas foram adquiridas.

Feitas todas as configurações mostradas anteriormente o Datalogger já está coletando dados e os armazenando em sua memória e não é mais necessário manter um computador conectado e ele.

Para este trabalho foram adquiridos dados entre os dias 14 de Maio de 2015 - UTPFR até 8 de Junho de 2015. Os dados foram colhidos semanalmente durante este prazo e serão avaliados no próximo capítulo.

### 3.4.4 COLETA DE DADOS

Para coletar os dados existentes no Datalogger basta iniciar o *software* PC200W e selecionar a opção “colect data” como mostrada na janela da figura 62. Posteriormente irá abrir a janela mostrada na figura 63. Nesta janela deve-se selecionar a pasta destino para os dados. Depois de extraídos deve-se salvar os dados. Caso não se renomeie o arquivo este será salvo com o nome da tabela de dados do programa que o gerou. Após salvar os dados deve-se selecionar a opção “View files” e irá abrir a janela mostrada na figura 64.

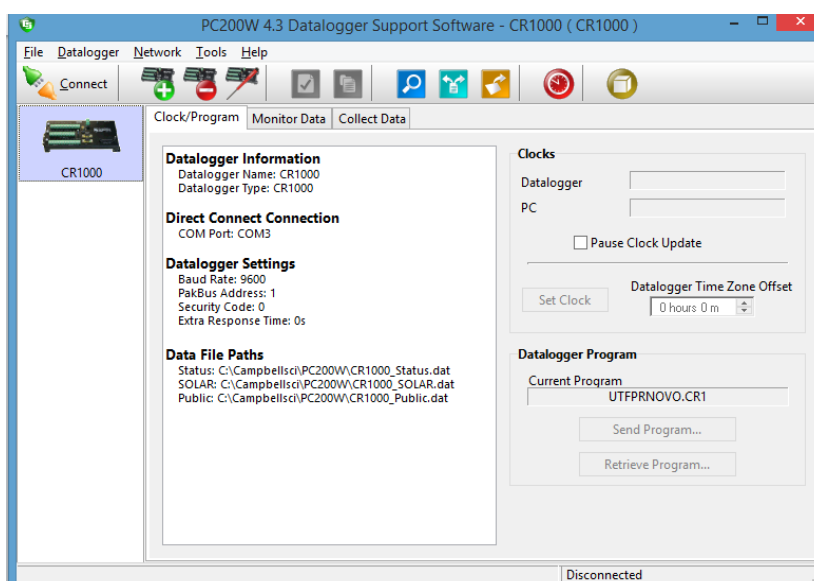


Figura 62 Janela inicial software PC200W - seleção aba "Colect Data"  
Fonte: Acervo da Autora

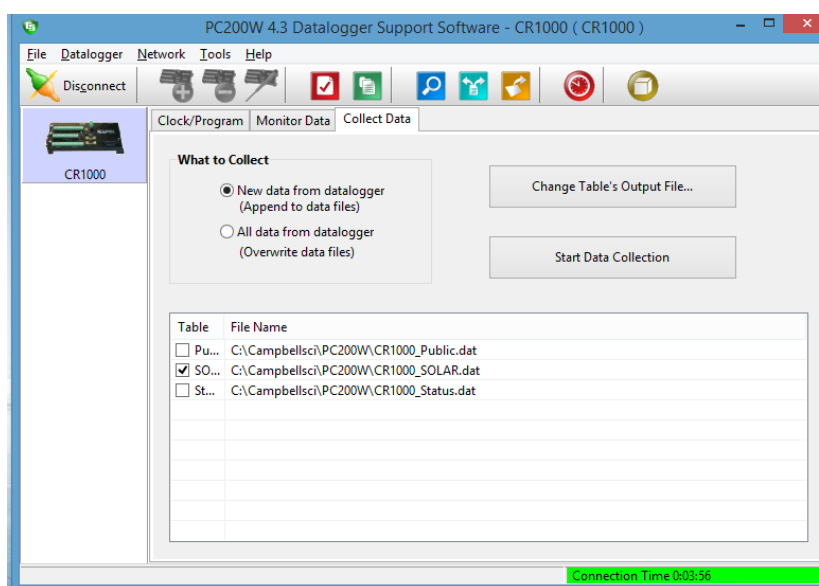
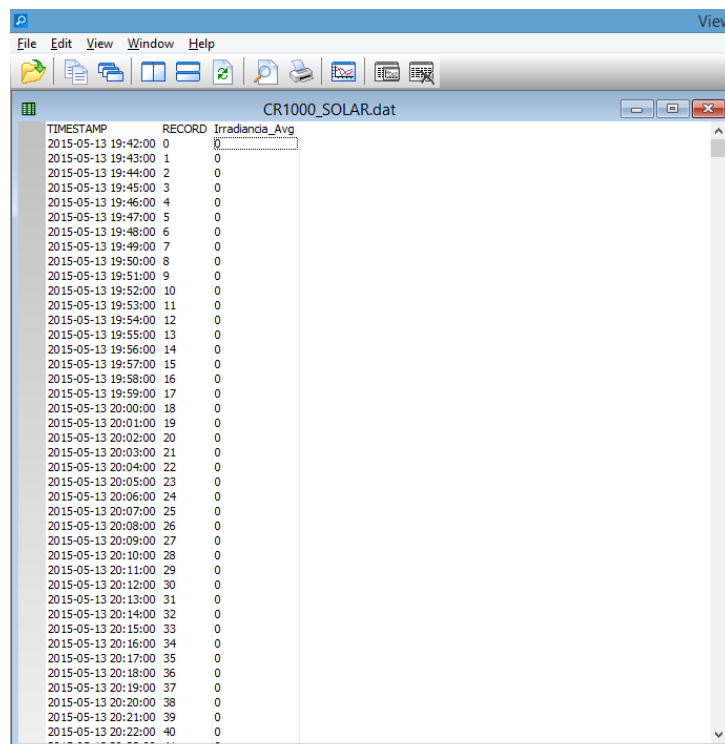


Figura 63 Janela para extração de dados software PC200W – seleção da pasta destino  
Fonte: Acervo da Autora

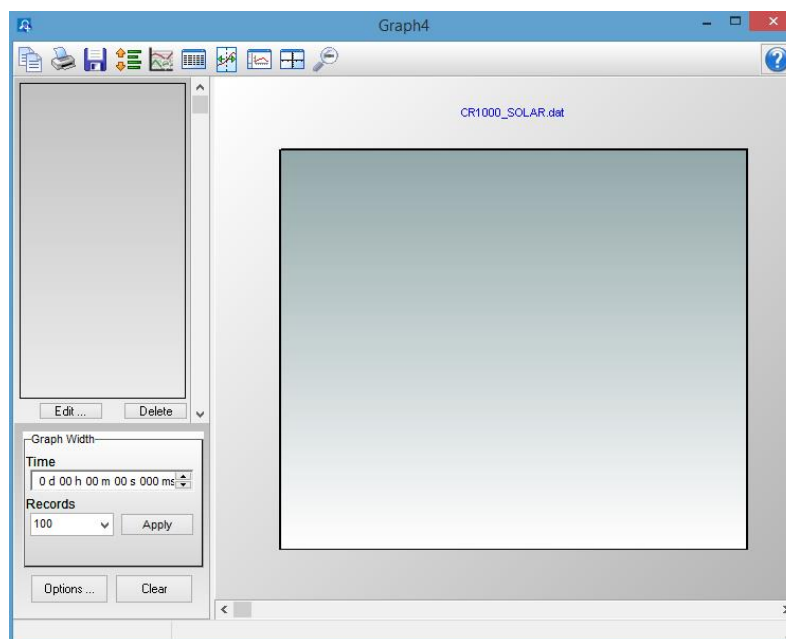


The screenshot shows a window titled "CR1000\_SOLAR.dat" with a menu bar (File, Edit, View, Window, Help) and a toolbar. The main area contains a table with three columns: "TIMESTAMP", "RECORD", and "Irradiancia\_Avg". The data consists of 41 rows, each representing a one-minute interval from 19:42:00 to 20:22:00 on May 13, 2015. The "RECORD" column contains integers from 0 to 40, and the "Irradiancia\_Avg" column contains the value 0 for every record.

TIMESTAMP	RECORD	Irradiancia_Avg
2015-05-13 19:42:00	0	0
2015-05-13 19:43:00	1	0
2015-05-13 19:44:00	2	0
2015-05-13 19:45:00	3	0
2015-05-13 19:46:00	4	0
2015-05-13 19:47:00	5	0
2015-05-13 19:48:00	6	0
2015-05-13 19:49:00	7	0
2015-05-13 19:50:00	8	0
2015-05-13 19:51:00	9	0
2015-05-13 19:52:00	10	0
2015-05-13 19:53:00	11	0
2015-05-13 19:54:00	12	0
2015-05-13 19:55:00	13	0
2015-05-13 19:56:00	14	0
2015-05-13 19:57:00	15	0
2015-05-13 19:58:00	16	0
2015-05-13 19:59:00	17	0
2015-05-13 20:00:00	18	0
2015-05-13 20:01:00	19	0
2015-05-13 20:02:00	20	0
2015-05-13 20:03:00	21	0
2015-05-13 20:04:00	22	0
2015-05-13 20:05:00	23	0
2015-05-13 20:06:00	24	0
2015-05-13 20:07:00	25	0
2015-05-13 20:08:00	26	0
2015-05-13 20:09:00	27	0
2015-05-13 20:10:00	28	0
2015-05-13 20:11:00	29	0
2015-05-13 20:12:00	30	0
2015-05-13 20:13:00	31	0
2015-05-13 20:14:00	32	0
2015-05-13 20:15:00	33	0
2015-05-13 20:16:00	34	0
2015-05-13 20:17:00	35	0
2015-05-13 20:18:00	36	0
2015-05-13 20:19:00	37	0
2015-05-13 20:20:00	38	0
2015-05-13 20:21:00	39	0
2015-05-13 20:22:00	40	0

