



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

VANIA CARNEIRO RIBEIRO

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE UM COLETOR SOLAR PLANO USANDO
POLICARBONATO EM SUBSTITUIÇÃO AO VIDRO**

CAMPINA GRANDE – PARAÍBA

2015

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE UM COLETOR SOLAR PLANO USANDO
POLICARBONATO EM SUBSTITUIÇÃO AO VIDRO.**

VANIA CARNEIRO RIBEIRO

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Área de concentração em Fenômeno de Transporte e Energia, da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Mecânica.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Yoge Jerônimo Ramos da Costa.

Campina Grande – Paraíba

2015

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

R484a Ribeiro, Vania Carneiro.
Avaliação da eficiência de um coletor solar plano usando policarbonato em substituição ao vidro / Vania Carneiro Ribeiro. – Campina Grande, 2015.
105 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, 2015.

"Orientação: Prof. Dr. Yoge Jerônimo Ramos da Costa".
Referências.

1. Energia Solar – Engenharia Mecânica. 2. Aquecimento de Água.
3. Circulação Forçada. I. Costa, Yoge Jerônimo Ramos da. II. Título.

CDU 621:551.521.37(043)

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE UM COLETOR SOLAR PLANO USANDO
POLICARBONATO EM SUBSTITUIÇÃO AO VIDRO.**

VANIA CARNEIRO RIBEIRO.

Dissertação defendida e julgada em sua forma final para obtenção do
Título de Mestre em Engenharia Mecânica.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Yoge Jerônimo Ramos da Costa - UFCG (Orientador)

Prof. Dr. Celso Rosendo Bezerra Filho – UFCG (Membro interno)

Prof. Dr. Fernando Fernandes Vieira – UEPB (Membro externo)

Campina Grande – Paraíba

2015

DEDICATÓRIA

**Aos meus pais que compreenderam a
importância desta fase na minha vida acadêmica.**

Ao meu futuro, pois ainda há tempo.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a **Deus** e Nossa Senhora por estarem comigo todos os dias de minha vida, me dando forças para superar as dificuldades do dia a dia.

Meus pais **Omildo e Maria** por representarem os meus amigos verdadeiros, que sempre me apoiaram nas minhas decisões, espelho de pessoas que busco ser na minha vida.

Ao meu orientador Professor **Dr. Yoge Jerônimo Ramos da Costa**, que não só abriu as portas para esta minha caminhada, mas cuja dedicação e paciência (muita) foram fundamentais para concluí-la.

Aos Professores e colegas do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), sempre prestativos, que muito colaboraram com apoio nas mais diversas dificuldades.

A CAPES pelo apoio financeiro ao longo deste trabalho.

A todos que direta ou indiretamente colaboraram na execução deste trabalho.

RESUMO

A substituição de materiais feitos de vidro e metais por materiais poliméricos está crescendo de forma significativa e o policarbonato é um termoplástico amorfo e de alta transparência, mais leve que o vidro e possui uso bastante diversificado em sua cadeia produtiva. O presente trabalho consiste em um estudo experimental para comparação de eficiência de um sistema de aquecimento de água por energia solar, utilizando um coletor solar plano, operando em regime de circulação forçada. Para análise de tal comparação, serão testadas duas configurações: na primeira será utilizado o coletor solar plano com cobertura de policarbonato alveolar cristal com 4 mm de espessura. Para a segunda montagem experimental será utilizada o mesmo coletor plano, agora com a cobertura de vidro cristal também de 4 mm de espessura. A avaliação de desempenho se dará pela comparação da eficiência térmica para as condições anteriormente propostas (policarbonato e vidro). Para determinação da eficiência em cada um dos sistemas, serão utilizadas medições diárias das condições de insolação em W/m^2 (calor disponibilizado pelo sol), medições de vazão mássica do sistema a cada intervalo de tempo (10 minutos), e cálculo do calor ganho em cada intervalo de tempo pela placa de aquecimento pela diferença de temperatura inicial e final desta. Com esta avaliação espera-se definir a melhor montagem (policarbonato ou vidro) a ser utilizada para futuros projetos de coletores solares planos.

PALAVRAS-CHAVE: energia solar, aquecimento de água, circulação forçada.

ABSTRACT

The substitute materials made of glass and metal polymeric materials is growing significantly and the polycarbonate is an amorphous thermoplastic, high transparency, lighter than glass and has a highly diversified use in its supply chain. This work consists of an experimental study to compare the efficiency of heating system solar water using a flat solar collector, operating under forced circulation. For analysis of such a comparison will be tested two configurations: first the flat solar collector with coverage polycarbonate crystal with 4 mm thick is used for the second experimental set up is the same collector used now covering also crystal glass 4 mm thick. The performance evaluation will be done by comparing the thermal efficiency for the conditions previously proposed (polycarbonate and glass). To determine the efficiency of each system, daily measurements of insolation W/m^2 (available heat from the sun), mass flow measurements of the system at each time interval (10 minutes) and heat calculation in each time interval by the heating plate by the initial and final temperature difference of there. With this evolution is expected to set the best fitting (polycarbonate or glass) to be used for future solar flat plate collectors projects.

KEYWORDS: solar energy, water heating, forced circulation.

LISTA DE FIGURAS

		Pág.
Figura 3.1	O Sol.....	21
Figura 3.2.	Radiação Solar Global e seus Componentes.....	22
Figura 3.3	Movimento de Translação da Terra.....	23
Figura 3.4	Trajectoria Anual do Sol.....	24
Figura 3.5	Potencial de utilização de Energia Solar na Terra.....	24
Figura 3.6	Potencial de Energia Solar no Brasil.....	25
Figura 3.7	Potencial anual médio de energia solar em cada uma das cinco regiões brasileiras.....	27
Figura 3.8	Inclinação do Coletor Solar.....	28
Figura 3.9	Ângulo Azimutal da Superfície.....	29
Figura 3.10	Fluxo de Energia no Coletor Solar.....	31
Figura 3.11	O Mercado de Aquecimento Solar Brasileiro.....	34
Figura 3.12	Esquema de um Desenho do Sistema de Aquecimento Solar Residencial.....	39
Figura 3.13	Componentes dos coletores Solares Fechados.....	40
Figura 3.14	Coletor Solar Plano Aberto.....	41
Figura.3.15	Coletor Solar Plano Fechado.....	42
Figura 3.16	Coletor Solar com tubo de vácuo.....	42
Figura 3.17	Correlação entre tipos de Coletores Planos e Temperatura de Operação	43
Figura 3.18	Representação da orientação e inclinação do coletor solar.....	45
Figura 3.19	Exemplo esquemático de um sistema de aquecimento com trocador de calor.....	46
Figura 3.20	Modelo de um Reservatório vertical.....	48
Figura 3.21	Modelo de um reservatório horizontal.....	48
Figura 3.22	Esquema de instalação de um Sistema Passivo Direto.....	50
Figura 3.23	Esquema de instalação de um Sistema passivo indireto.....	50
Figura 3.24	Esquema de instalação de um Sistema Ativo Direto.....	51
Figura 3.25	Esquema de instalação de um Sistema Ativo Indireto.....	52
Figura 4.1	Laboratório Experimental de Máquinas Térmicas (LEMT).....	53

Figura 4.2	Piranômetro.....	54
Figura 4.3	Sistema de Aquecimento Solar Instalado para a configuração I	55
Figura 4.3	Sistema de Aquecimento Solar Instalado para a configuração II	55
Figura 4.4	Coletor Solar usado no experimento.....	56
Figura 4.5	Conexões na entrada do coletor solar.....	58
Figura 4.6	Conexão na saída do coletor solar.....	58
Figura 4.7	Detalhe dos termopares distribuídos na placa absorvedora.....	59
Figura 4.8	Reservatório Térmico.....	60
Figura 4.9	Bomba Centrífuga.....	61
Figura 4.10	Hidrômetro para regulação da vazão da bomba.....	62
Figura 4.11	Indicador de Temperatura, onde os termopares estavam interligados.....	63
Figura 4.12	Termo Higrômetro.....	63
Figura 5.1	Temperaturas de entrada, saída e variação de temperatura da água no coletor para a configuração I.....	67
Figura 5.2	Médias horárias da eficiência térmica para a configuração I.....	67
Figura 5.3	Radiação solar global (W/m^2) para a configuração I.....	68
Figura 5.4	Temperatura da água no reservatório térmico para a configuração I.....	69
Figura 5.5	Temperatura médias horárias nos 05 pontos da placa absorvedora para a configuração I.....	69
Figura 5.6	Temperaturas de entrada e saída e variação de temperatura da água no coletor para configuração II.....	70
Figura 5.7	Médias horárias da eficiência térmica para a configuração II....	71
Figura 5.8	Radiação solar global (W/m^2) para configuração II.....	71
Figura 5.9	Temperaturas da água no reservatório térmico para configuração II.....	72
Figura 5.10	Temperaturas médias horárias nos 05 pontos da superfície da placa absorvedora para configuração II.....	72
Figura 5.11	Média da eficiência Térmica para as duas configurações.....	74
Figura 5.12	Radiação solar global para as duas configurações.....	74
Figura 5.13	Cobertura de policarbonato.....	76

LISTA DE TABELAS

	Pág.
Tabela 3.0 Propriedades de alguns Termoplásticos	36
Tabela 3.1 Resultado Experimental dos Ensaios de Coberturas Transparentes.....	38
Tabela 5.0 Valores médios horários para os 05 dias de ensaios da configuração I.....	66
Tabela 5.1 Valores médios horários para os 05 dias de ensaios da configuração II.....	70
Tabela 5.2 Resultado das médias horárias para as duas configurações estudadas.....	73

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABRAVA	Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento.
ASTMD	American Society for Testing and Materiales
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
GREEN	Grupo de Estudos em Energia
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEA	Agência Internacional de Energia (International Energy Agency)
LEIAM	Laboratório de Eletrônica Industrial Acionamento de Máquinas
LEMT	Laboratório Experimental de Máquinas Térmicas
NBR	Normas Brasileiras
OMM	Organização Mundial de Meteorologia
PNAC	Plano Nacional de Alterações Climáticas
PNAEE	Plano Nacional de Ação para a Eficiência
PNALE	Plano Nacional de Atribuições de Licença de Emissão
PNMC	Política Nacional de Mudanças Climáticas
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia
REN 21	Relatório Global de Energia Renováveis de 2010
SHC	Programa de Refrigeração & Aquecimento Solar (Solar Heating na Cooling Programe)
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande

LISTA DE SIMBOLOS

LETRAS LATINAS

Ac	Área do Coletor
°C	Graus Celsius
Cp	Calor específico da água
GWth	Giga watt Térmico. (Produção de potência térmica por hora)
IG	Radiação solar global
m	Vazão mássica
K	Kelvin
Qútil	Calor útil fornecido no sistema
W/m ²	Watt por metro quadrado
%	Porcentagem
ΔT	Gradiente de temperatura entre entrada e saída do fluido
Te	Temperatura de entrada no sistema
Ts	Temperatura de saída no sistema
Text.	Temperatura externa ambiente
Tres.	Temperatura do reservatório
U.R	Umidade relativa
P.E	Peso específico da água
Rad/col.	Radiação solar incidente na área do coletor solar
Vol.(água)	Volume de água em intervalos de cada 10 minutos

LETRAS GREGAS

Θ	Latitude local
β	Inclinação do coletor Solar em Relação a Horizontal
ηt	Eficiência Térmica do coletor e/ou sistema
γ	Ângulo Azimutal de Superfície
Δ	Variação

SUMÁRIO

	Pág
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE ABREVIATURAS	xi
LISTA DE SÍMBOLOS	xii
1.0. INTRODUÇÃO	16
2.0. OBJETIVOS	19
2.1. Objetivo Geral.....	19
2.2. Objetivos Específicos.....	19
3.0. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
3.1 - Radiação solar.....	20
3.1.1 - Constante solar e as componentes da radiação solar.....	21
3.1.2 - Os movimentos da terra e as estações do ano.....	22
3.1.3 - Solarimetria.....	25
3.1.4 - Instrumentos de Medição da radiação Solar.....	26
3.1.4.1 - Piranômetros.....	26
3.1.5 - Avaliação do uso de energia solar para aquecimento de água no Brasil	26
3.1.6 - Os ângulos de incidência da radiação.....	27
3.1.6.1 - Ângulo de inclinação da superfície (β).....	28
3.1.6.2 - Ângulo azimutal de superfície (γ).....	29
3.1.7 - Fenômenos físicos envolvidos na conversão da energia solar.....	30
3.1.8 - Tipos de energia limpa.....	31
3.1.9 - Aproveitamento da energia solar.....	33
3.1.10 - Aproveitamento da energia solar no Brasil	33
3.2 - Policarbonato (PC).....	35
3.2.1 - Características e propriedades.....	36
3.3 - Vidro.....	37
3.4 - Funcionamentos dos sistemas de aquecedores solares.....	38
3.5 - Principais componentes dos coletores solares planos.....	39

3.6 - Principais Tipos de Coletores Solares utilizados para Aquecimento de Água	41
3.7 - Instalação dos coletores solares do tipo fechado ou coletores de placa plana	44
3.8 - Fluido térmico.....	46
3.9 - Reservatório térmico.....	47
3.10 – Fonte auxiliar de energia.....	48
3.11 - Sistemas de aquecimento de água por energia solar.....	49
3.11.1 - Sistema Passivo Direto.....	49
3.11.2 - Sistema Passivo Indireto.....	50
3.11.3 - Sistema Ativo Direto.....	51
3.11.4 - Sistema Ativo indireto.....	51
4.0. MATERIAIS E MÉTODOS	53
4.1 - Processo de Instalação do Sistema de Aquecimento de Água por Energia Solar.....	53
4.2 - Medições da Radiação Solar.....	54
4.3 – Sistema de aquecimento instalado	54
4.4 - Materiais e Equipamentos do Sistema de Aquecimento de Água.....	56
4.4.1 - Características Técnicas dos Equipamentos do coletor Solar.....	57
4.4.2 - Reservatório Térmico.....	59
4.4.3 - Bomba Centrífuga.....	61
4.5 - Instrumentos de medição e controle.....	61
4.5.1 - Hidrômetro.....	61
4.5.2 – Termopares.....	62
4.5.3 – Higrômetro.....	63
4.6 - Determinações da vazão da bomba para funcionamento do sistema ativo (circulação forçada).....	64
4.7 - Determinação do desempenho do sistema com circulação forçada (sistema ativo).....	64
4.8 - Análise do sistema de aquecimento de água.....	64
4.8.1 - Determinação da Eficiência Térmica do Sistema.....	65
5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	66
5.1 - Configuração I: Coletor solar plano fechado usando policarbonato para cobertura.....	66

5.2 – Configuração II: Coletor solar plano fechado usando vidro para cobertura.....	70
5.3 - Comparação entre as configurações estudadas.....	73
6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	77
7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79
APÊNDICES	
Apêndice A - Tabelas dos ensaios.....	84
Apêndice B - Gráficos da Radiação Solar Global.....	94
ANEXOS -	
Anexos A - Dados coletados pelo (LEIAM).....	100

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho insere-se no projeto final de mestrado em Engenharia Mecânica na opção de energia térmica. O atual contexto energético global incentiva novas utilizações das energias renováveis, bem como melhoria e difusão das soluções técnicas já conhecidas.