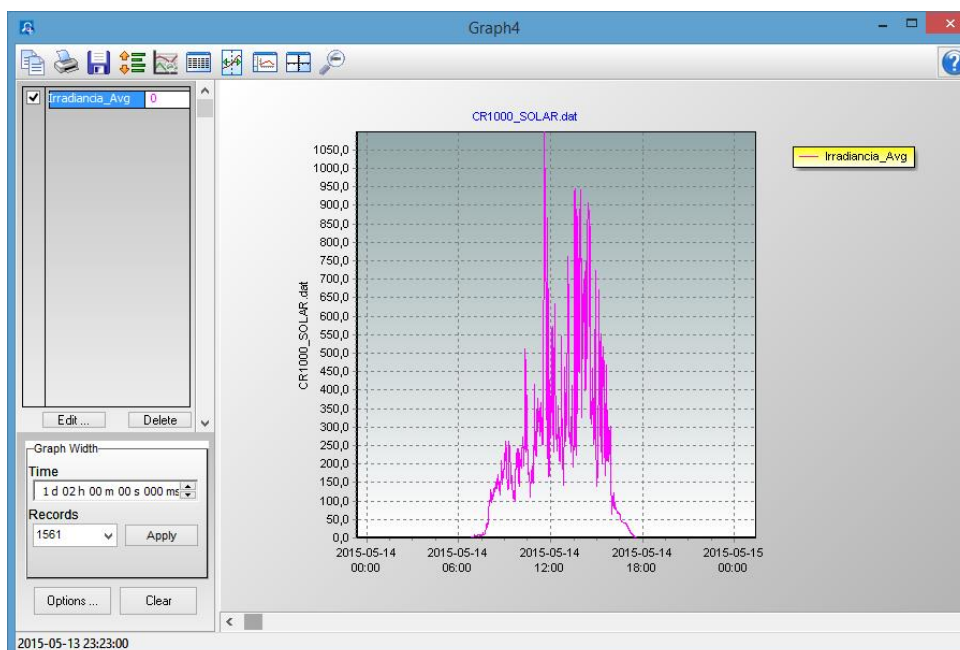
**Figura 64** Janela de dados extraídos do Datalogger  
**Fonte:** Acervo da Autora

Os dados mostrados na figura 64 são disponibilizados para o usuário em bloco de notas, porém como mostrado na figura existe a opção para gerar os gráficos a partir dos dados obtidos. Para isto basta selecionar a opção “New Line Graph”, na barra de comando e irá abrir a janela mostrada na figura 65.



**Figura 65** Janela para geração de gráficos software PC200W  
**Fonte:** Acervo da Autora

Aberta a janela para geração dos gráficos basta voltar a janela que contém os dados e selecionar a coluna irradiância. Outro ponto que deve ser configurado será a largura do gráfico e como a intenção deste trabalho será levantar a irradiação diária e posteriormente chegar a um valor de irradiação média optou-se por gerar gráficos com a largura de 1 dia como mostrado na figura 66.



**Figura 66** Janela para geração de gráficos software PC200W – Dados selecionados  
Fonte: Acervo da Autora

Outro ponto importante da janela gráfica é a função “Export”, pois para cálculo da irradiação foi necessário somar todos os valores de irradiância num determinado período de tempo. Para isto a função “Export” converteu estes valores em dados do Excel, e este calculou a irradiação como será mostrado no capítulo subsequente.



#### 4. ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS

Como já mencionado anteriormente a irradiância é um valor instantâneo da energia solar que incide sobre algum ponto e sua unidade é dada em  $W/m^2$ . Já a irradiação  $H$  é a média desta irradiância em um determinado intervalo de tempo, como mostrado na equação 4.1 e sua unidade padrão é o  $kWh/m^2.dia$ .

$$H = \frac{24}{n} \sum_{i=0}^n G_i$$

(4.1)

Onde:

**H:** Irradiação do dia em questão  $Wh/m^2$ .

**n:** número total de valores de irradiância obtidos na data em questão.

**G<sub>i</sub>:** irradiância incidente no sensor.

Como já mencionado neste trabalho foram adquiridos dados de irradiância entre os dias 14 de Maio até 8 de Junho de 2015. Na sequência os dados serão exibidos levando em conta os dias em que foram colhidos e para melhor visualização dos dados serão disponibilizadas nos gráficos com as irradiâncias coletadas ao longo do dia.

Para obtenção dos dados demonstrados na sequência configurou-se o Datalogger para colher dados a cada minuto. Conseqüentemente para cada hora analisada existirão 60 dados coletados e para um dia todos estas passam para 1440 medições. Logo se modificando a equação 4.1 obtém-se.

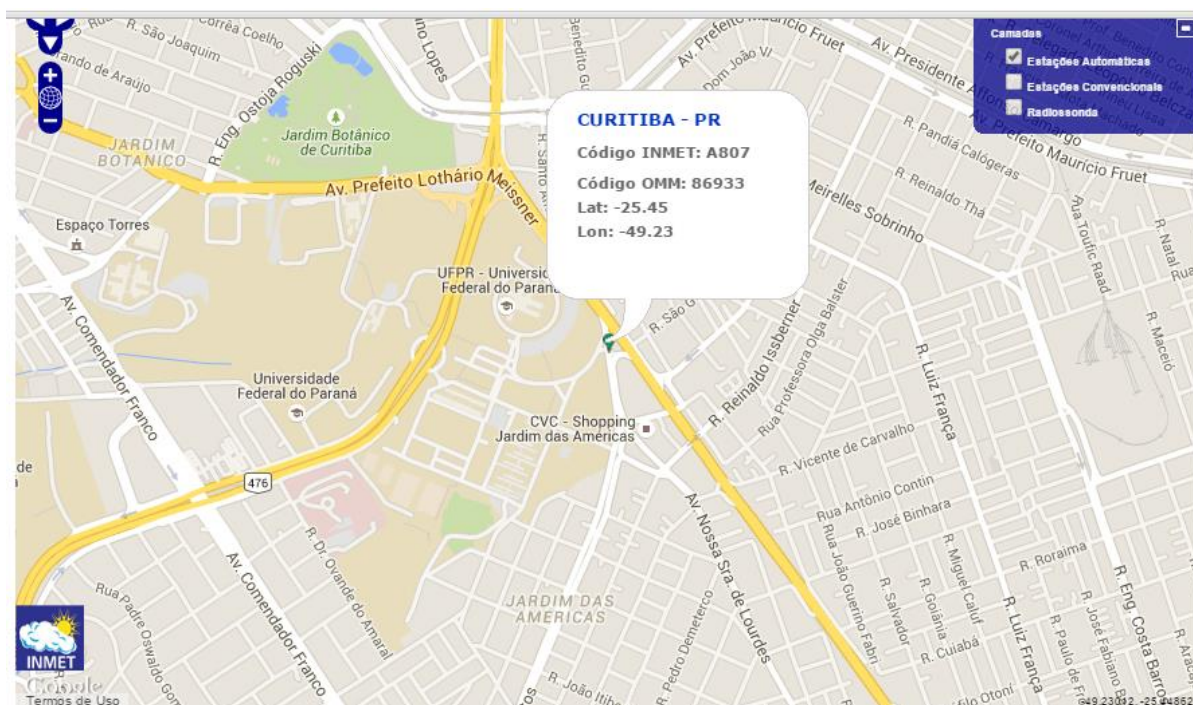
$$H = \frac{24}{1440} \sum_{i=0}^{1440} G_i$$

Um dos fatores que mais influenciam na irradiação medida em um determinado ponto são as condições climáticas, pois nuvens e chuva reduzem a incidência de luz sob o solo, como já explanado anteriormente. Outro fator importante que interfere nos dados é o ângulo de incidência dos raios solares no ponto monitorado. Como já mostrado anteriormente o Sol realiza um movimento de translação ao redor da terra e conseqüentemente este ângulo de incidência irá variar

conforme este movimento. Como já mostrado anteriormente a irradiância varia conforme o ângulo de incidência dos raios no ponto monitorado.

A maior influência do clima na irradiância pode ser notada quando comparado os valores de pico dos gráficos em dias chuvosos e nublados a irradiância reduz significativamente. Já a influência do ângulo de incidência determinará o formato do gráfico. Estes formam uma gaussiana (formato de sino), como pode ser observado próximo às 6 e às 18 horas, período quando o Sol nasce e se põe respectivamente. O ângulo de incidência é grande e a irradiância é baixa, porém próximo as 12 horas onde o ângulo é perpendicular a irradiância é máxima.

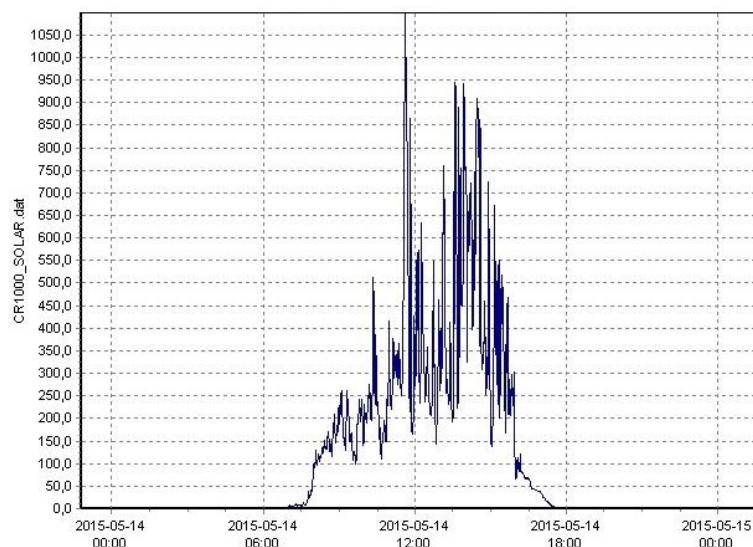
No próximo capítulo serão mostrados os dados colhidos na UTFPR entre os dias 14 de Maio e 8 de Junho e estes comparados com os dados disponíveis no INMET. Porém para o mês de Maio estão disponíveis os valores diários, e para o mês de Junho está disponível apenas a média histórica. Os dados do INMET utilizados neste trabalho foram coletados na estação A807, a qual se localiza dentro do centro politécnico da UFPR, com coordenadas 25,44" sul e 49,23" oeste como mostrado na figura 67 . A mesma encontra-se a aproximadamente 5 km da UTFPR, consequentemente a comparação dos dados torna-se mais precisa.



**Figura 67 Estação solarimétrica A807**  
**Fonte: INMET, 2015**

- IRRADIÂNCIA DIA 14 DE MAIO

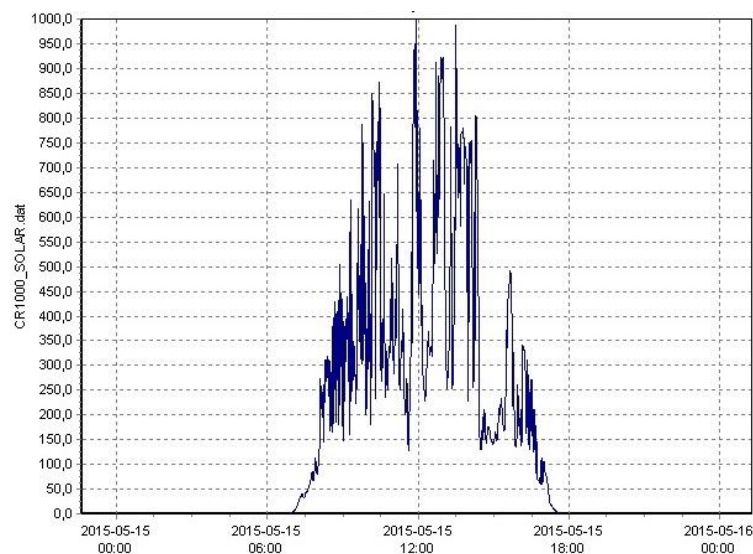
Analisando o gráfico da figura 68, conclui-se que a irradiação para este dia equivale a 2,70 kWh/m<sup>2</sup>. Neste dia houve presença de nuvens e a irradiação máxima superou o valor de 1000 W/m<sup>2</sup>.



**Figura 68 Irradiância no dia 14 de Maio de 2015 - UTPFR**  
Fonte: Acervo da Autora

- IRRADIÂNCIA DIA 15 DE MAIO

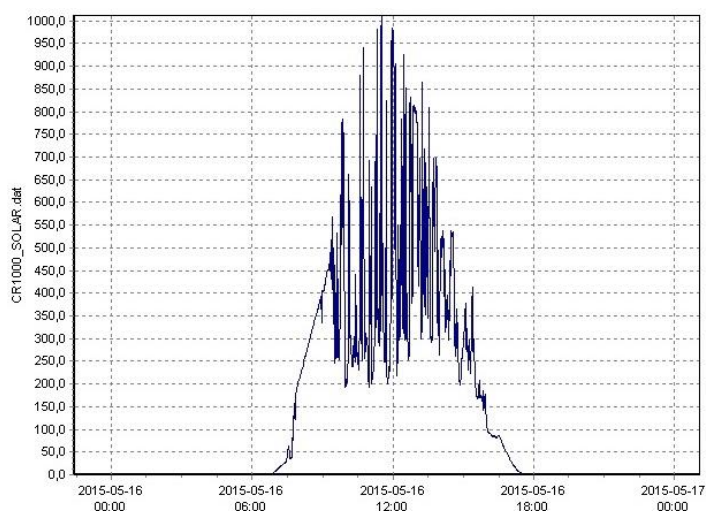
Analisando os dados do gráfico mostrado na figura 69 conclui-se que a irradiação para este dia equivale a 3,49 kWh/m<sup>2</sup>. Pode-se observar que este foi um dia com maior nebulosidade em relação ao dia anterior mas a irradiação foi maior do que a média histórica para o mês de Maio de 3,29 kWh/m<sup>2</sup> fornecida pelo INPE.



**Figura 69 Irradiância no dia 15 de Maio de 2015 - UTPFR**  
Fonte: Acervo da Autora

- IRRADIÂNCIA DIA 16 DE MAIO

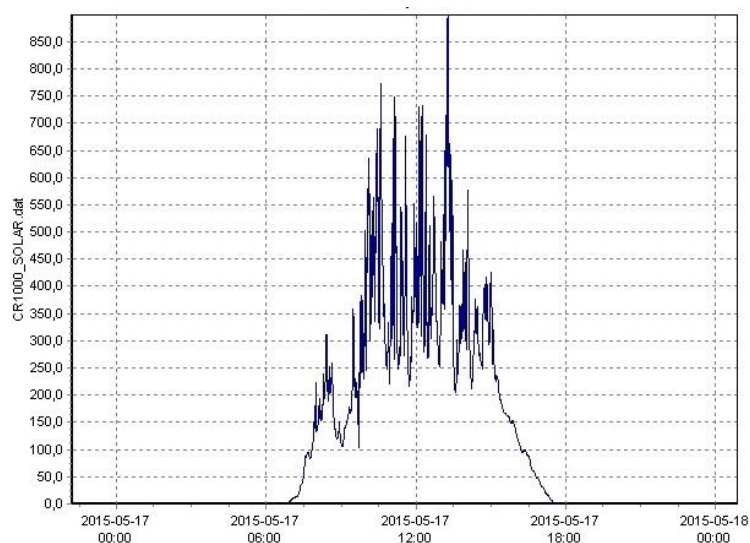
Analisando o gráfico mostrado na figura 70, pode-se concluir que a irradiação para este dia vale 3,30 kWh/m<sup>2</sup>. Observa-se que este também foi um dia com menos nuvens e a irradiação ficou dentro do esperado de acordo com a média histórica para o mês o mês de Maio de 3,29 kWh/m<sup>2</sup> fornecida pelo INPE.



**Figura 70 Irradiância no dia 16 de Maio de 2015 - UTPFR**  
Fonte: Acervo da Autora

- IRRADIÂNCIA DIA 17 DE MAIO

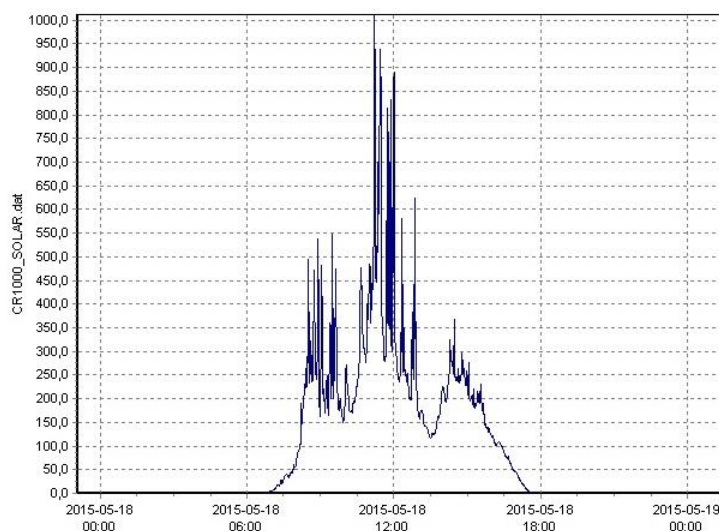
A irradiação para este dia equivale a 2,72 kWh/m<sup>2</sup>. Observando o gráfico mostrado na figura 71, pode-se observar que neste dia o céu voltou a ter nuvens e tornar-se pouco mais nublado e parecido com o dia 14 de Maio.



**Figura 71 Irradiância no dia 17 de Maio de 2015 - UTPFR**  
Fonte: Acervo da Autora

- IRRADIÂNCIA DIA 18 DE MAIO

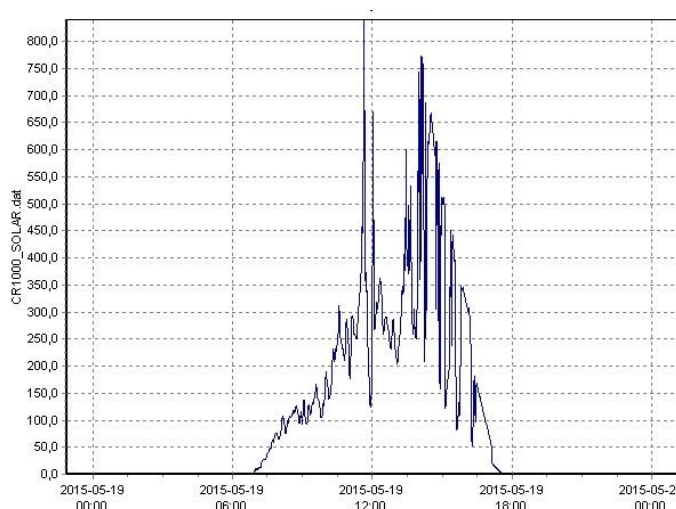
A irradiação para este dia equivale a 2,25 kWh/m<sup>2</sup>. Observando o gráfico mostrado na figura 72, pode-se notar que neste dia a irradiação torna a não superar com a média histórica para o mês de Maio de 3,29 kWh/m<sup>2</sup> fornecida pelo INPE.



**Figura 72 Irradiância no dia 18 de Maio de 2015 - UTPFR**  
**Fonte: Acervo da Autora**

- IRRADIÂNCIA DIA 19 DE MAIO

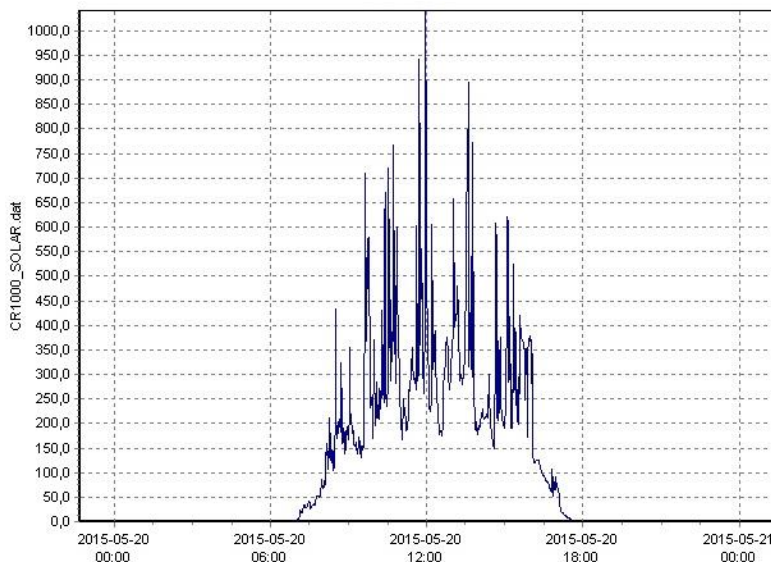
A irradiação para este dia equivale a 2,43 kWh/m<sup>2</sup>. Um ponto interessante a ser notado no gráfico da figura 73 é que neste dia houve uma manhã de tempo nublado e uma tarde de céu um pouco mais limpo. Mesmo a manhã sendo fria, o pico da irradiação ocorreu próximo ao meio-dia, ou seja, quando a incidência dos raios solares é perpendicular.