Uma das maiores fontes de energia renovável, senão a maior, é a energia solar, que além de influenciar outras fontes, como por exemplo, a energia eólica, irá ao futuro dar uma contribuição significativa, quer na redução do consumo de energéticos, derivados de petróleo quer na racionalização da utilização isto é, na melhoria da eficiência energética.

A energia solar se apresenta a cada dia como a grande solução energética para o planeta. É uma fonte inesgotável, totalmente limpa que promove a total preservação do meio ambiente, além de atender a todas as fontes consumidoras de forma gratuita.

Captando-se adequadamente a radiação solar, pode-se obter calor e eletricidade. O calor se alcança mediante coletores térmicos e a eletricidade através de módulos fotovoltaicos. Ambos os processos nada tem a ver entre si, nem quanto a sua aplicação prática. O calor capturado nos coletores térmicos pode, por exemplo, servir para aquecer a água para consumo doméstico, comercial e industrial.

A energia solar também pode ser aproveitada para o resfriamento, visto que, para gerar baixas temperaturas, é necessária uma fonte de calor que perfeitamente pode ter sua origem nos coletores solares.

Sabe-se, porém, que as tecnologias e as fontes energéticas usadas atualmente influenciarão significativamente o amanhã. E sabe-se claramente, que a maioria das tecnologias em uso não são ecologicamente apropriadas e está provocando danos irreversíveis à natureza, e por não serem renováveis, estão se esgotando rapidamente.

Neste contexto, as fontes solar, eólica e de biomassa abundantes e ecologicamente atrativas surgem como principais opções na substituição gradativa das energias sujas, principalmente por não poluírem e não contribuírem para o aquecimento global, além de que as energias renováveis possuem características que as tornam atrativas como: uso e produção descentralizada, envolvendo um grande número de produtores e consumidores e baixo custo de manutenção apesar do custo inicial relativamente mais alto comparado a sistemas convencionais.

Em relação à energia solar, Bezerra (2001) explica que cálculos efetuados por especialistas mostram que a energia solar incidente sobre um milésimo da superfície da terra com uma eficiência de apenas 1% representa oito vezes todo o consumo mundial de energia dos dias atuais, cerca de 12.000 TWh. Trata-se de uma energia que precisa ser mais explorada e utilizada pela humanidade.

De acordo com (ABRAVA, 2008) – Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento, o atual estágio de crescimento e desenvolvimento das nações exigindo uma crescente e muitas vezes insustentável exploração dos recursos naturais permite-nos criar e antever cenários nos quais o aquecimento solar venha a ser aproveitado em grande escala, principalmente no Brasil, que tem condições de se tornar uma referência mundial no aproveitamento do recurso solar. O Brasil tem um enorme potencial de aproveitamento da energia solar: praticamente todas as suas regiões recebem mais de 2200 horas de insolação por ano com um potencial de 15 trilhões de MWh, correspondente a 50 mil vezes o consumo nacional de eletricidade.

No Brasil, por ser um país tropical, esta fonte de energia encontra-se de forma bastante abundante em todo território Nacional, principalmente na região Nordeste, onde se estima que apresenta um alto nível de insolação ficando na ordem de 500 a 700 W/m² conforme (BEZERRA, 1986).

No Brasil a utilização de chuveiros elétricos para aquecimento de água é disseminada como em nenhum outro país do mundo. Esta prática se intensificou na década de 70, com a crise do petróleo e com o incentivo ao uso de equipamentos elétricos. Nesta mesma década o Brasil iniciou a construção de diversos empreendimentos hidrelétricos, havendo excedente de energia no mercado, e nenhuma preocupação eminente quanto ao uso destes chuveiros e de outros aparelhos consumidores de energia elétrica. Como resultado, os chuveiros elétricos são produzidos em larga escala e conseqüentemente possuem baixo custo inicial, além de apresentarem grande simplicidade de instalação. Esses fatores criaram condições para que tais equipamentos fossem largamente disseminados nas residências brasileiras. No entanto, em longo prazo, essa solução tecnológica traz uma série de malefícios para o setor de energia elétrica, principalmente nos horários de ponta, quando a demanda de energia elétrica atinge seu pico diário (ABRAVA, 2008).

Dados da CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais constantes em Figueredo (1990) indicam que o uso de chuveiro elétrico no Brasil atinge o horário de pico das 18h00min às 19h00min, quando em pelo menos 50% das unidades habitacionais, que dispõe

de chuveiro elétrico, existe pelo menos uma pessoa tomando banho, o que provoca uma demanda de aproximadamente 8,5% da demanda nacional de energia que está sendo utilizada neste horário. Estes dados indicam a utilização cada vez mais crescente de unidades habitacionais com sistemas de aquecimento de água por energia solar como sendo um caminho claro e viável para o alívio do sistema energético nacional. Sistema este cuja principal fonte de energia para geração de eletricidade no Brasil é a energia hidráulica, apesar de ser considerada uma fonte renovável e limpa, as usinas hidroelétricas produzem um impacto ambiental ainda não adequadamente avaliado devido ao alagamento de grandes áreas cultiváveis (STIVARI, 2005).

Segundo Fearnside (2005), estudos demonstram que gases do efeito estufa, principalmente o metano, são emitidos para a atmosfera em consequência de processos de degradação anaeróbica da matéria orgânica que ocorrem em áreas alagadas. Além disso, as principais bacias hidrográficas brasileiras com capacidade de geração hidroelétrica de alta densidade energética já estão praticamente esgotadas nos principais centros consumidores do país (PEREIRA et al., 2006).

Atualmente, neste primeiro trimestre de 2014, o país encontra-se na iminência de passar pela mesma dificuldade energética vivida em 2001, quando o setor energético enfrentou situações caóticas no fornecimento de energia elétrica, quando as capacidades de armazenamento nos reservatórios chegaram a índices alarmantes devido à falta de chuvas.

Nessa realidade atual, onde as fontes convencionais de geração de energia estão se tornando cada vez mais raras e, portanto caras, no sentido inverso, aumenta a importância do estudo na determinação de fontes alternativas baratas, renováveis e de baixo ou nenhum impacto ambiental. Portanto, fazer previsões sobre desenvolvimento da tecnologia solar no Brasil para o futuro não é tarefa impossível. Esta tecnologia tem uma presença bastante forte no país, o que permite a partir da realidade atual imaginar qual poderá ser o curso dos acontecimentos nas próximas décadas.

A proposta deste trabalho consiste em um estudo experimental para avaliar a eficiência térmica de um coletor solar plano fechado operando em regime de circulação forçada testando para duas configurações: na primeira, usará cobertura de policarbonato, e na segunda, utilizando o mesmo coletor solar plano usará a cobertura de vidro. Feito os testes experimentais, o desempenho deste coletor solar plano proposto será pela comparação da eficiência térmica entre estas duas coberturas (policarbonato ou vidro).

2.0 - OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a eficiência térmica de um coletor solar plano testando duas configurações: cobertura de policarbonato e posteriormente cobertura de vidro e comparativamente identificar qual das coberturas tem melhor resposta para o sistema proposto.

2.2 Objetivos específicos

Justificar a viabilidade da utilização do policarbonato para o fim proposto, caso este apresente eficiência superior a do vidro.

Avaliar as quantidades de calor ganho para as duas condições de cobertura do coletor.

3.0 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 - Radiação solar

A Energia Solar soma características bastante positivas para o sistema ambiental, pois o Sol, trabalhando como um imenso reator à fusão, irradia na terra todos os dias um potencial energético extremamente elevado e incomparável a qualquer outro sistema de energia, sendo a fonte básica e indispensável para praticamente todas as fontes energéticas utilizadas pelo homem na terra (SÁLES, 2008).

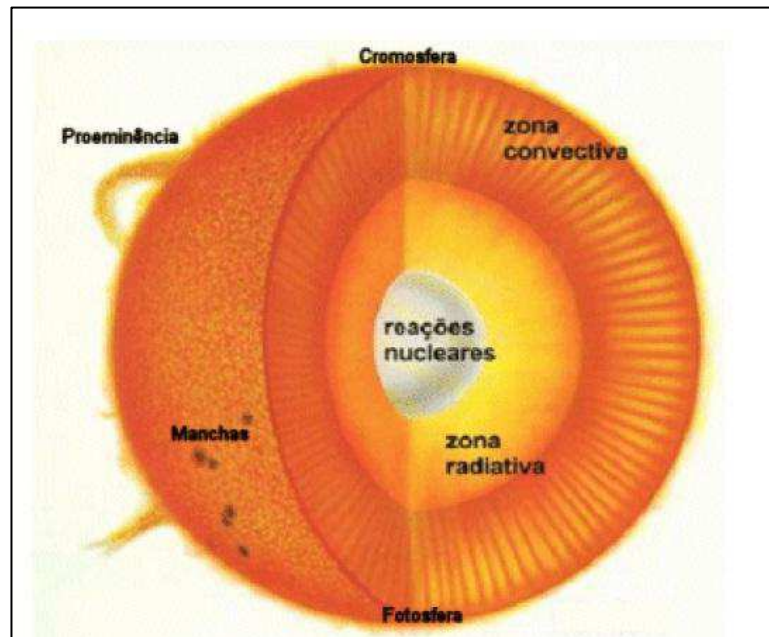
O Sol é a nossa maior fonte de energia, ela é gratuita e renovável. Explica (Frota e Schiffer, 2003), que a radiação solar é uma energia eletromagnética de onda curta, que atinge a terra após ser parcialmente absorvida pela atmosfera.

O Sol, nossa fonte de luz e de vida, é a estrela mais próxima de nós e a que melhor conhecemos. Basicamente, é uma enorme esfera de gás incandescente, em cujo núcleo acontece a geração de energia através de reações termonuclear.

O Sol é uma esfera de 695 000 km de raio e massa de $1,989 \times 10^{30}$ kg, cuja distância média da Terra é de $1,5 \times 10^{11}$ metros. Sua composição química é basicamente de hidrogênio e hélio, nas proporções de 92,1 e 7,8%, respectivamente (ABRAVA, 2008).

O modelo representado na Figura 3.1 mostra as principais regiões do sol. A fotosfera, com cerca de 330 km de espessura e temperatura de 5785 k, é a camada visível do sol. Logo abaixo da fotosfera se localiza a zona convectiva, se estendendo por cerca de 15% do raio solar. Abaixo dessa camada está a zona radiativa, onde a energia flui por radiação. O núcleo, com temperatura de cerca de 15 milhões de graus Kelvin, é a região onde a energia é produzida, por reações termonucleares. A cromosfera é a camada da atmosfera solar logo acima da fotosfera. Ela tem cor avermelhada e é visível durante os eclipses solares, logo antes e após a totalidade. Estende-se por 10 mil km acima da fotosfera e a temperatura cresce da base para o topo, tendo um valor médio de 15 mil km. Ainda acima da cromosfera se encontra a coroa, também visível durante os eclipses totais. A coroa se estende por cerca de dois raios solares (ABRAVA, 2008).

Figura 3.1 – O SOL



Fonte – Habitação mais sustentável (2007).

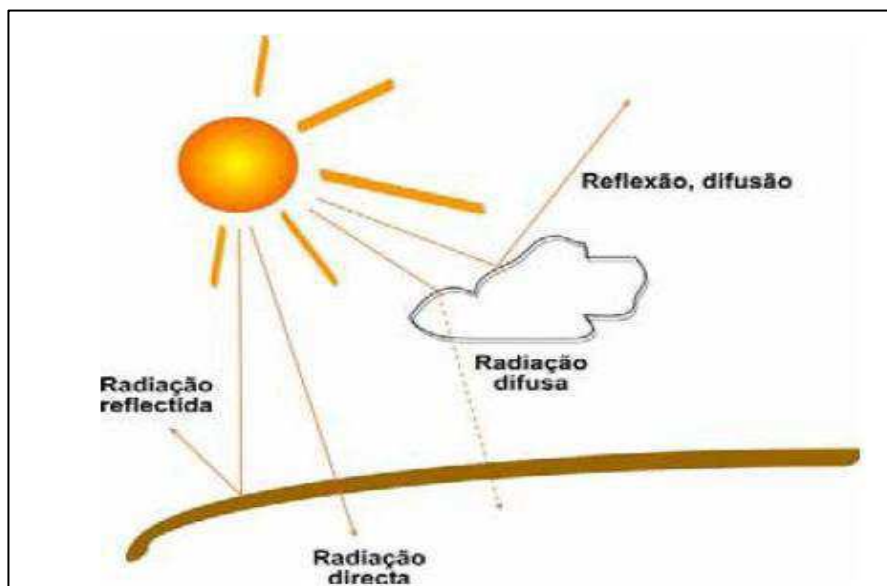
3.1.1 - Constante solar e as componentes da radiação solar

Segundo (VIANELLO e ALVES, 1991), a densidade de fluxo de energia solar (ou irradiância solar) que chega ao topo da atmosfera terrestre é expressa nas unidades de W/m^2 (razão da potência pela área). Um parâmetro usado para caracterizar a entrada de radiação solar na atmosfera é a constante solar, definida como a irradiância solar no topo da atmosfera. Seu valor pode ser estimado dividindo-se a emitância total do sol pela área de uma esfera cujo raio seja igual à distância média entre a terra e o sol. A irradiância solar que atinge o topo da atmosfera terrestre é variável ao longo do ano, em virtude dos efeitos astronômicos, principalmente aqueles ligados à órbita da Terra ao redor do sol. Ademais a intensidade de radiação emitida pelo sol é função do comprimento de onda e de fenômenos que ocorrem na própria fonte de energia (manchas solares, erupções solares, variações de temperatura na atmosfera solar).