**Figura 73 Irradiância no dia 19 de Maio de 2015 - UTPFR.**  
**Fonte: Acervo da Autora.**

- IRRADIÂNCIA DIA 20 DE MAIO

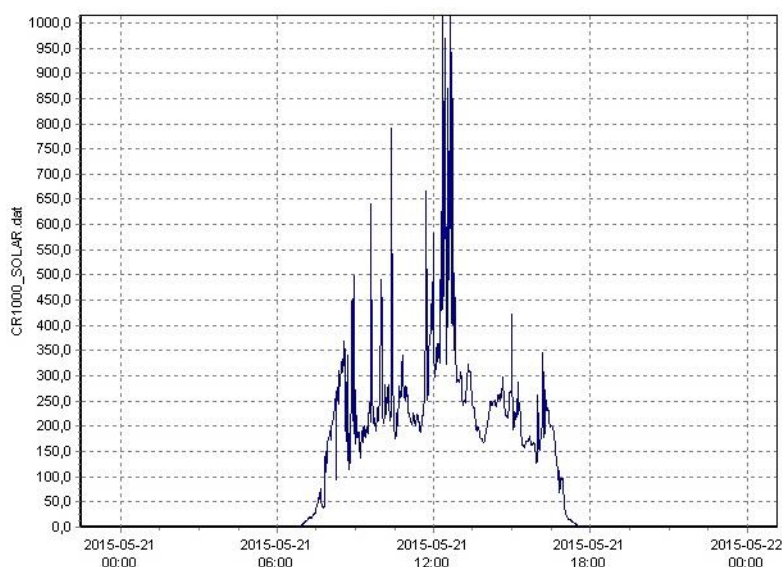
A irradiação para este dia equivale a 2,51 kWh/m<sup>2</sup>. Observando o gráfico mostrado na figura 74, pode-se observar que neste dia diferentemente do anterior o céu estava menos nublado e o pico de irradiação possuiu maior amplitude.



**Figura 74 Irradiância no dia 20 de Maio de 2015 - UTPFR**  
Fonte: Acervo da Autora

- IRRADIÂNCIA DIA 21 DE MAIO

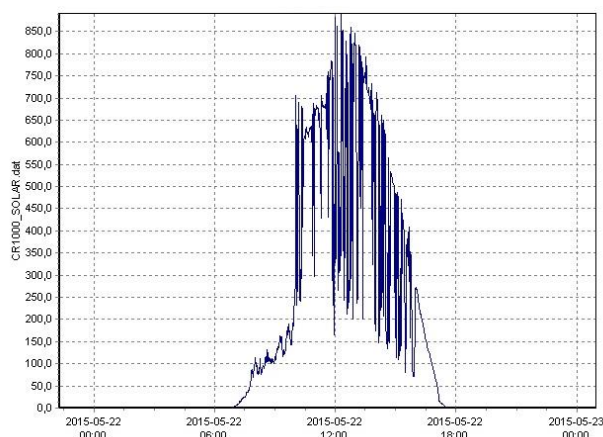
A irradiação para este dia equivale a 2,40 kWh/m<sup>2</sup>. Observando o gráfico mostrado na figura 75, pode-se observar que neste dia diferentemente do anterior o céu estava mais nublado.



**Figura 75 Irradiância no dia 21 de Maio de 2015 - UTPFR**  
Fonte: Acervo da Autora

- IRRADIÂNCIA DIA 22 DE MAIO

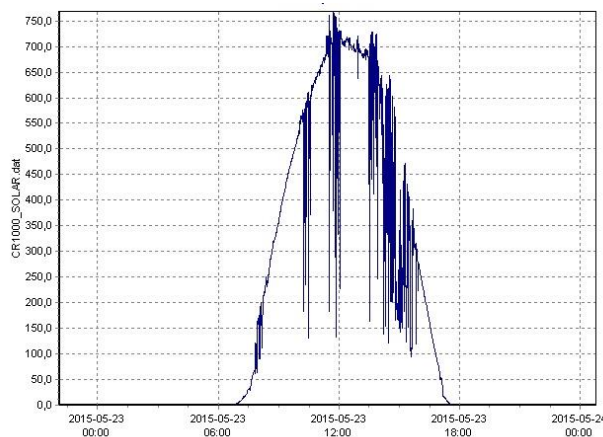
A irradiação para este dia equivale a 3,55 kWh/m<sup>2</sup>. Observando o gráfico mostrado na figura 76, pode-se observar que neste dia assim como os demais desta semana começou com uma manhã nublada e pouca radiação solar, porém a partir das 10:00 horas o céu ficou claro e com poucas nuvens. Conseqüentemente o dia 22 de Maio apresentou um dos maiores índices de irradiação superando a média histórica para o mês de Maio de 3,29 kWh/m<sup>2</sup> fornecida pelo INPE.



**Figura 76 Irradiância no dia 22 de Maio de 2015 - UTPFR**  
Fonte: Acervo da Autora

- IRRADIÂNCIA DIA 23 DE MAIO

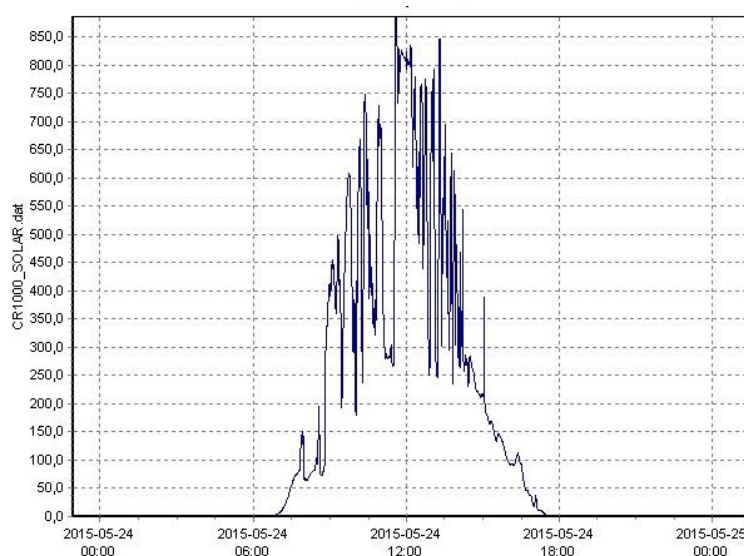
A irradiação para este dia equivale a 4,18 kWh/m<sup>2</sup>. Observando o gráfico mostrado na figura 77, pode-se observar que neste dia o valor de pico da irradiação foi menor do que nos outros casos, porém a interferência durante o dia sobre os raios solares foi pequena, e este dia apresentou a maior radiação entre as coletadas para este trabalho.



**Figura 77 Irradiância no dia 23 de Maio de 2015 - UTPFR**  
Fonte: Acervo da Autora

- IRRADIÂNCIA DIA 24 DE MAIO

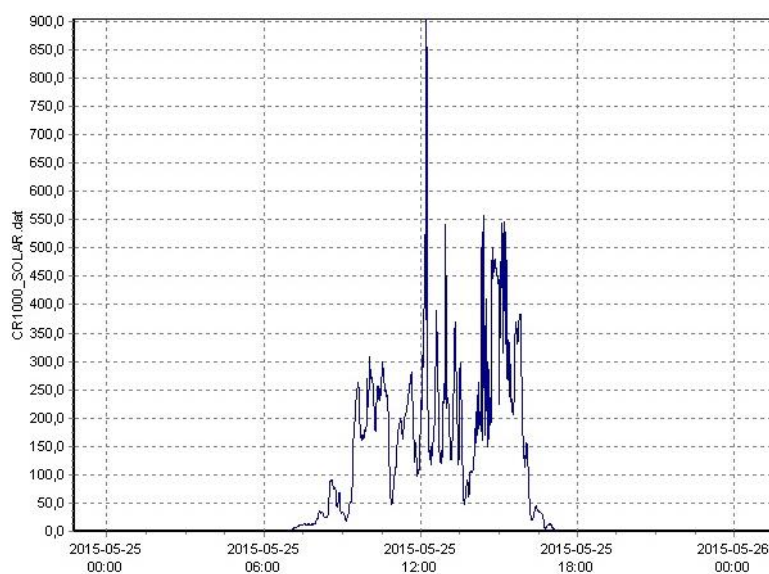
A irradiação para este dia equivale a 3,32 kWh/m<sup>2</sup>. Observando o gráfico mostrado na figura 78, pode-se observar que neste dia a irradiação voltou a diminuir, e que a interferência atmosférica sob os raios solares aumentou.



**Figura 78 Irradiância no dia 24 de Maio de 2015 - UTPFR**  
Fonte: Acervo da Autora

- IRRADIÂNCIA DIA 25 DE MAIO

A irradiação para este dia equivale a 1,67 kWh/m<sup>2</sup>. Observando o gráfico mostrado na figura 79, pode-se observar que neste dia a irradiação voltou a diminuir, e o dia esteve bastante nublado.