Assim, a irradiação solar é decomposta em componentes como mostra a Figura 3.2 as diversas formas com que a irradiância solar se apresenta na superfície terrestre. A radiação solar global é a somatória das parcelas direta e difusa da irradiância solar. A parcela direta ela definida como a fração da irradiação solar que atravessa a atmosfera terrestre sem sofrer qualquer alteração em sua direção original e a difusa é a parcela que sofre um espalhamento

pelas nuvens e pelas partículas da atmosfera, sendo refletida na abobada celeste e nas nuvens e re-irradiada para a terra.

Figura 3.2 – Radiação solar global e seus componentes.



Fonte – Greenpro, (2004)

3.1.2 - Os movimentos da terra e as estações do ano

Além das condições atmosféricas, a disponibilidade de radiação solar, também denominada energia total incidente sobre a superfície terrestre, depende da latitude local e da posição no tempo (hora do dia e do ano), como mostra a Figura 3.3. Podem ser definidas essas influências como:

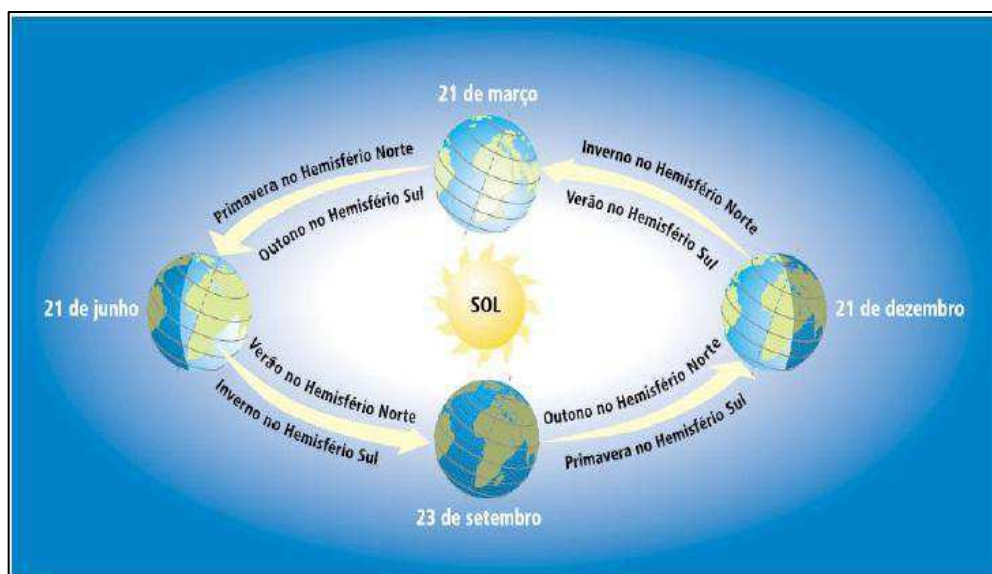
Condições atmosféricas: nebulosidade, umidade relativa do ar alteram a radiação disponível. Segundo (HUDSON; MERKELL 1985) este fato exerce reduzida influência porque a radiação que atinge a superfície terrestre é formada por radiação direta e difusa. De acordo com esses autores 10% da radiação que chega à superfície da terra em dias claros é a radiação difusa. Contudo, nos dias nublados, frequentemente toda radiação disponível é a difusa;

Latitude local: à medida que a latitude local aumenta, a área da superfície da terra que a mesma radiação atinge é maior, resultando numa menor concentração de radiação.

Posição no tempo: a cada hora do dia os raios solares atingem uma dada superfície sob diferentes ângulos. Desta forma, por um período do ano, o planeta expõe mais o hemisfério Sul à luz solar e por outro período ele expõe mais o hemisfério Norte.

Como o eixo polar possui uma inclinação de $23,45^\circ$ em relação à normal do plano da órbita terrestre, à medida que a terra orbita em torno do Sol, os raios solares incidem mais diretamente em um hemisfério do que no outro. Assim, há verão com dias mais longos e inverno com dias de menor duração (ABRAVA, 2008).

Figura 3.3 – Movimento de translação da Terra.



Fonte – ANEEL – Energia Solar, 2002.

No caso específico do Hemisfério Sul, os solstícios e equinócios são: Solstício de Verão 22 de dezembro, Equinócio de Outono 21 de março, Solstício de inverno 21 de junho e Equinócio de Primavera 23 de setembro.

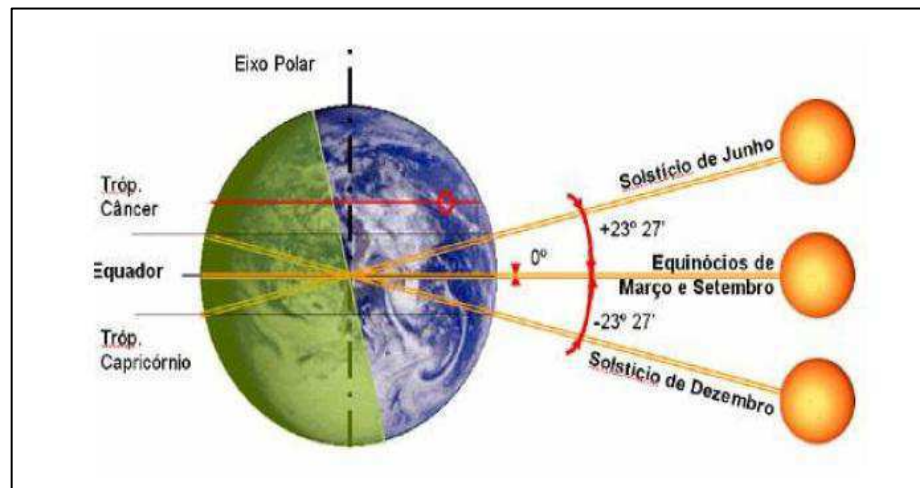
No solstício de inverno, que corresponde ao dia 21 de junho no Hemisfério Sul, temos a maior noite do ano. Para descrever a trajetória do sol no céu, é conveniente adotar um sistema de coordenadas fixo na terra e assumir que o sol se move em uma órbita circular em torno da terra. Neste caso, em ambos os equinócios, o sol encontra-se sobre o plano do Equador, correspondendo, assim, há dias e noites iguais, com 12 horas de duração (ABRAVA, 2008).

No solstício de verão, que ocorre em 22 de dezembro, o Sol encontra-se sobre o Trópico de capricórnio, sendo assim verão no Hemisfério Sul. Isto significa que neste dia, às 12 horas, o sol passa no ponto mais alto do céu. Este fenômeno é popularmente conhecido como “sol a pino”. Para um observador instalado no Equador, este ângulo será de $23,45^\circ$ ao Sul.

No solstício de inverno (21/06), o Sol encontra-se sobre o Trópico de Câncer, estando a $23,45^\circ$ a Norte, ao meio dia solar, em relação a um observador no Equador. Dessa forma,

considerando-se o movimento relativo do Sol em torno da terra, sua trajetória anual fica compreendida entre os trópicos de câncer e capricórnio, como mostra a Figura 3.4.

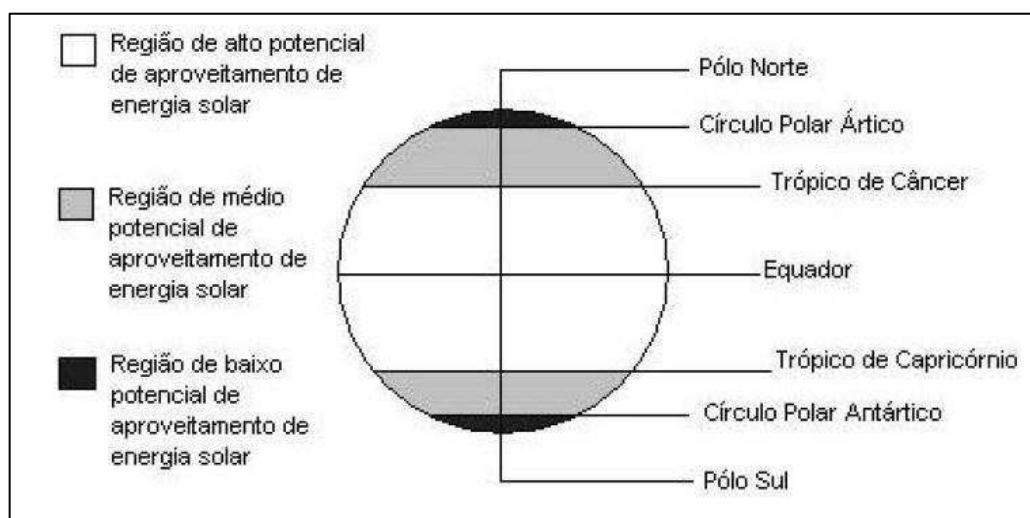
Figura 3.4 – Trajetória anual do Sol.



Fonte - Manual de Capacitação. (ABRAVA, 2008).

De acordo com o Manual de Energia Alternativa do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL, 2001), o potencial de aproveitamento da energia solar de uma determinada região é determinado, principalmente, em função de sua localização no Globo Terrestre. As regiões localizadas entre os círculos polares e os trópicos podem ser consideradas como de médio potencial de energia solar e as regiões localizadas entre as linhas tropicais podem ser consideradas de alto potencial. A Figura 3.5 representa esta situação.

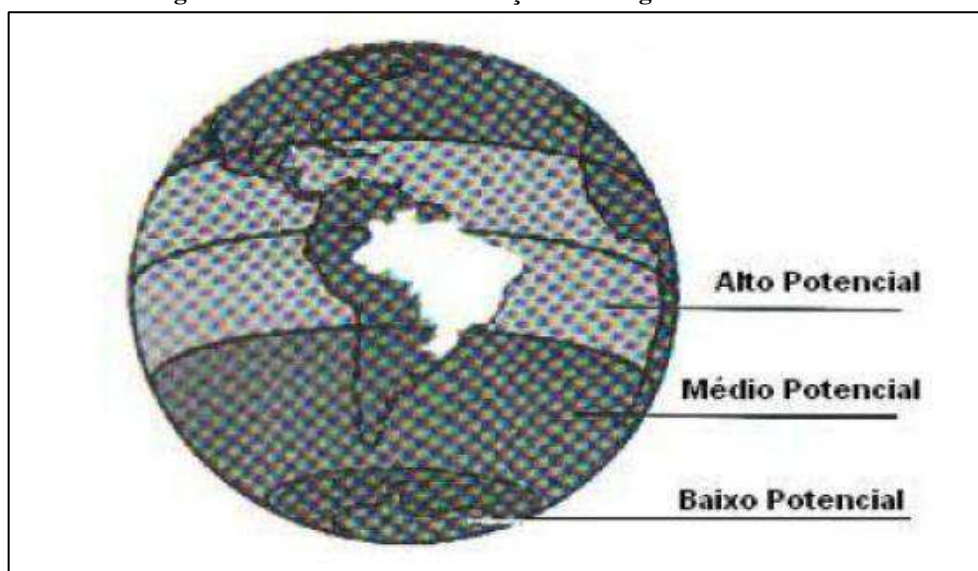
Figura 3.5 – Potencial de utilização de energia solar na terra.



Fonte - SÁLES, (2008).

O Brasil encontra-se em uma região entre o trópico e próximo à linha do Equador, privilegiando-se dos elevados índices solarimétricos fator determinante para o crescente aproveitamento solar. A Figura 3.6 mostra que o Brasil possui grande parte de seu território (cerca de 90%) na região considerada de alto potencial de energia solar.

Figura 3.6 – Potencial de utilização de energia solar no Brasil



Fonte - (SÁLES, 2008).

A maior parte do território brasileiro está localizada relativamente próxima à linha do equador, de forma que não se observa grandes variações na duração solar do dia. Neste contexto, torna-se evidente que o Brasil apresenta um dos maiores potenciais solares do mundo.

3.1.3 - Solarimetria

É o ramo da meteorologia que se dedica a medição de parâmetros relativos à radiação solar. Esses parâmetros, tais como números de horas de sol em um dia, insolação, (nº de horas de sol), radiação direta e radiação difusa, radiação global e em casos mais específicos a radiação em determinados comprimentos de onda são usados em diversas aplicações de diferentes áreas do conhecimento (PRADO et al., 2007).

Em particular, para o uso da energia solar para aquecimento de água, esses parâmetros são fundamentais, pois possibilitam estimar com precisão satisfatória, a quantidade de energia recebida e assim, dimensionar as instalações e equipamentos envolvidos no processo, como os coletores solares e os reservatórios de água quente, dentre outros (PRADO et al., 2007).