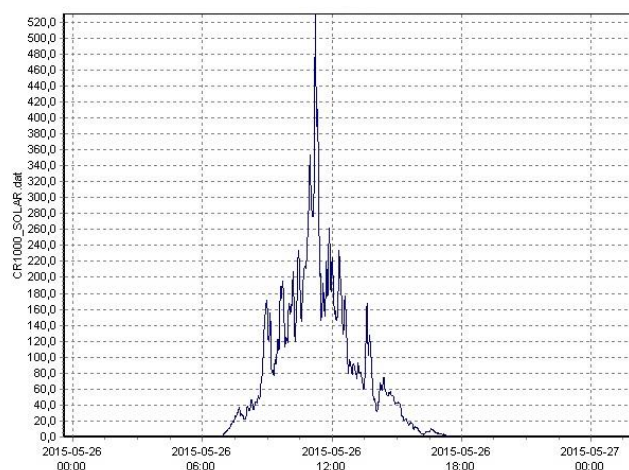


**Figura 79 Irradiância no dia 25 de Maio de 2015 - UTPFR**  
Fonte: Acervo da Autora



- IRRADIÂNCIA DIA 26 DE MAIO

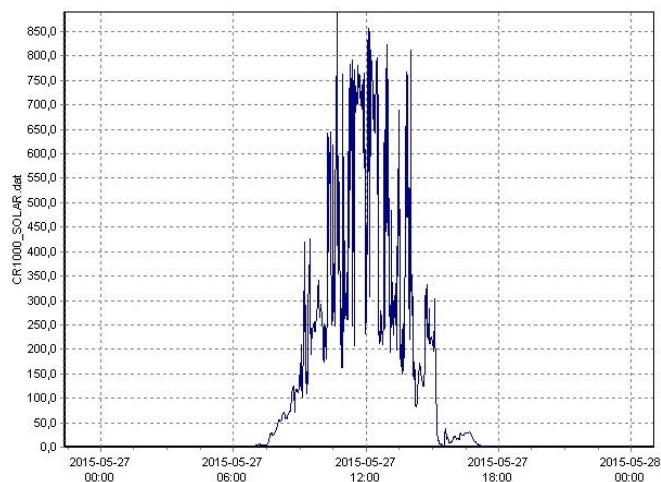
A irradiação para este dia equivale a 0,98 kWh/m<sup>2</sup>. Observando o gráfico mostrado na figura 80, pode-se observar que neste dia a irradiação diminuiu drasticamente, o pico da irradiação foi de 520 W/m<sup>2</sup>, um valor bem abaixo do que nos demais dias. Isto ocorreu devido ao fato deste ter sido chuvoso e com o céu totalmente nublado, conseqüentemente neste dia colheu-se o pior resultado de irradiação para este trabalho.



**Figura 80 Irradiância no dia 26 de Maio de 2015 - UTPFR**  
Fonte: Acervo da Autora

- IRRADIÂNCIA DIA 27 DE MAIO

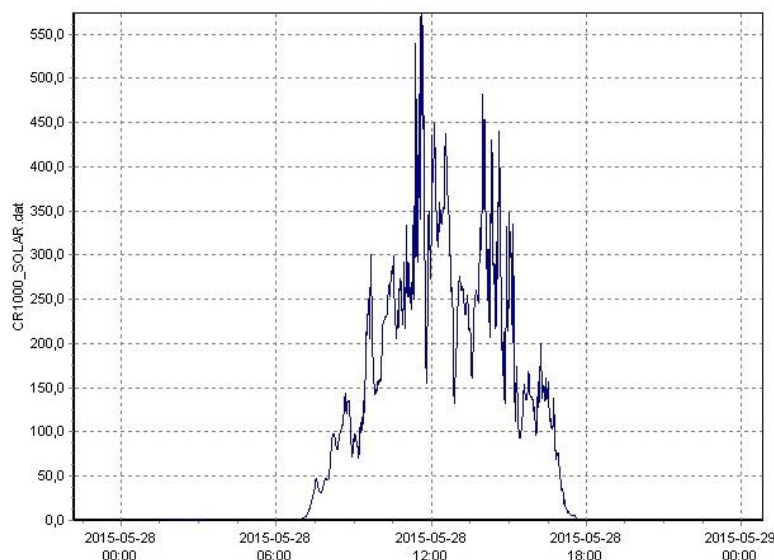
A irradiação para este dia equivale a 2,48 kWh/m<sup>2</sup>. Neste dia houve uma melhora considerável em relação ao dia anterior, porém novamente a irradiação ficou abaixo da média histórica para o mês de Maio de 3,29 kWh/m<sup>2</sup> fornecida pelo INPE.



**Figura 81 Irradiância no dia 27 de Maio de 2015 - UTPFR.**  
Fonte: Acervo da Autora.

- IRRADIÂNCIA DIA 28 DE MAIO

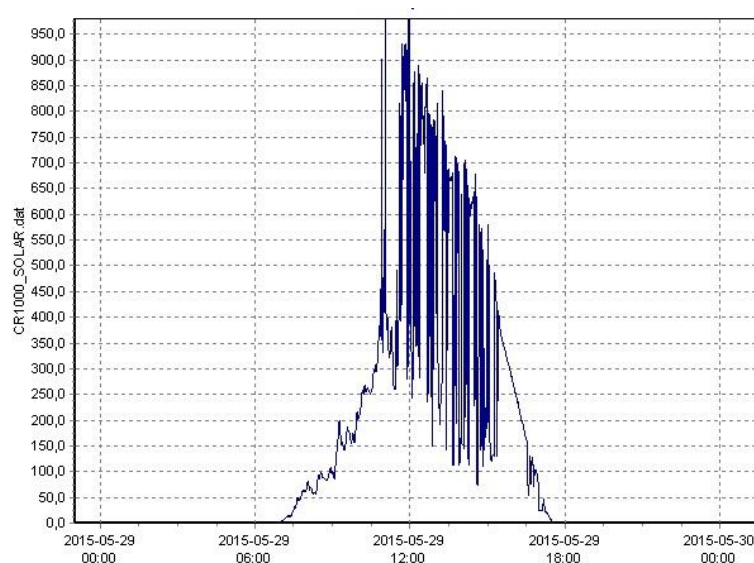
A irradiação para este dia equivale a 2,01 kWh/m<sup>2</sup>. Neste dia choveu, porém não com a mesma intensidade que no dia 26 de Maio, como pode ser visto comparando as figuras 80 e 82.



**Figura 82 Irradiância no dia 28 de Maio de 2015 - UTPFR**  
Fonte: Acervo da Autora

- IRRADIÂNCIA DIA 29 DE MAIO

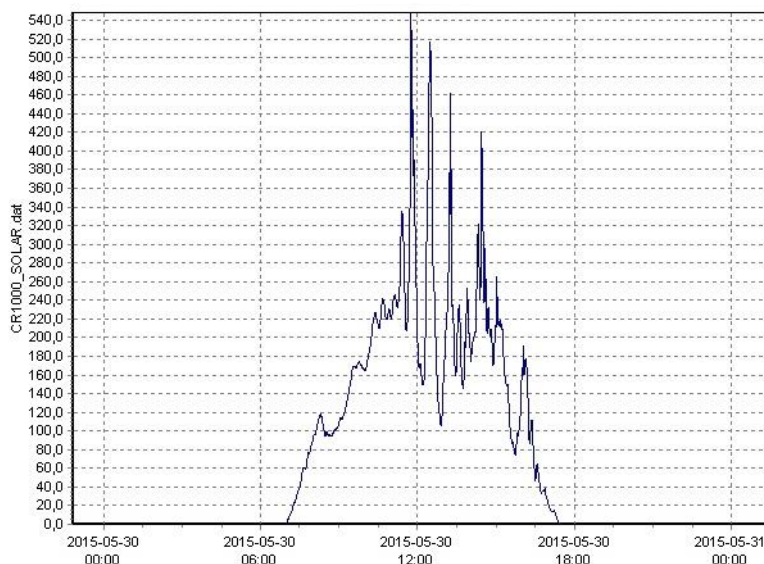
A irradiação para este dia equivale a 3,08 kWh/m<sup>2</sup>. Observando o gráfico mostrado na figura 83, pode-se observar que neste dia a irradiação voltou a aumentar.



**Figura 83 Irradiância no dia 29 de Maio de 2015 - UTPFR**  
Fonte: Acervo da Autora

- IRRADIÂNCIA DIA 30 DE MAIO

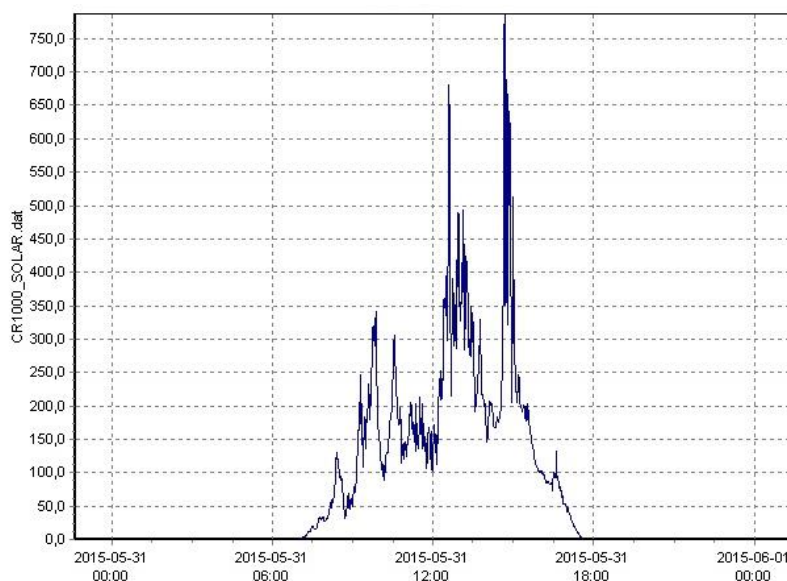
A irradiação para este dia equivale a 1,70 kWh/m<sup>2</sup>. Observando o gráfico mostrado na figura 84, pode-se observar que neste dia mais uma vez a irradiação diminuiu devido a fato de o dia estar chuvoso.