3.1.4 - Instrumentos de medição da radiação solar

A medição da radiação solar, tanto a componente direta, como a componente difusa na superfície terrestre é de maior importância para os estudos das influências das condições climáticas e atmosféricas. Com um histórico dessas medidas pode-se viabilizar as instalações de sistemas térmicos e fotovoltaicos em uma determinada região garantindo o máximo aproveitamento ao longo do ano, onde as variações da intensidade da radiação solar sofrem significativas alterações.

De acordo com as normas preestabelecidas pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM), são determinados limites de precisão para quatro tipos de instrumentos: de referência ou padrão, instrumentos de primeira, segunda e terceira classe. As medições padrões são: radiação global e difusa no plano horizontal e radiação direta normal.

3.1.4.1 - Piranômetros

Os Piranômetros medem a radiação global. Este instrumento caracteriza-se pelo uso de uma termopilha que mede a diferença de temperatura entre duas superfícies, uma pintada de preto e outra pintada de branco igualmente iluminada. A expansão sofrida pelas superfícies provoca um diferencial que ao ser medida, mostra o valor instantâneo da energia solar.

Outro modelo de Piranômetro é aquele que utiliza uma célula fotovoltaica de silício monocristalino para coletar medidas solarimétricas. Este Piranômetro é largamente utilizado, pois apresenta custo bem menor do que os equipamentos tradicionais. Pelas características das células fotovoltaicas, este aparelho apresenta limitações quando apresenta sensibilidade em apenas 60% da radiação solar incidente.

3.1.5 - Avaliação do uso de energia solar para aquecimento de água no Brasil

Segundo Rodrigues; Matajs, (2005), com média anual de 280 dias de sol e 15 trilhões de MWh de energia solar incidente no ano, o Brasil possui um enorme potencial para o desenvolvimento do mercado de aquecedores solar, como mostra a Figura 3.7 A região Nordeste, por exemplo, possui insolação comparada as melhores regiões do mundo. As outras regiões apesar de possuírem insolação média anual menor, ainda apresentam melhores índices

de radiação que muitos países que fazem uso intensivo da energia solar para aquecimento de água.

Figura 3.7 – Potencial anual médio de energia solar em cada uma das cinco regiões brasileiras.



Fonte - Atlas brasileiro de energia solar, (2006).

3.1.6 – Os ângulos de incidência da radiação

O movimento relativo entre o sol e a terra tem influência direta no posicionamento dos coletores solares. Para o melhor aproveitamento da radiação solar é necessário que os coletores sejam instalados com a inclinação e a orientação adequada. Desta forma é possível

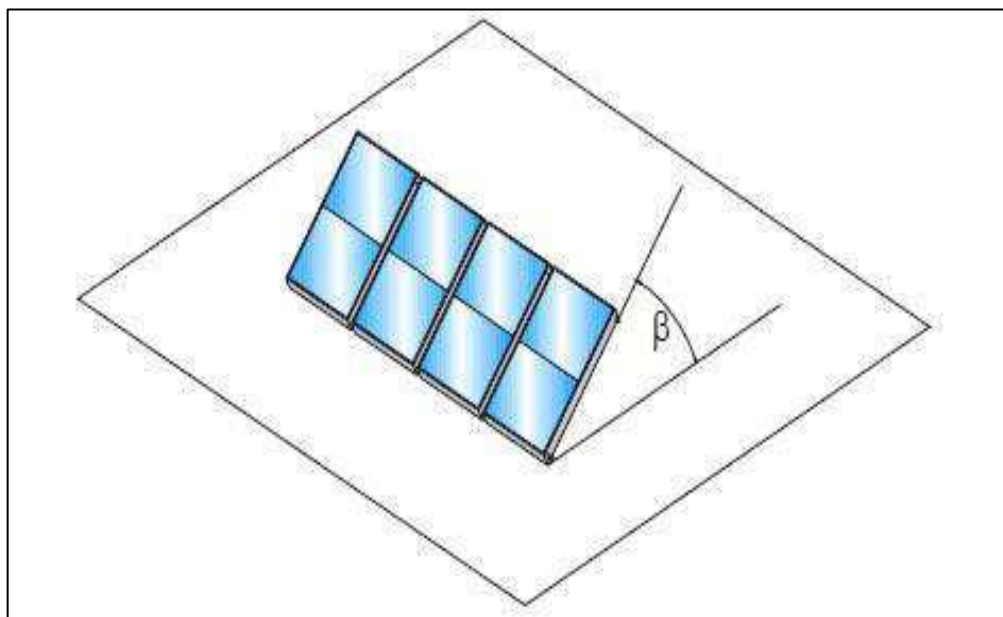
ter o bom funcionamento do sistema com menores custos de instalação e maior rendimento mensal.

A inclinação e orientação do sistema dependem da localização geográfica da instalação. Ao instalar os coletores com o posicionamento adequado consegue-se maior período diário de insolação sobre as placas e conseqüentemente maior captação da radiação solar em determinadas épocas do ano.

3.1.6.1 - Ângulo de inclinação da superfície (β)

É o ângulo formado entre o plano do coletor e o plano horizontal de referência conforme (Figura 3.8).

Figura 3.8 – Inclinação do coletor solar



Fonte - Manual de Capacitação (ABRAVA, 2008)

No caso de instalações solares para aquecimento de água é recomendado que os coletores tenham uma inclinação fixa. A mudança na inclinação destes coletores ao longo do ano seria muito complexa em função de uma série de tubulações que deveriam ser deslocadas ocasionando aumento de manutenção e problemas como o surgimento de sifões. Desta forma existem alguns critérios utilizados na escolha da inclinação que normalmente coincidem, mas nem sempre com inclinação dos telhados de residências.

Os critérios adotados são:

Média anual: o cálculo da inclinação média entre os solstícios de inverno e verão coincide com a própria latitude local.

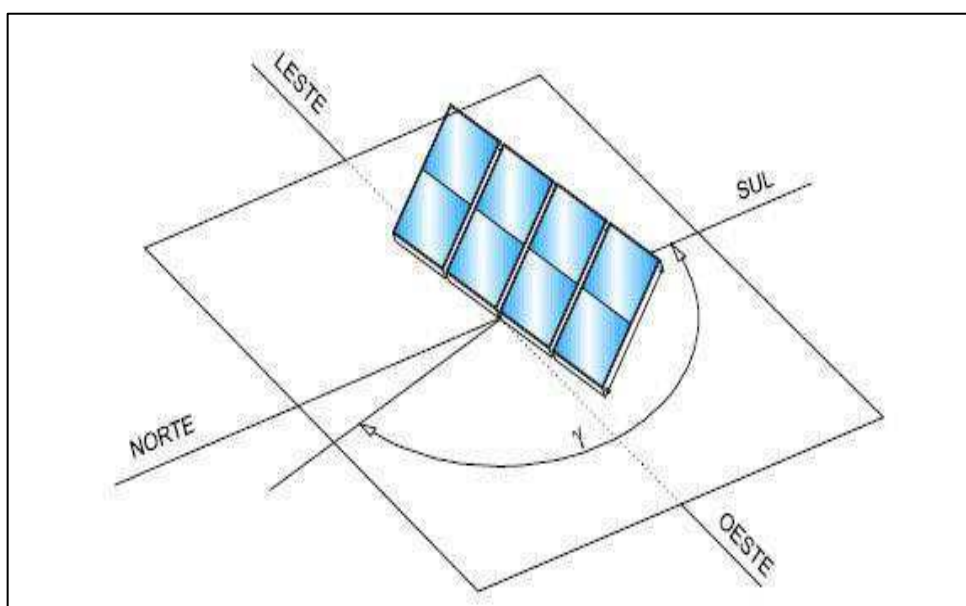
Favorecimento do inverno: como normalmente o consumo de água quente no inverno aumenta recomenda-se utilizar como inclinação a latitude local mais 10°.

Para casos específicos como períodos críticos de insolação ou períodos de pico de demanda de água quente, devem-se ter um projeto que atenda da melhor forma essas exigências.

3.1.6.2 - Ângulo azimutal de superfície (γ)

É o ângulo formado entre a projeção da normal a superfície, e o plano do meridiano local. Para o sul é zero, para o leste é negativo e para o oeste é positivo ($-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$), como mostra a Figura 3.9.

Figura 3.9 – Ângulo azimutal de superfície



Fonte - Manual de Capacitação ABRAVA, (2008).

A orientação dos coletores deve ser feita de forma a direcionar a superfície do coletor para o Norte. Cabe destacar que a referência é o norte geográfico e não o norte magnético indicado por bússolas e GPS, devendo ser feita uma correção em função do local da instalação quando forem utilizados estes tipos de instrumentos. O ângulo γ é também conhecido como ângulo de desvio do norte geográfico. A partir da indicação do norte magnético pela bússola deve-se fazer a correção da declinação magnética de acordo com o local da instalação.

3.1.7 - Fenômenos físicos envolvidos na conversão da energia solar

Formas de transferência de calor entre duas fontes.

Calor é a energia que é transferida entre um sistema e seu ambiente devido a uma diferença de temperatura que existe entre eles. A transferência de calor pode ocorrer através da condução, convecção ou radiação (COELHO, 2011).

Condução: é a transferência de calor por contato direto entre as partículas de dois corpos com temperaturas diferentes. Ocorre quando o calor é transferido através de um sólido de uma região de temperatura mais elevada para outra região com temperatura mais baixa. Os principais meios condutores sólidos utilizados em coletores solares são o cobre e o alumínio.

Convecção: ocorre em função da diferença de densidade entre líquidos, fluídos e gases. As correntes de convecção são formadas pelo deslocamento de massas mais quentes que tendem a subir e massas mais frias que tendem a descer.

Radiação: a radiação é consequência da energia interna dos corpos, sendo diretamente proporcional a sua temperatura.

Seja para aquecimento de água a baixa temperatura para fins sanitários ou alta temperatura para a produção de vapor para a geração de eletricidade, o coletor solar tem papel fundamental. Deve-se buscar maximizar a energia incidente nos coletores e minimizar as perdas térmicas. A eficiência térmica dos coletores solares (η) é dada pela razão entre a taxa de transferência de calor para a água denominada calor útil ($Q_{\text{útil}}$) e a taxa de energia solar (IG) incidente na área do coletor solar (A_c), conforme mostra a equação (1).

$$\eta = \frac{Q_{\text{útil}}}{IG \cdot A_c} \quad (1)$$

Onde:

η = é a eficiência térmica do coletor (%)

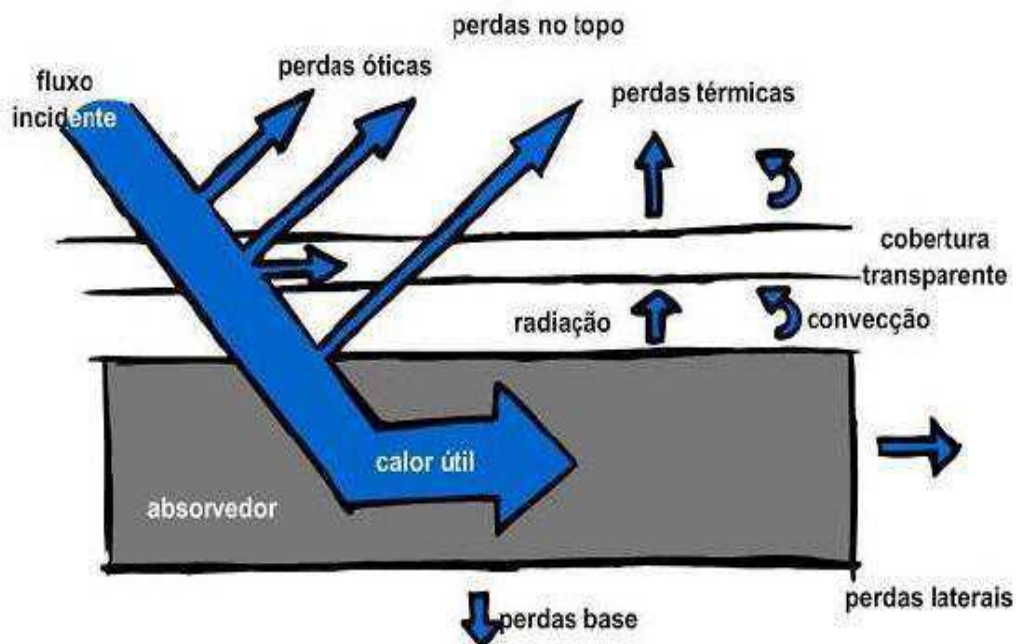
$Q_{\text{útil}}$ =calor útil (kW)

IG = taxa de energia solar (W/m^2)

A_c = área do coletor (m^2)

A Figura 3.10 mostra o fluxo de energia no coletor solar. A energia incidente sofre perdas óticas e térmicas por radiação, convecção e condução.

Figura 3.10 – Fluxo de energia no coletor solar



Fonte - Manual de Capacitação (ABRAVA, 2008).

A radiação solar incidente nos coletores pode ser transferida, refletida e absorvida. Logo, as perdas óticas estão associadas às propriedades de transmissividade, refletividade e absorvidade. Sendo assim, a energia incidente pode ser considerada como o somatório da energia absorvida, transmitida e refletida.

A absorvidade é definida como sendo a fração da energia incidente que é absorvida pela superfície da placa. A refletividade é a parcela da energia incidente que é refletida pela placa. E por fim a transmissividade é definida como a parte da energia irradiada transmitida através do meio semitransparente.

As perdas térmicas por convecção ocorrem quando há transferência de energia entre uma superfície sólida e um fluido em movimento submetido a uma diferença de temperatura entre eles.

3.1.8 - Tipos de energia limpa

A energia limpa é renovável e alternativa, a renovável se refere a toda energia produzida através de fontes que ocorrem repetidamente na natureza, à energia alternativa se refere a fontes não convencionais. Hoje as energias renováveis estão deixando de ser uma promessa e transformando-se em realidade.

O Brasil possui um dos maiores potenciais de energia renovável do mundo.