**Figura 84 Irradiância no dia 30 de Maio de 2015 - UTPFR**  
Fonte: Acervo da Autora

- IRRADIÂNCIA DIA 31 DE MAIO

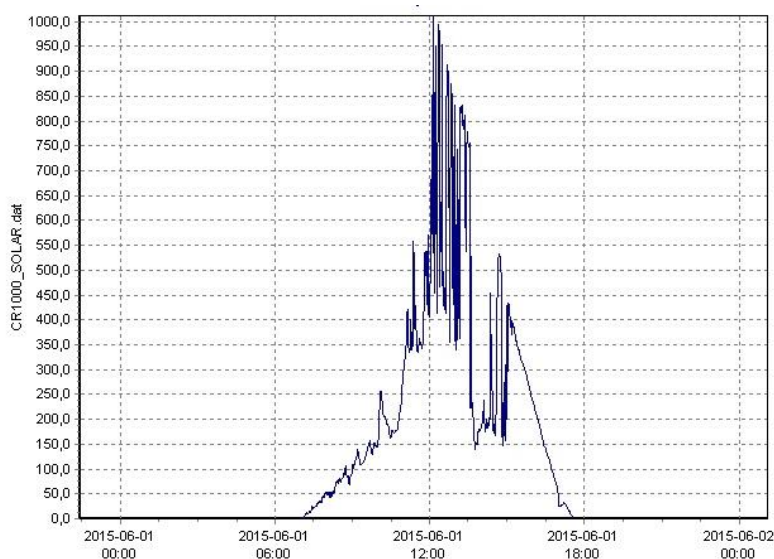
A irradiação para este dia equivale a 1,77 kWh/m<sup>2</sup>. O dia 31 assim como o anterior também choveu, na figura 84 pode-se observar que a chuva teve maior influência durante o período da manhã.



**Figura 85 Irradiância no dia 31 de Maio de 2015 - UTPFR**  
Fonte: Acervo da Autora

- IRRADIÂNCIA DIA 01 DE JUNHO

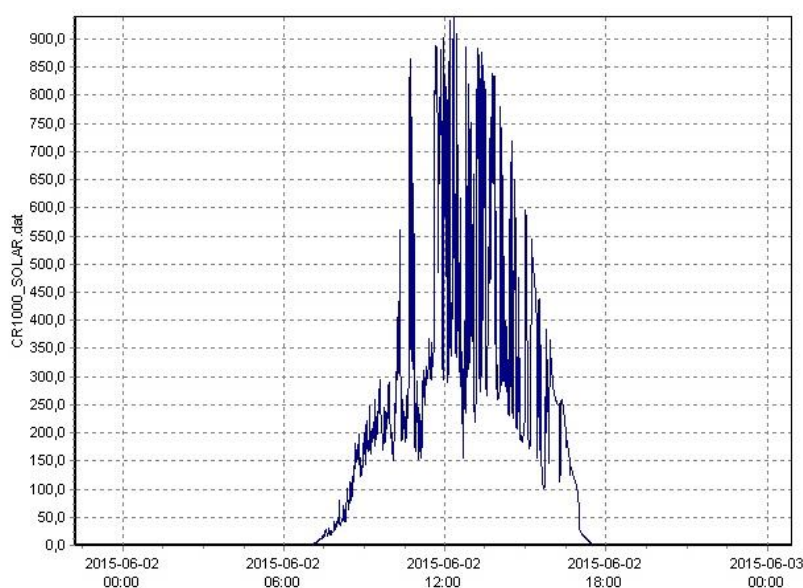
O mês de Junho começou com uma mudança climática: diminuíram as chuvas e o céu permaneceu menos nebuloso em comparação a última semana do mês de Maio, com isto a irradiação aumentou e para este dia equivale a 2,71 kWh/m<sup>2</sup>.



**Figura 86 Irradiância no dia 01 de Junho de 2015**  
Fonte: Acervo da Autora

- IRRADIÂNCIA DIA 02 DE JUNHO

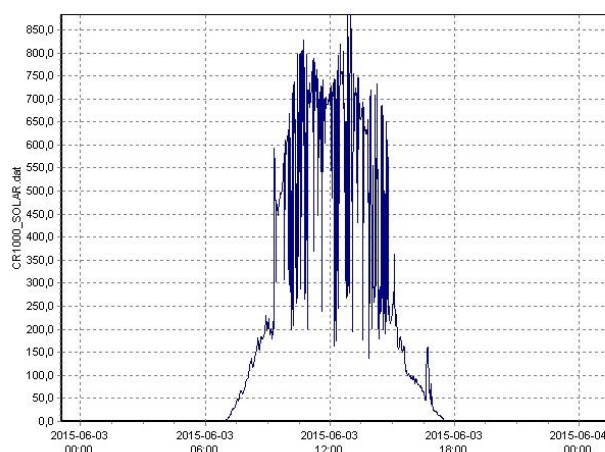
A irradiação para este dia equivale a 2,97 kWh/m<sup>2</sup>. Este dia apresentou maior nebulosidade em relação ao dia anterior.



**Figura 87 Irradiância no dia 02 de Junho de 2015**  
Fonte: Acervo da Autora

- IRRADIÂNCIA DIA 03 DE JUNHO

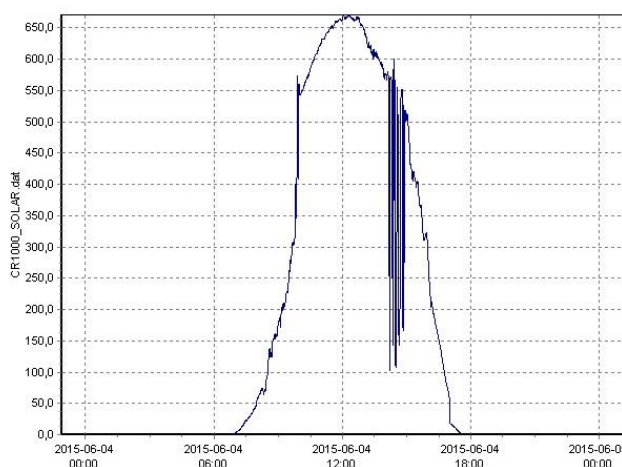
A irradiação para este dia equivale a 3,65 kWh/m<sup>2</sup>. Ao analisar a figura 88 percebe-se que a interferência das nuvens sobre os raios solares foi bem menor durante todo o dia e o valor da irradiação superou a média histórica para o mês de Junho de 3,08 kWh/m<sup>2</sup> fornecida pelo INPE.



**Figura 88 Irradiância no dia 03 de Junho de 2015**  
Fonte: Acervo da Autora

- IRRADIÂNCIA DIA 04 DE JUNHO

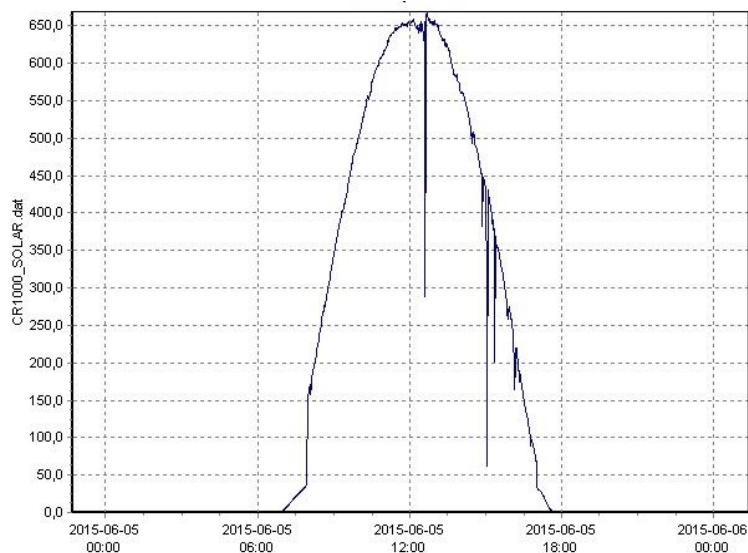
A irradiação para este dia equivale a 3,88 kWh/m<sup>2</sup>. Ao analisar a figura 89 percebe-se que o céu esteve praticamente sem nuvens, e consequentemente obteve-se um dos maiores valores de irradiação apresentados para o mês e Junho superando com a média histórica para o mês de Junho de 3,08 kWh/m<sup>2</sup> fornecida pelo INPE.



**Figura 89 Irradiância no dia 04 de Junho de 2015**  
Fonte: Acervo da Autora

- IRRADIÂNCIA DIA 05 DE JUNHO

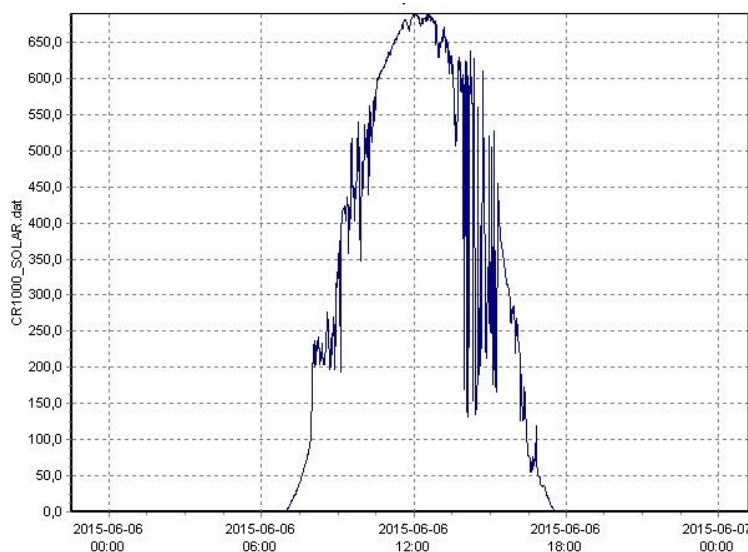
Observando a figura 90 percebe-se que o dia 5 de Junho apresentou o melhor gráfico para a irradiância quanto à sua forma a qual se assemelha a uma curva gaussiana e a irradiação para este dia equivale a 4,11 kWh/m<sup>2</sup>, a segunda maior irradiação apresentada neste trabalho.



**Figura 90 Irradiância no dia 05 de Junho de 2015.**  
Fonte: Acervo da Autora.

- IRRADIÂNCIA DIA 06 DE JUNHO

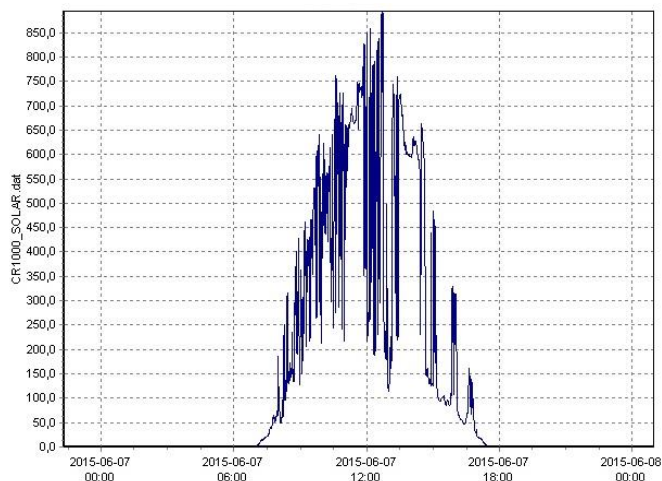
A irradiação para este dia equivale a 4,05 kWh/m<sup>2</sup>. Ao analisar a figura 91, percebe-se uma irradiação maior do que a média histórica para o mês de Junho de 3,08 kWh/m<sup>2</sup> fornecida pelo INPE.



**Figura 91 Irradiância no dia 06 de Junho de 2015.**  
Fonte: Acervo da Autora.

- IRRADIÂNCIA DIA 07 DE JUNHO

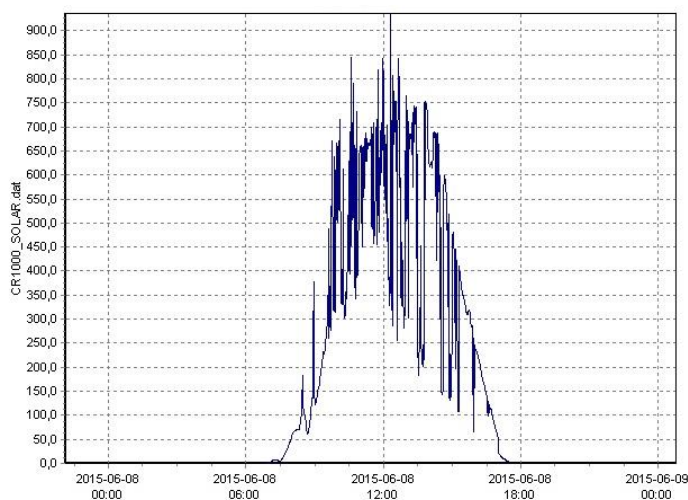
A irradiação para este dia equivale a 3,46 kWh/m<sup>2</sup>. Ao analisar a figura 92, percebe-se uma maior nebulosidade diminuindo a intensidade da irradiação, se comparado aos demais dias do mês de Junho.



**Figura 92 Irradiância no dia 07 de Junho de 2015**  
Fonte: Acervo da Autora

- IRRADIÂNCIA DIA 08 DE JUNHO

O dia 8 de Junho foi o último dia de medições utilizado para este trabalho. A irradiação para este dia equivale a 3,61 kWh/m<sup>2</sup> e ao analisar a figura 93, percebe-se um dia mais nebuloso, assim como o dia anterior, mas com um valor de irradiação maior do que a média histórica para o mês de Junho de 3,08 kWh/m<sup>2</sup> fornecida pelo INPE.



**Figura 93 Irradiância no dia 08 de Junho de 2015**  
Fonte: Acervo da Autora

#### 4.1 IRRADIAÇÃO MÉDIA

Como já mencionado neste trabalho serão comparados os dados colhidos na UTFPR com os disponíveis no INMET. Os dados do mês de maio foram comparados com dados diários e o mês de junho apenas com a média mensal.

A irradiação média  $H_{md}$  consiste na média das irradiações de um determinado intervalo de tempo como mostrado na fórmula 4.2:

$$H_{md} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n H_i \quad (4.2)$$

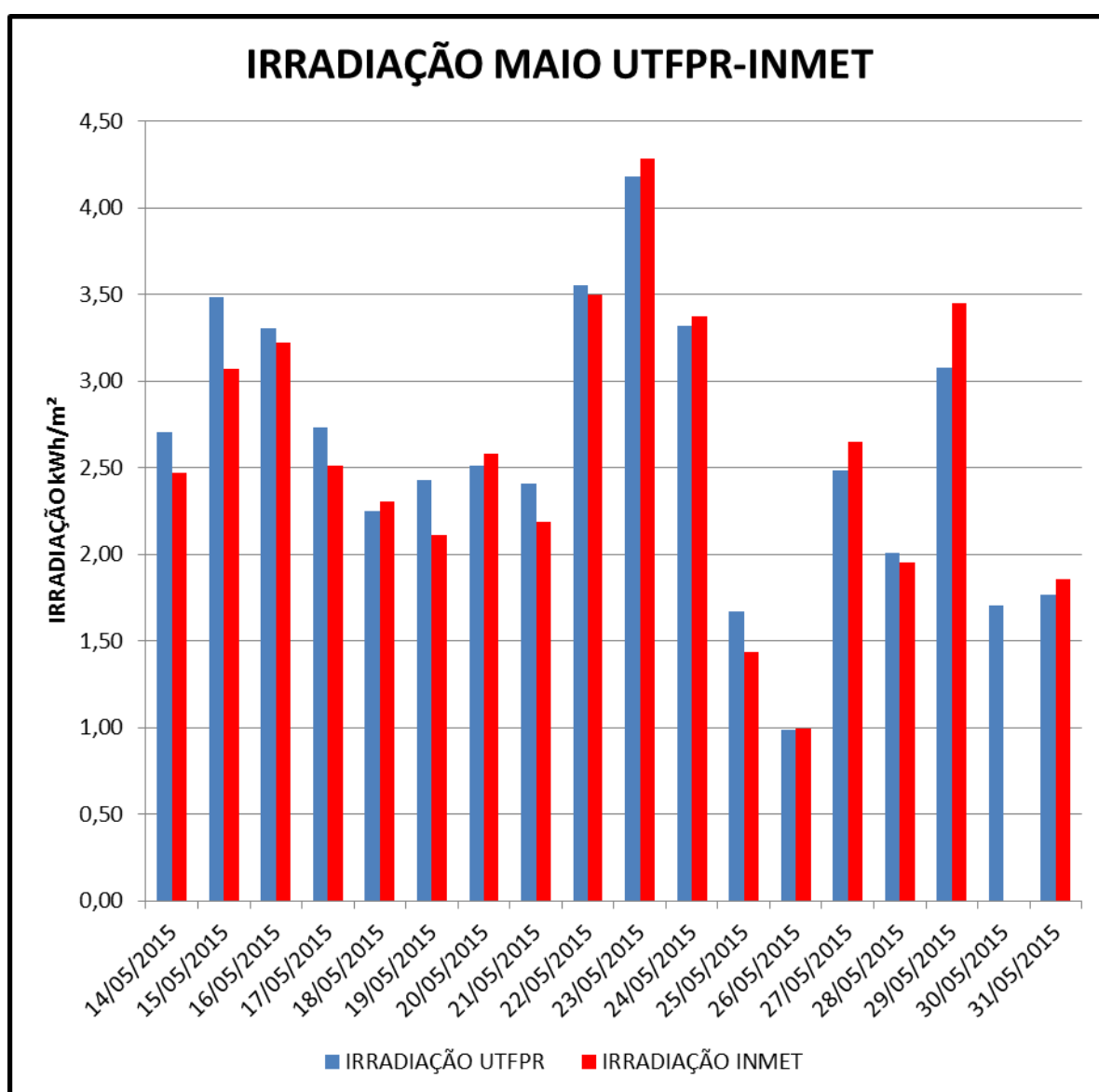
Para calcular a irradiação média do mês de Maio, construiu-se a tabela 3, levando em conta a formula 4.2 e os dados de irradiância do mês mostrado anteriormente.

DIA DE REFERENCIA	IRRADIAÇÃO (H) MEDIDA kWh/m <sup>2</sup> .dia	IRRADIAÇÃO (H) INMET kWh/m <sup>2</sup> .dia	DESVIO
14/05/2015	2,71	2,47	9%
15/05/2015	3,49	3,07	12%
16/05/2015	3,31	3,22	3%
17/05/2015	2,73	2,51	8%
18/05/2015	2,25	2,30	-2%
19/05/2015	2,43	2,11	13%
20/05/2015	2,51	2,58	-3%
21/05/2015	2,41	2,19	9%
22/05/2015	3,56	3,49	2%
23/05/2015	4,18	4,29	-3%
24/05/2015	3,32	3,37	-2%
25/05/2015	1,67	1,43	14%
26/05/2015	0,99	1,00	-1%
27/05/2015	2,48	2,65	-7%
28/05/2015	2,01	1,95	3%
29/05/2015	3,08	3,45	-12%
30/05/2015	1,70	N/D	N/D
31/05/2015	1,77	1,86	-5%
<b>IRRADIAÇÃO MÉDIA Gmd (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>2,59</b>	<b>2,59</b>	<b>0%</b>

Tabela 3: Irradiação média do mês de Maio – Comparação dos dados da UTFPR e do INMET  
Fonte: Acervo da Autora



No gráfico mostrado na figura 94 é possível comparar as irradiações de cada um dos dias do mês de Maio. Neste gráfico também é fácil perceber a diferença de irradiação disponível em um dia chuvoso e um dia ensolarado, como ocorreu nos 26 e 23 de Maio respectivamente. Também é fácil de perceber que a energia proveniente do Sol varia muito conforme as variações climáticas que ocorrem durante o ano. Um ponto importante a ser observado na tabela 3 é o fato do erro entre a irradiação média calculada neste trabalho e o valor disponível no sistema do INMET foi igual à zero, mesmo existindo uma pequena variação entre a irradiação diária nos dias monitorados.