A energia está presente em toda a matéria. O que difere uma da outra é a facilidade como podemos acessá-la, e os impactos causados pela sua utilização. Fontes de energia limpa tendem a apresentar menor impacto ao ambiente.

Hoje são classificadas como energia renovável as seguintes fontes de energia: hídrica, eólica, geotérmica, biomassa, solar, marítima.

As tecnologias de conversão da energia solar mais difundida hoje são a térmico-solar e a fotovoltaica. No Brasil a tecnologia fotovoltaica, conversão de energia solar em eletricidade, é pouco usada, sendo principalmente utilizada em comunidades isoladas através dos incentivos do programa do governo “Luz para Todos” e em rodovias para abastecimento de unidades remotas de iluminação e controle.

A tecnologia térmica-solar, que consiste na captura da radiação solar e conversão em calor é mais difundida no Brasil, sua principal aplicação está voltada para as residências, hotéis e na indústria.

O Brasil neste cenário:

O Brasil pode ter sua matriz energética majoritariamente limpa até 2050. É o que mostra a 3ª edição do Relatório [R] evolução Energética elaborada pelo Greenpeace em agosto de 2013.

A participação das fontes renováveis pode ser 47% maior na matriz energética brasileira nos próximos 40 anos do que o projetado pela política atual do governo. Segundo o Relatório [R] evolução Energética divulgado em 2013 pelo Greenpeace a matriz pode contar com 66,5% de fontes como vento, sol e biomassa para alimentar setores elétrico, industrial e de transporte em 2050.

Em sua 3ª edição o [R] evolução Energética propõe uma matriz energética limpa e sustentável com base nos recursos disponíveis e tecnologias atuais. Este cenário atende a necessidade futura de energia para o país e concilia crescimento econômico com preservação ambiental.

O Brasil precisa transformar essa vantagem comparativa em vantagem competitiva, e para isso precisamos apoiar regulamentações internacionais que subsidiem um crescimento com menos impactos ao nosso entorno. O protocolo de Kyoto deu início a este caminho, mas apresenta uma grande necessidade de alterações e implementações para tornar-se um mecanismo mais efetivo.

3.1.9 - O aproveitamento da energia solar

Segundo (ALDABÓ, 2002), o maior desafio para o projetista de sistemas de aproveitamento de energia solar consiste no estudo e previsão da irradiância solar, nos meios utilizados para capturar essa energia e na forma de armazenamento. Também afirma que a quantidade de energia incidente sobre uma superfície plana de um metro quadrado no período de um dia não é muito quando comparado com a intensidade de outras fontes conhecidas de energia, dessa forma, o sistema de energia solar necessita de coletores espalhados por uma grande área para que seu rendimento seja razoável.

De acordo com Pereira et al. (2006), no ABES, a média diária da irradiância solar, no plano horizontal disponível no Brasil varia de 4,25 Wh/m² por dia, em alguns locais da região Sul, e até 6,5 Wh/m² no interior da região nordeste. O aproveitamento dessa energia tem sido principalmente pelo uso de painéis fotovoltaicos e de aquecimento de água para o consumo, mas ainda é muito pequena a parcela de aproveitamento da energia solar, em contrapartida ao grande potencial existente no país.

3.1.10 - O aproveitamento da energia solar no Brasil

O Brasil possui um dos maiores e melhores potenciais energéticos do mundo. Com cerca de 8,5 milhões de quilômetros quadrados, e mais de 7 mil quilômetros de litoral, mas apenas duas fontes energéticas tem sido extensivamente aproveitadas, hidráulica e petróleo. Cerca de 78% do suprimento de energia elétrica do país provém de geração hidráulica.

Segundo (KASTRUP, 2006), das fontes de energia renováveis disponíveis atualmente no mundo, a que melhor se adapta ao Brasil como fonte primária é a solar, devido à situação privilegiada do país em relação à incidência de raios solares.

Por ser um país localizado na sua maior parte na região intertropical, o Brasil possui grande potencial de energia solar durante todo o ano.

Segundo (PEREIRA, 1997), a utilização da energia solar poderia trazer benefícios em longo prazo para o país, viabilizando o desenvolvimento de regiões remotas, regulando a oferta de energia em situações de estiagem e reduzindo as emissões de gases poluentes à atmosfera como estabelece o Protocolo de Kyoto.

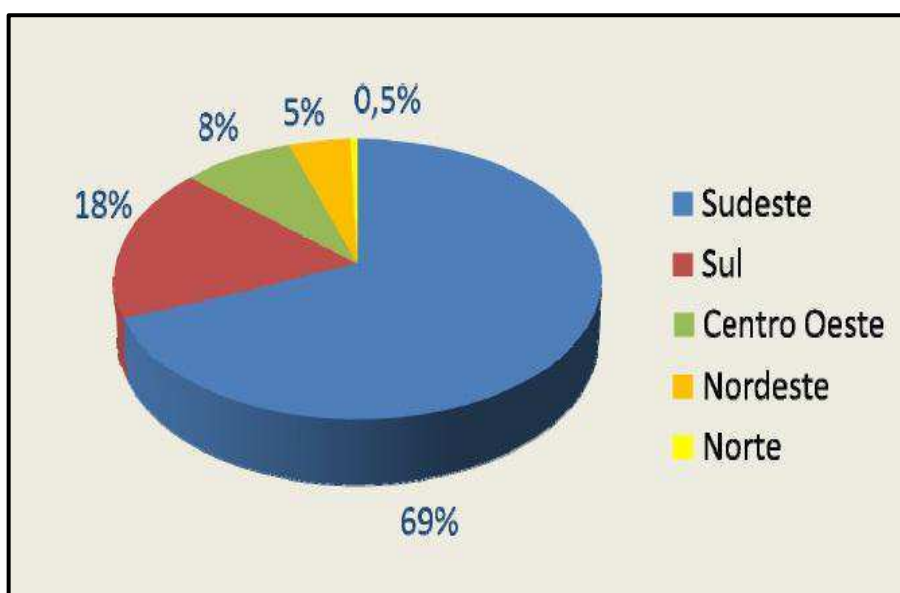
Segundo (ABRAVA 2001), a tecnologia do aquecedor solar já vem sendo usada no Brasil desde a década de 1960, época em que surgiram as primeiras pesquisas, sendo que em

1973 empresas passaram a utilizá-las comercialmente. O mercado brasileiro de aquecimento solar teve seu crescimento em números consideráveis nos meados da década de 1970 com a crise do petróleo.

O aquecimento solar será uma das principais tecnologias renováveis no Brasil nos próximos anos, contribuindo assim com a Política Nacional de Mudanças Climáticas (PNMC), que estabelece meta de redução voluntária entre 36,1% e 38,9% na emissão brasileira de gases de efeito estufa até 2020. A iniciativa envolve o Procobre - Instituto Brasileiro do Cobre, a Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação (ABRAVA, 2008), a Agência de Cooperação Técnica Alemã – Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), a Renewable Energy and Energy Efficiency Partnership (REEEP) e o Instituto Ekos do Brasil.

Segundo o Relatório Global de Energia Renováveis de (2010) REN 21 o Brasil já é o quarto maior mercado de aquecedores solares do mundo, ficando atrás da China, Turquia e Alemanha. A título de comparação, segundo as estatísticas publicadas pela Associação da Indústria Solar Alemã (BSW – Solar), foram instaladas em 2010, 1,15 milhões de metros quadrados de coletores solares na Alemanha, sendo que quase 50% das novas instalações foram sistemas combinados para aquecimento de calefação. Com isto, o país acumula uma área de coletores de 14 milhões de metros quadrados. A Figura 3.11 mostra a divisão do mercado de aquecimento solar brasileiro, com a região sudeste sendo o maior mercado, com 69%.

Figura 3.11 – O Mercado de Aquecimento Solar Brasileiro.



Fonte – ABRAVA, (2010)

Em todo o mundo existem vários programas desenvolvidos que visam medidas concretas e até mesmo de caráter obrigatório, de modo a atingir as metas para sustentabilidade tais como, por exemplo, Plano Nacional de Alterações Climáticas (PNAC), Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE), e Plano Nacional de Atribuições de licenças de Emissão (PNALE), esses planos inclusive o Protocolo de Kyoto em nível mundial, vão ao encontro de uma filosofia ambientalista que tem como objetivo a sensibilização da população para a redução da emissão de gases que causam o efeito estufa, racionalização da energia e desenvolvimento e implementação de sistemas que contribuam para estas alterações.

Em 2009 o Brasil lançou o Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações – PROCEL EDIFICA, este programa visa contribuir as bases necessárias para racionalizar o consumo de energia nas edificações no Brasil. Essas ações foram organizadas e ampliadas com o objetivo de incentivar a conservação e o uso eficiente dos recursos naturais (água, luz, ventilação etc.) nas edificações, reduzindo os desperdícios e os impactos sobre o meio ambiente. O consumo de energia elétrica nas edificações corresponde à cerca de 45% do consumo faturado no país. Estima-se um potencial de redução deste consumo em 50% para novas edificações e 30% para aquelas que promoverem as reformas que contemplem os conceitos de eficiência energética em edificações. O PROCEL EDIFICA, vem trabalhando através de seis vertentes de atuação: Capacitação, Tecnologia, Disseminação, Regulamentação, Habitação, Eficiência Energética e Planejamento.

3.2 - Policarbonato (PC)

Também conhecido como: Durolon, Makrolon, Lexan e Polyhard, o policarbonato é um termoplástico de engenharia composto de uma resina resultante da reação entre derivados do ácido carbônico e o bisfenol A. Mantém a sua resistência ao impacto numa larga escala de temperatura e mesmo em condições ambientais severas, suporta temperaturas desde os -50° até + 135° e tem boas propriedades ópticas aliadas à alta resistência a exposição solar (radiação UV).

O policarbonato é relativamente novo, é na verdade um dos mais avançados polímeros no campo dos plásticos, sendo considerado um plástico de engenharia, ou seja, um material que reúne características de resistência que o qualifica para aplicações de alta exigência. Possui garantia de 10 anos contra amarelecimento e tratamento anti-UV em um dos lados da chapa.

3.2.1 - Características e propriedades

O policarbonato é semelhante ao vidro, caracteriza-se por possuir alta transparência, que pode chegar acima de 90%. Essa transparência é conseguida graças à sua estrutura amorfa. Dentre todos os termoplásticos, o policarbonato é o que possui maior resistência ao impacto, sem qualquer aditivação, a não ser os elastômeros.

A produção das chapas utiliza a alta tecnologia da coextrusão, a qual aumenta a resistência aos raios ultravioletas solares.

O peso molecular varia de 10000 a 30000 g/mol, e sua densidade é 1,2 g/cm³ a 23°C, segundo a Norma ASTM D 792.

A T_g, temperatura de transição vítrea ou de amolecimento vicat, a qual se refere a mobilidade molecular das regiões amorfas é de 150°C, permitindo aplicações onde a temperatura de trabalho chegue a 130°C, e a raios ultravioletas.

A T_m, temperatura de fusão cristalina, a qual se refere à mobilidade molecular das regiões cristalinas é de 268°C. A tabela 3.0 mostra algumas das propriedades dos termoplásticos.

Tabela 3.0 – Propriedades de alguns termoplásticos de Engenharia.

Material	Densidade	Resistência à tração (× 1.000 psi)*	Resistência ao impacto Izod (ft.lb/pol)**	Resistência dielétrica (V/mll)***	Temperatura máxima de uso (sem carga) em °F	Temperatura máxima de uso (sem carga) em °C
Nylon-6,6	1,13-1,15	9-12	2,0	385	180-300	82-150
Poliacetal, homo.	1,42	10	1,4	320	195	90
Policarbonato	1,2	9	12-16	380	250	120
Poliéster-PET	1,37	10,4	0,8	...	175	80
Poliéster-PBT	1,31	8,0-8,2	1,2-1,3	590-700	250	120
Óxido de Polifenileno	1,06-1,10	7,8-9,6	5,0	400-500	175-220	80-105
Polisulfona	1,24	10,2	1,2	425	300	150
Sulfeto de Polifenileno	1,34	10	0,3	595	500	260

Fonte – ATP Engenharia Física, (2015).

3.3 - Vidro

O vidro é resultado da fusão de diversas matérias-primas inorgânicas minerais, as quais depois de submetidas a um processo de resfriamento controlado transformam-se em material rígido, homogêneo, estável, inerte, amorfo e isotrópico, sendo sua principal característica, ser moldável a uma determinada temperatura sem qualquer tipo de degradação. A principal fonte de matéria-prima para a produção é o óxido de silício ou a sílica, obtida geralmente por extração convencional, tanto de origem marinha como fluvial, ou de jazidas naturais.

Um vidro produzido à base de sílica pura apresentaria um ponto de fusão muito elevado (1800°C), o que exigiria formas especiais tornando-o inviável economicamente, e alta solubilidade causando baixa resistência química. Assim, adicionam-se à sílica elementos químicos, tais como, o óxido de sódio (Na_2O) e/ou potássio (K_2O) para reduzir a temperatura de fusão da sílica, óxido de cálcio (CaO), óxido de magnésio (MgO) ou óxido de alumínio ou alumina (Al_2O_3) a fim de aumentar a resistência química e mecânica do vidro. Os materiais são extraídos de jazidas naturais (COLTRO, 2007).

No sistema solar de água em estudo também possui placa de vidro do tipo cristal float. O cristal float é um vidro plano transparente, sem distorções ópticas, com espessura uniforme e massa homogênea. O vidro float é ideal para aplicações que exigem perfeita visibilidade e alta transmissão de luz. A cobertura de um coletor solar tem importante papel na sua eficiência, a sua função é a de reduzir as perdas de calor, enquanto deve deixar passar a maior quantidade de radiação solar possível. A cobertura reduz as perdas de calor de duas maneiras: primeiro ela reduz as perdas por convecção, evitando o contato direto do ar ambiente com a chapa absorvedora do coletor, e depois ela evita que a radiação térmica emitida pelo absorvedor saia livremente do coletor. Dessa forma, a cobertura produz o chamado efeito estufa. Até a alguns anos, no Brasil era comum encontrar coletores com diferentes tipos de vidro, como os vidros fantasia do tipo canelado, martelado, pontilhado e os vidros lisos.

GREEN (2012) realizou um estudo de diversos tipos de vidros que foram testados em relação a sua transmitância. Essa transmitância foi avaliada colocando-se chapas de vidros expostas ao sol e medindo-se a quantidade de radiação solar que estava chegando até o piranômetro. Ao se comparar a energia registrada em um piranômetro sem o vidro e outro sob a chapa de vidro, pôde-se comparar os dois valores e avaliar a transmitância do vidro e de outras coberturas de coletores solares.

Para avaliar o efeito que essa diferença na transmitância teria na produção final de energia, o estudo comparou os resultados dos diversos tipos de cobertura em relação à transmitância e em relação à produção média mensal que um determinado modelo de coletor produziria com tal cobertura. A tabela 3.1 extraída deste estudo mostra o resultado para diversos vidros tipo liso, fantasia e para o policarbonato.

Tabela 3.1 – Resultados Experimentais dos Ensaio de Coberturas Transparentes.

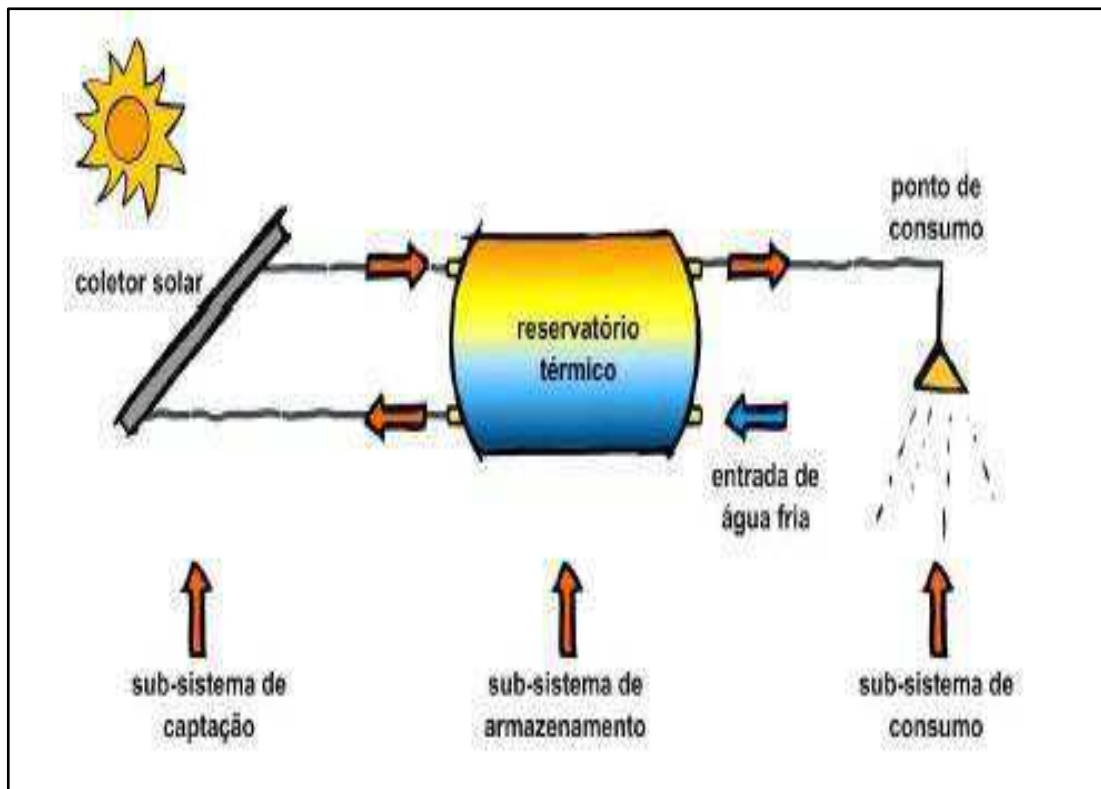
Vidros Novos			
Tipos	Transmitância Experimental %		Produção Mensal de Energia (kW/mês/m ²)
	Média	Máxima	
Liso 2 mm	86	87	78,1
Liso 3 mm	88	89	79,9
Liso 4 mm	84	85	74,7
Martelado	74	80	60,4
Canelado	77	79	67,3
Policarbonato	84	86	75,4

Fonte - Aquecimento solar de água (técnicas, práticas e aplicações).

3.4 - Funcionamento dos sistemas de aquecedores solares

O coletor solar é o responsável pelo aquecimento do fluido de trabalho que pode ser água, ar ou outro fluido térmico, através da conversão da radiação solar em térmica. Um sistema de aquecimento de água utilizando energia solar é geralmente composto por três sistemas básicos: captação, armazenamento e consumo conforme mostra a Figura 3.12.

Figura 3.12 – Esquema de um desenho do sistema de aquecimento solar residencial.



Fonte - Manual de Capacitação (ABRAVA 2008).

O sistema de captação é composto pelo coletor solar e as tubulações que ligam o coletor com o reservatório. No caso de instalações maiores é utilizada uma bomba hidráulica para fazer a circulação do fluido de trabalho, normalmente a água.

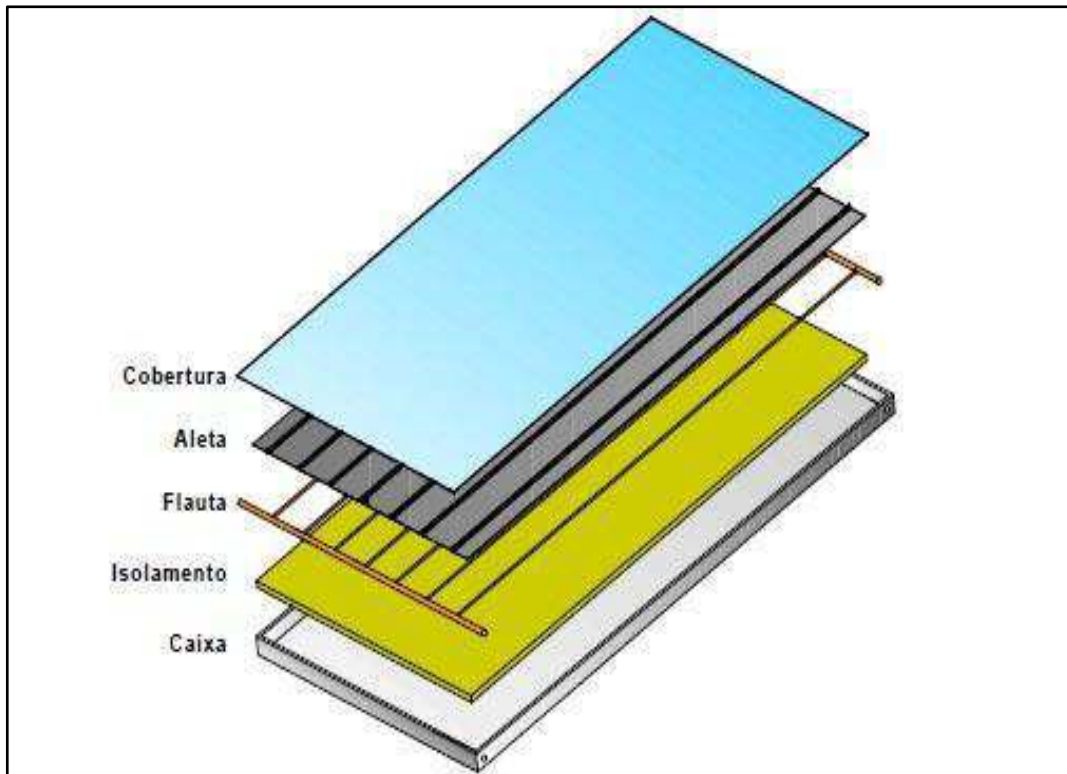
O sistema de armazenamento tem como principal componente o reservatório térmico, responsável por acumular a água quente para ser usado no momento em que há demanda. Além do reservatório existem os sistemas auxiliares que contribuem com o fornecimento de energia adicional em períodos de chuva, baixa insolação ou aumento da demanda. Normalmente é utilizado eletricidade ou gás no sistema auxiliar.

O sistema de consumo consiste na distribuição da água aquecida entre o reservatório térmico e o ponto de consumo. Conhecido também como circuito secundário.

3.5 - Principais componentes dos coletores solares planos

Os principais componentes dos coletores solares planos fechados são apresentados na Figura 3.13 abaixo:

Figura 3.13 – Componentes dos coletores solares fechados.



Fonte – SOLETROL, (2013)

Os coletores solares do tipo fechado, os mais utilizados no Brasil para fins sanitários, são constituídos pelos seguintes componentes:

Caixa Externa: estruturas fabricadas em perfis de alumínio ou plástico duro para abrigar os demais componentes do coletor solar, com a função de proteger todo o conjunto e auxiliar na vedação. As caixas são fabricadas com chapa de alumínio na base e perfis de alumínio nas laterais. As peças são unidas através de rebites ou solda específica para alumínio. A utilização destes materiais na fabricação das caixas deve-se ao fato dos coletores solares situarem-se em área externa e ficarem sujeitos às intempéries que provocam a oxidação dos materiais.

Isolamento Térmico: material como lã de vidro, lã de rocha ou espuma de poliuretano expandido instalado na base da caixa, revestindo-a com o objetivo de minimizar as perdas de calor para o meio externo. O material isolante fica entre a base da caixa e os tubos.

Tubos ou Serpentina: tubulação geralmente em cobre, devido à alta condutividade térmica e resistência à corrosão apresentada pelo material, com a função de conduzir a água desde a calha inferior, por onde entra, passando por diversos tubos perpendiculares (flauta) até a calha superior, por onde a água quente sai do coletor. A tubulação perpendicular é formada por tubos de menor diâmetro, em números variados.

Aleta ou Placa Absorvedora: chapas de alumínio ou cobre com pintura na cor preta, usa-se o preto fosco para aumentar a absorção do calor. Tem a função de captar o calor proveniente do sol e transferi-lo para a tubulação e desta para a água.

Cobertura Transparente: cobertura em vidro, policarbonato ou acrílico, fixada como “tampa” da caixa externa e colada nas extremidades com silicone ou borracha de silicone maleável, para manter o coletor isento de umidade externa. A cobertura permite a passagem da radiação solar e impede a saída de calor.

3.6 - Principais tipos de coletores solares utilizados para aquecimento de água

Coletor solar plano Aberto: são os coletores adequados para aquecimento de piscinas, conforme mostra a Figura 3.14 não exigem temperaturas muito elevadas, variando na faixa de 26°C à 30°C.

Figura 3.14 – Coletor solar plano aberto.



Fonte - SOLETROL, (2013)

Estes coletores abertos são fabricados com materiais resistentes ao cloro e a outros produtos químicos como, por exemplo, polipropileno. O nome aberto se dá pelo fato de não possuírem cobertura transparente ou isolamento térmico. Apresenta bom rendimento para baixas temperaturas, mas o rendimento é reduzido à medida que a temperatura aumenta.

Coletor solar plano fechado: os coletores planos ou fechados atingem temperaturas na faixa de 70°C à 80°C e normalmente são usados para fins sanitários. A Figura 3.15 mostra um exemplo de instalação que utiliza coletor solar fechado.

Figura 3.15 – Coletor Solar plano Fechado.



Fonte – SOLARTECH, (2014)

Os coletores mais usados são os coletores planos. A superfície receptora neste tipo de coletor é a mesma que transfere o calor para o fluido térmico. O coletor plano ideal deve reunir um conjunto de características capazes de absorver a maior quantidade possível de radiação solar e transmitir o máximo de calor para o fluido térmico.

Coletor com Tubos de Vácuo: os coletores tipos tubo de vácuo são utilizados em aplicações que exigem temperaturas mais elevadas na faixa de 110°C à 150°C ou em regiões de baixa radiação solar. A Figura 3.16 mostra um exemplo de coletor com tubo de vácuo.

Figura 3.16 - Coletor solar com tubo de vácuo.

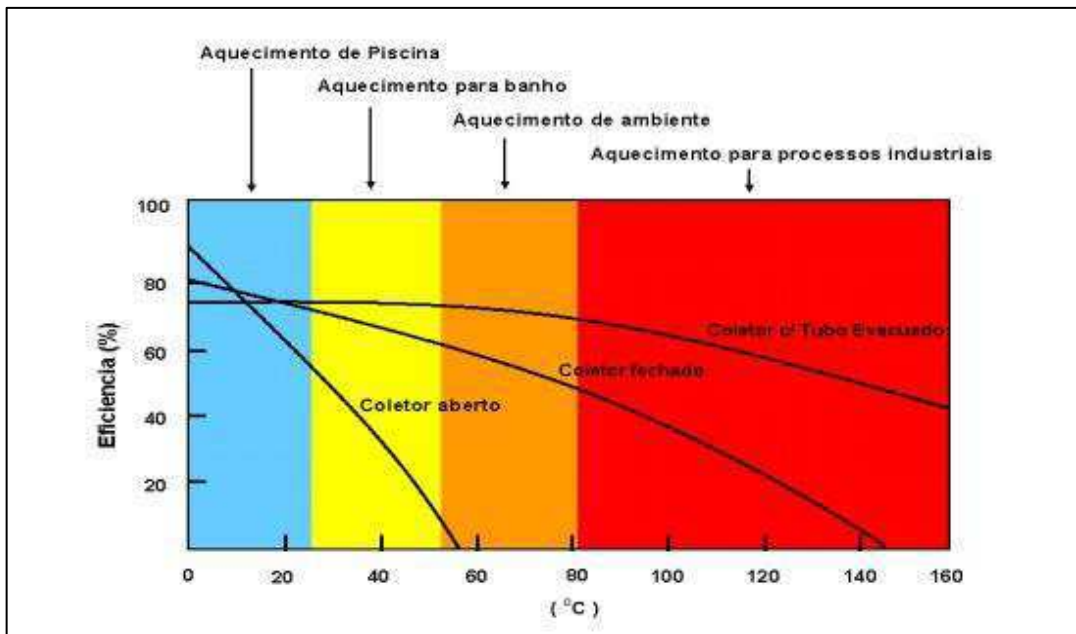


Fonte – SOLETROL, (2013)

Os coletores de tubo de vácuo são os mais utilizados no mundo. Isto se dá em função de sua utilização pela China, que possui aproximadamente 80 GWth (produção de potência térmica) de capacidade instalada (SOLAR HEATING & COOLING PROGRAMME – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY,2010). Os tubos verticais são ligados entre si na parte superior do coletor, a água do fluido de trabalho circula pelo conjunto de tubos e troca calor com a água que circula na parte superior do coletor, a grande vantagem desse sistema é que o vácuo elimina as perdas por convecção melhorando o rendimento.