**Figura 94 Irradiação de Maio UTFPR - INMET**  
Fonte: Acervo da Autora

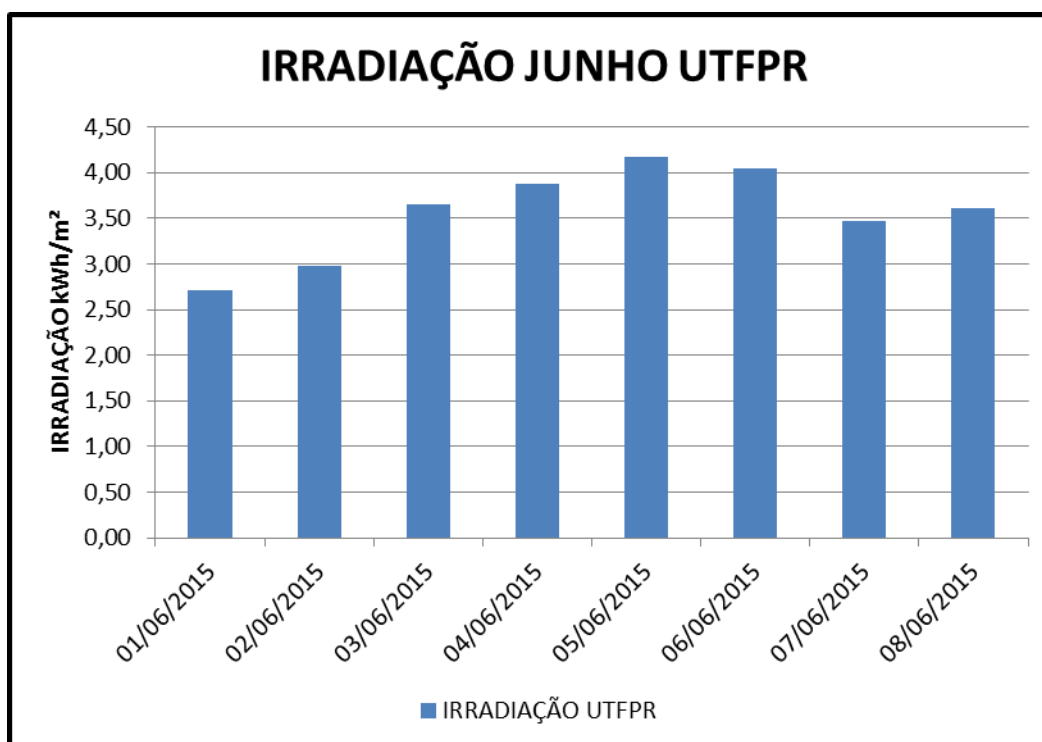
Os dados diários do mês de Junho não estavam disponíveis no sistema do INMET e por este motivo foram apresentados os dados medidos e o valor histórico

médio disponível no sistema do INPE que faz parte do banco de dados de irradiação global horizontal para o mês de Junho do Atlas Brasileiro de Energia Solar (2006).

DIA DE REFERENCIA	IRRADIAÇÃO (H) MEDIDA kWh/m <sup>2</sup>
01/06/2015	2,72
02/06/2015	2,97
03/06/2015	3,65
04/06/2015	3,88
05/06/2015	4,17
06/06/2015	4,05
07/06/2015	3,47
08/06/2015	3,62
<b>IRRADIAÇÃO MÉDIA Gmd (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>3,57</b>

**Tabela 4 Irradiação média do mês de Junho**  
Fonte: Acervo da Autora.

No mês de Junho, como pode ser observado na tabela 4, encontrou-se um erro de 14% entre a irradiação média calculada de 3,57kWh/m<sup>2</sup> e a média histórica de 3,08 kWh/m<sup>2</sup> disponível no INPE. A figura 95 mostra que assim como no mês de Maio, o mês de Junho apresentou diferenças na irradiação devido a variações atmosféricas.



**Figura 95 Irradiação Junho UTFPR**  
Fonte: Acervo da Autora

## 5. CONCLUSÕES

Para construção deste trabalho analisou-se o comportamento da radiação solar, dando enfoque de como esta incide na superfície terrestre e constatou-se que a reflexão e a difração da luz são os maiores responsáveis pela atenuação da irradiância solar, e que dias nublados e chuvosos são os dias onde estes efeitos são mais atenuados. Através dos gráficos mostrados neste trabalho pode-se notar uma diferença de 75% entre a irradiância de um dia ensolarado e um dia nublado. Outro ponto importante que também pode ser extraído dos mesmos gráficos é que a irradiância máxima, em um dia sem nuvens, sempre ocorrerá próximo ao meio dia, pois neste horário o ângulo de incidência da luz solar é perpendicular.

A segunda meta deste trabalho foi comparar os dados de irradiância disponíveis no INMET e a irradiância medida durante a confecção deste trabalho, comparando o mês de Maio com os dados obtidos na UTFPR chegou-se a praticamente a mesma irradiação média durante o período estudado. Porém comparando os dados diários chegou-se a uma diferença de até 14%. Para o mês de Junho não foi possível obter dados a respeito da irradiação solar com o INMET. Entretanto foi possível comparar os dados medidos na UTFPR com a média histórica disponível no sistema do INMET. Os erros obtidos podem ser considerados baixos levando em consideração o maior número de equipamentos disponíveis para o INMET e o maior volume de dados obtidos pelo seu sistema.

Todos os objetivos propostos para este trabalho foram concluídos já que o sistema está instalado e coletando dados. Este trabalho deixa como meta para os estudos futuros a coleta contínua dos dados de irradiância a fim de observar o comportamento diário da incidência solar bem como os valores de irradiação ao longo do tempo para um estudo anual da irradiação sobre a UTFPR – Câmpus Curitiba - Sede Centro.

## 6. REFERENCIAS

ABENS – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR. Disponível em: < <http://www.abens.org.br/novo/apresentacao/historico/>>. Acesso em 01 Novembro 2014.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em 03 de Novembro de 2014.

APS METALURGIA. Disponível em < <http://www.apsmetalurgia.com.br/>>. Acesso em 25 de Janeiro de 2015.

CAMPBELL. Disponível em: < <https://www.campbellsci.com/cr1000>>. Acesso em 01 de Novembro de 2014.

CEPTEC. Disponível em < <http://www.cptec.inpe.br>>. Acesso em 04 de Novembro de 2014.

DATASHEET CMP3. Disponível em <<http://www.kippzonen.com/Product/11/CMP-3-Pyranometer#.VVWEAfIViko>>. Acesso em 10 de Maio de 2012.

GUIMARÃES, Ana Paula Cardoso. **Estimativa de Parâmetros da Camada Atmosférica para Cálculo da Irradiação Solar Incidente na Superfície Terrestre – Tese de doutorado**, Rio de Janeiro, 2003 XIX, 162 p.

HAMILTON, Calvin J., O Sol. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/ast/solar/portug/sun.htm>> Acessado em 15 de Maio de 2015 - UTPFR.

IANUSKA, Ramos Oliveira, **PRINCÍPIOS BÁSICOS DA INSTALAÇÃO DE UMA ESTAÇÃO SOLARIMÉTRICA - SONDA UMA VISÃO TEÓRICA E PRELIMINAR - PARTE I**. 9 p.

INSTRUCTION MANUAL - CMP/CMA SERIES. Disponível em: <<http://www.kippzonen.com/Product/11/CMP-3-Pyranometer>>. Acesso em 01 de Novembro 2014.

KIPP&ZONEN. Disponível em: <<http://www.kippzonen.com/>>. Acesso em 01 de Novembro de 2014.

KIPPZONEN\_INSTRUCTIONSHEET\_PYRANOMETER\_CMP3\_V1410 Disponível em: <<http://www.kippzonen.com/Product/11/CMP-3-Pyranometer>>. Acesso em 01 de Novembro de 2014.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Resenha Energética Brasileira – Exercício de 2012.** Brasília, 2013. 26 p. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/publicacoes/BEN/3\\_\\_Resenha\\_Energética/1\\_-\\_Resenha\\_Energetica.pdf](http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/publicacoes/BEN/3__Resenha_Energética/1_-_Resenha_Energetica.pdf)> Acesso em 01 de Novembro de 2014.

MARTINAZZO, Claudomir Antônio, **Modelos de Estimativa de Radiação Solar para a Elaboração de Mapas Solarimetricos – Tese de mestrado**, Porto alegre 2004, 201p

MARTINS, Fernando Ramos. PEREIRA, Enio Bueno. **MODELO BRASIL-SR, Publicação de 2005.** Disponível em: <[http://sonda.ccst.inpe.br/publicacoes/eventos/Workshop\\_Modelos\\_CPTEC\\_2005\\_FR Martins&EBPereira.pdf](http://sonda.ccst.inpe.br/publicacoes/eventos/Workshop_Modelos_CPTEC_2005_FR_Martins&EBPereira.pdf)>

NEOSOLAR. Disponível em: <<http://www.neosolar.com.br>>. Acesso em 02 de Fevereiro de 2015.

ODEBRECHT ENERGIA. **Desenvolvendo a Fonte Solar.** Disponível em: <<http://www.odebrechtenergia.com.br/pt-br/nossos-investimentos/usina-solar-arena-pernambuco/desenvolvendo-fonte-solar>>. Acesso em 05 Novembro de 2014.

PEREIRA, MARTINS, ABREU E RUTHER, Enio Bueno. Martins, Fernando Ramos. Abreu, Samuel Luna de. Ruther, Ricardo. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos, 2006. 64 p.

PINHO, João Tavares. GALDINO, Marco Antonio. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, 2014. 530 p.

RUTHER, Ricardo. **Edifícios solares fotovoltaicos**. Florianópolis, Labsolar, 2004

SOLAR ENERGY GUIDE – ENGLISH. Disponível em: : <  
<http://www.kippzonen.com/Product/11/CMP-3-Pyranometer>> acesso em 01 de  
Novembro de 2014.