A escolha do coletor mais apropriado é feita baseada na temperatura de operação exigida. A Figura 3.17 mostra as curvas características dos coletores e suas aplicações.

Figura 3.17 – Correlação entre tipos de coletores planos e temperatura de operação.



Fonte – SOLETROL, (2013)

Os coletores solares planos abertos são adequados para uso em aquecimento de piscinas que exigem temperaturas mais baixas na faixa de 30°C, a partir dessa temperatura o rendimento cai muito como pode ser visto na figura.

Os coletores solares planos fechados se enquadram em uma faixa intermediária sendo os mais utilizados atualmente no Brasil. Em 2008 o Brasil possuía aproximadamente 2.400 Mwth instalados, correspondente a 81% do total de coletores solares instalados (SHC – IEA, 2010).

Os coletores com tubo de vácuo apresentam um rendimento mais elevado inclusive em temperaturas mais altas.

Uma vez definida a quantidade necessária de coletores solares é necessário saber como eles serão integrados a edificação. Os coletores solares utilizados em obras de médio e grande porte, geralmente são os mesmos usados em obras de pequeno porte. A orientação e a inclinação também seguem os mesmos princípios adotados para instalações de pequeno porte.

3.7 - Instalações dos coletores solares do tipo fechado ou coletores de placa plana

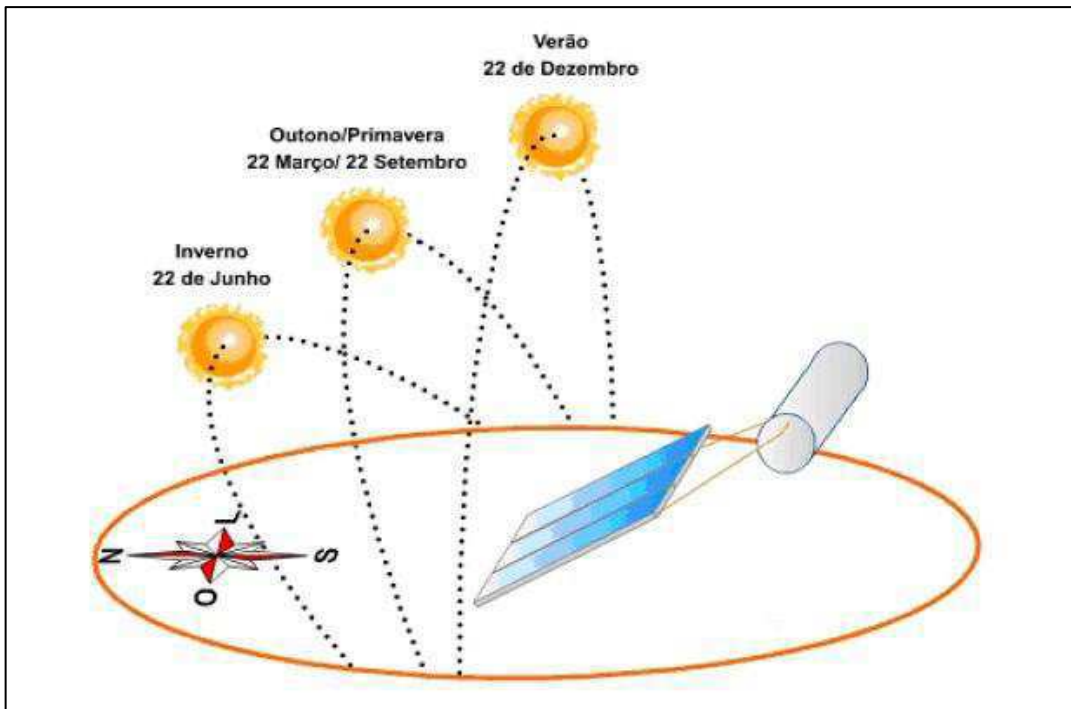
A posição dos coletores solares planos em um sistema de aquecimento por energia solar deve ser instalada em posição de máxima captação dos raios solares para que recebam a maior quantidade possível de radiação durante o dia. Isto será possível se os coletores ficarem expostos à insolação por maior período de tempo de forma que ocorra a maior captação de raios solares sobre as placas coletoras. Como foi visto na subseção 2.1.2, a latitude do local de instalação está relacionada com o ângulo de incidência e o hemisfério em que o local está situado vai determinar a direção de inclinação do sol durante o dia, para o norte no hemisfério sul ou para o sul no hemisfério norte (GUARIENTE, 2005).

O movimento de rotação da terra determina que o sol apareça no horizonte a leste e desapareça no final do dia a oeste, por isso se posicionarmos os coletores solares voltados para uma destas direções irá ocasionar a formação de sombra do coletor sobre ele próprio em metade do dia, perdendo, portanto energia. Diante disto devem-se tomar como base as características de insolação da região em que o sistema será utilizado. De acordo com a NBR 12269 (ABNT 1992), tem-se a seguinte recomendação para a instalação no Brasil:

Os coletores solares devem ser instalados voltados para o norte verdadeiro. Desvios de até 15° desta direção não prejudicam seriamente a eficiência. Instalações executadas nas regiões brasileiras situadas no hemisfério norte devem ter seus coletores solares voltados para o sul verdadeiro.

Os coletores solares devem ser instalados com sua face voltada para o norte verdadeiro, que fica aproximadamente 18° a direita do norte magnético, podendo também aceitar um desvio de 30° para leste (nascente do sol) ou oeste (poente do sol). A Figura 3.18 abaixo representa esta informação.

Figura 3.18 – Representação da orientação e inclinação do coletor solar.



Fonte – ABRAVA, (2008).

A correta posição do coletor solar escolhendo a inclinação e a orientação geográfica garante uma melhor captação da radiação solar.

Como a demanda por água quente é maior quando a temperatura ambiente é mais fria, e nesta época do ano a densidade de fluxo de radiação solar é a menor do ano por causa da reflexão e difração dos raios solares na entrada da atmosfera, e pelo fato de não atingirem a superfície do local perpendicularmente, deve-se posicionar os coletores em relação ao plano horizontal igual à latitude local + 15°. Este ângulo irá garantir um bom rendimento do coletor solar durante todo o ano (SÁLES, 2008).

A radiação solar visível formada pelos raios ultravioletas incide sobre a superfície da cobertura transparente parte da radiação solar é refletida, parte é absorvida e posteriormente transmitida na forma de calor para o meio interno e para o meio externo, e parte atravessa a superfície do vidro, incidindo diretamente sobre a placa absorvedora (aletas). Os raios ultravioletas de ondas curtas, captadas pela placa absorvedora, transformam-se em raios infravermelhos de ondas longas e não visíveis. Estes raios ao se chocarem internamente com a superfície interna do vidro não conseguem atravessá-los de volta, com isto o interior da caixa é aquecida. Com a incidência constante do sol sobre o coletor solar o interior da caixa se mantém aquecida e transmite a energia térmica por convecção para a placa absorvedora

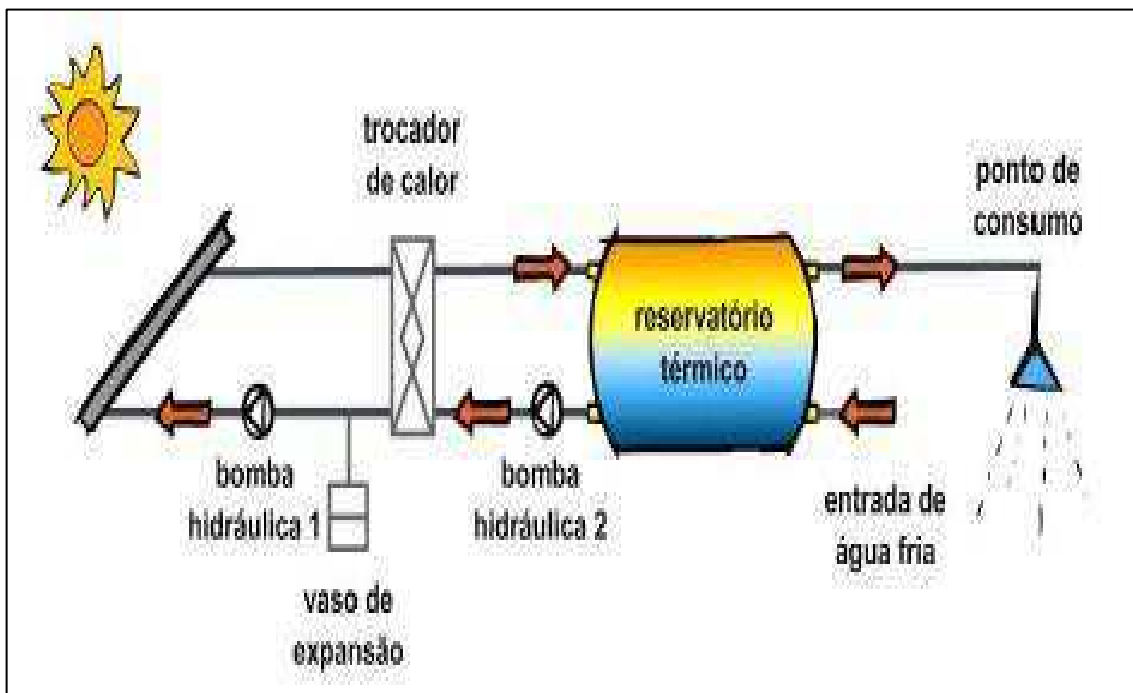
(aletas), e desta para os tubos (serpentinhas), que aquecem a água que por sua vez entra no interior dos tubos do coletor solar através do tubo horizontal inferior, à medida que a água vai aquecendo atravessa toda a serpentina devido à diferença de densidade e sobe até o tubo horizontal superior por onde a água já sai aquecida.

Há situações em que a movimentação da água no interior do coletor solar é feita através de uma bomba de baixa potência. Isto ocorre quando o posicionamento do coletor solar em relação aos reservatórios de entrada (água fria) e de saída (água quente) impede a movimentação espontânea da água através da diferença de densidade, ou em casos de reservatórios térmicos de maior capacidade para aumentar a eficiência do sistema.

3.8 - Fluido térmico

O fluido térmico é o responsável para transmitir o calor absorvido no coletor solar para a água acumulada no reservatório térmico. Pode fazer isto diretamente, quando a própria água acumulada circula pelo coletor e retorna para o reservatório, ver Figura 2.12, ou indiretamente através de um trocador de calor como mostra a Figura 3.19 a seguir.

Figura 3.19 – Exemplo esquemático de um sistema de aquecimento com trocador de calor.



Fonte – ABRAVA, (2008)

Segundo (TREIS, 1991), o fluido térmico deve possuir como principais características, alta condutividade e capacidade térmica, baixa viscosidade, baixa densidade e coeficiente de expansão, que são características encontradas na água. Os chamados defeitos da água são a possibilidade de congelamento, a formação de vapor em temperaturas ambiente e a formação de incrustações e corrosão em alguns materiais. Por isso são usados recursos como respiros e válvulas drenantes acionadas automaticamente por termostatos em sistemas passivos, e o acionamento automático da bomba de circulação em sistemas ativos, para combater os problemas da água como fluido térmico. Nos sistemas indiretos são usados como fluido térmico, o etileno-glicol ou o propileno-glicol, que possuem excelentes características de absorção e transmissão térmica.

3.9 - Reservatórios térmico

O reservatório térmico tem a função de regular o fornecimento de água quente para o sistema, compensando perfis de consumo com vazões superiores aquelas que ocorrem na circulação pelos coletores solares, ou possibilitando o fornecimento de água quente em períodos que não existe radiação solar para promover o aquecimento, como por exemplo, durante a noite ou nas primeiras horas da manhã. Ou seja, o reservatório térmico faz a adequação entre a produção e o uso da água quente (GUARIENTE, 2005).

Os reservatórios térmicos quanto à posição, podem ser horizontais ou verticais, quanto à pressão de trabalho podem ser de alta ou baixa pressão. Podem operar funcionando em desnível ou em nível com a caixa de água fria. A troca de calor pode ocorrer em circuito direto, sem trocadores de calor, ou em circuito indireto, com trocadores de calor. A posição do reservatório, bem como a maneira como a água é introduzida no seu interior, seja por recarregamento devido ao consumo, seja pela circulação no processo de aquecimento solar, são importantes para definir a maneira como a água se acomoda no interior do reservatório (COELHO, 2011).

Segundo pesquisa de (PHILIPSE DAVE, 1982) em reservatórios verticais a estratificação ocorre com maior definição que nos horizontais, onde acontece equilíbrio de temperatura mais rapidamente entre as camadas por condução térmica, uma vez que a área de contato entre elas é maior, como mostra a Figura 3.20 modelo de um reservatório vertical, já a Figura 3.21 mostra um modelo de reservatório horizontal.

Figura 3.20 – Modelo de um Reservatório Vertical



Fonte – <http://www.astrosol.com.br>

Figura 3.21 – Modelo de um Reservatório Horizontal



Fonte – <http://www.astrosol.com.br>

Segundo Petrucci (1998), explica que devido à variação do peso específico da água em função da temperatura, a água que entra no tanque em temperatura mais baixa que aquela que se encontra em seu interior, tende a se posicionar abaixo desta. A este fenômeno dá-se o nome de estratificação, pois a água se dispõe no interior do tanque como em camadas, segundo suas temperaturas ou densidades.

Em sistemas passivos diretos de aquecimento de água por energia solar, a estratificação é importante para facilitar o processo de circulação entre reservatório e coletores. Nesses sistemas o posicionamento do reservatório na posição vertical favorece a estratificação, porém nem sempre é possível devido a limitações arquitetônicas, devendo-se adotar então a posição horizontal.

3.10 - Fonte auxiliar de energia

Os sistemas de aquecimento de água por energia solar têm a função de complementar o aquecimento solar em períodos de baixa insolação ou consumo excessivo. Para compensar o

desempenho do sistema de aquecimento solar em situações desfavoráveis, os equipamentos são apoiados por fontes auxiliares de energia, normalmente acionadas automaticamente por meio de termostatos instalados no interior do reservatório térmico. Quando a temperatura da água no interior do reservatório atinge valores abaixo do recomendável para a utilização, a fonte auxiliar de energia é acionada complementando o calor necessário até atingir uma temperatura ideal para uso (GUARIENTE, 2005).

As principais fontes de energia auxiliar utilizadas são a energia elétrica, gás natural, GLP, a bomba de calor, entre outros. Enfim, os sistemas convencionais de aquecimento podem ser usados como apoio ao sistema de aquecimento solar. O sistema auxiliar elétrico, devido ao seu baixo investimento inicial e a disponibilidade de eletricidade é o mais difundido no mercado brasileiro. É formado por uma ou mais resistências inseridas no reservatório, e em contato direto com a água armazenada pode ser acionado manualmente ou de forma automática com o uso de um termostato.

3.11 – Sistemas de aquecimento de água por energia solar

Os sistemas de aquecimento de água utilizando a energia solar podem ser divididos de acordo com o princípio de funcionamento: Sistema passivo direto, Sistema passivo indireto, Sistema ativo direto e Sistema ativo indireto.

3.11.1 – Sistema passivo direto

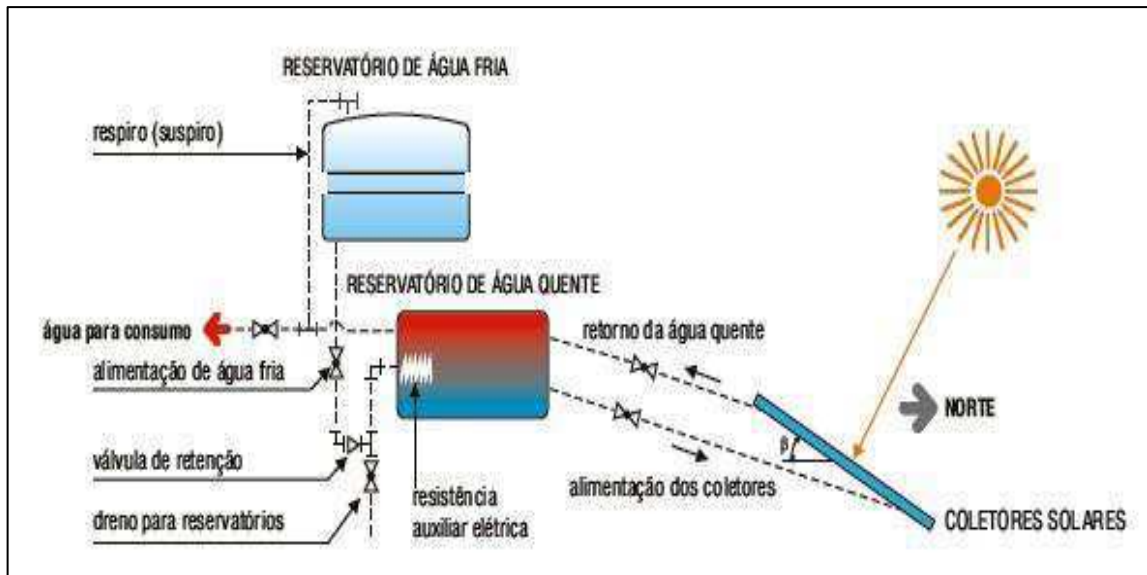
No sistema passivo a água é aquecida diretamente pelos coletores e sua circulação é realizada por circulação natural (termossifão), ou seja, a diferença de densidade devido à variação de temperatura entre os coletores e o reservatório provoca um gradiente de pressão que coloca o fluido em movimento.

Devido ao seu simples funcionamento, é o sistema mais utilizado no aquecimento de água para fins domésticos e muitas vezes mais convenientes devido ao nosso clima, principalmente quando se trata de sistemas pequenos e de uso doméstico (Figura 3.22).

Esse sistema possui uma particularidade que é a necessidade do reservatório estar acima do nível dos coletores o que pode provocar algumas dificuldades com relação à arquitetura e a estética da edificação.

Essa configuração é importante para que não haja a recirculação noturna, isto é, para que o fluido escoe em sentido contrário ao desejado.

Figura 3.22 - Esquema de instalação de um sistema passivo direto

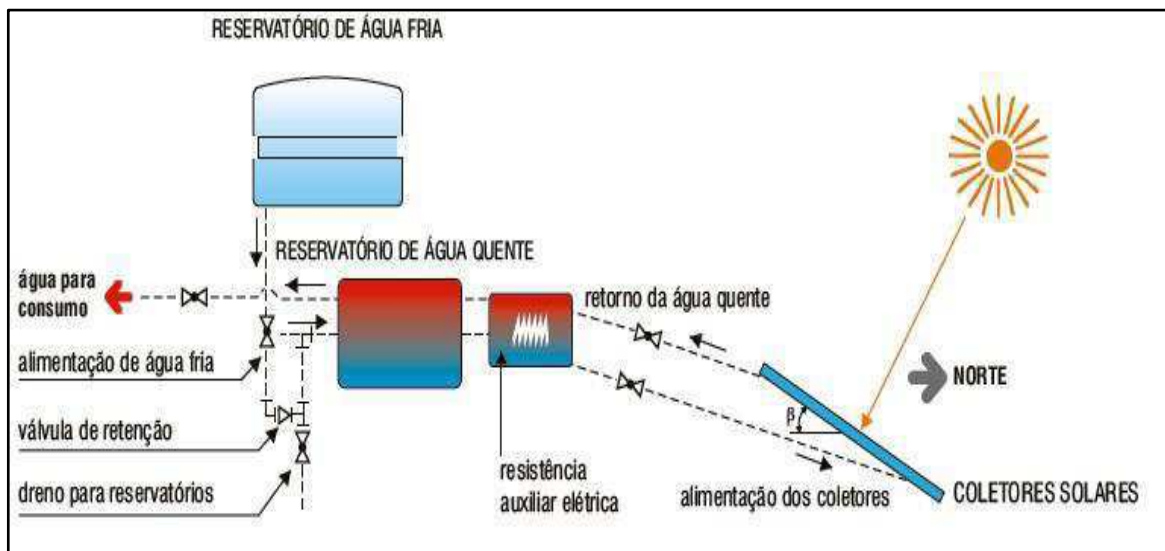


Fonte - Habitação mais sustentável, (2007).

3.11.2 - Sistema passivo indireto

Em países de clima tropical, um problema encontrado é o de como evitar o congelamento do fluido de trabalho nos coletores instalados em lugares sujeitos a baixa temperatura. O sistema indireto é utilizado quando existe a necessidade de proteção contra o congelamento. A Figura 3.23 mostra um sistema passivo indireto.

Figura 3.23 – Esquema de instalação de um sistema passivo indireto.



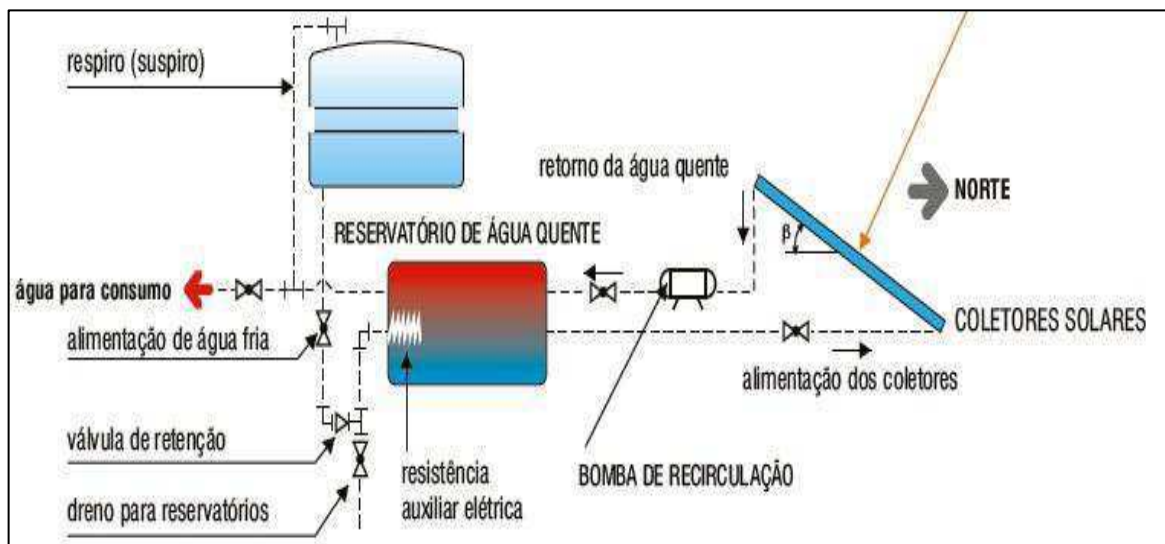
Fonte - Habitação mais sustentável, (2007).

3.11.3 - Sistema ativo direto

No sistema ativo a circulação da água é feita por uma bomba e a água é aquecida diretamente pelos coletores. Devido ao uso da bomba para a circulação da água, o reservatório pode estar situado em qualquer posição em relação aos coletores. A bomba é acionada quando a diferença de temperatura entre a parte superior do coletor e o reservatório atinge um valor preestabelecido. Seu desligamento ocorre quando esta diferença de temperatura torna-se pequena ou quando a temperatura da água do reservatório alcança um valor desejável. A bomba também é utilizada como proteção contra o congelamento ao acionar a recirculação da água quente quando a temperatura externa atinge um valor crítico em regiões de clima frio. A proteção ao congelamento também pode ser efetuada pela drenagem da água dos coletores conforme esquema da Figura 3.24 abaixo.

A vantagem do sistema ativo em relação ao passivo é a flexibilidade quanto à localização do reservatório na edificação, porém os custos aumentam por apresentar mais dispositivos como bombas, sensores e controles.

Figura 3.24 – Esquema de instalação de um sistema ativo direto.



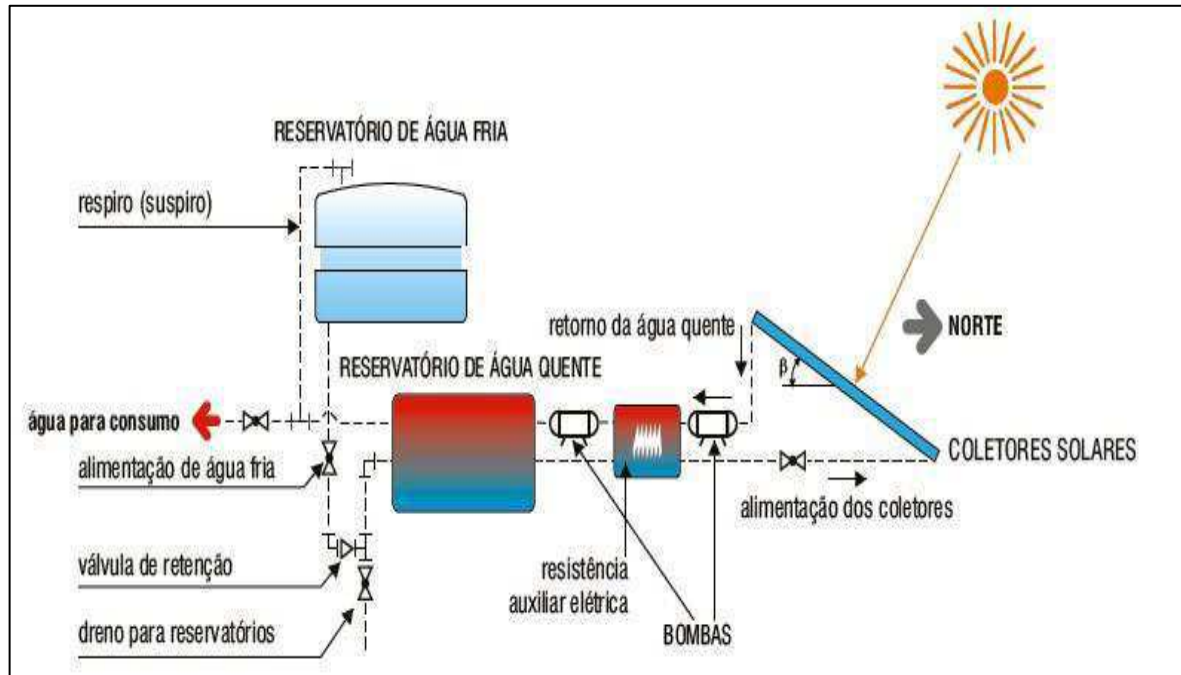
Fonte - Habitação mais sustentável. (2007).

3.11.4 - Sistema ativo indireto

Dependendo do trocador utilizado (que tanto pode ser interno ou externo ao reservatório), esse sistema pode utilizar uma ou duas bombas. Sendo o trocador localizado externamente ao reservatório, esse possibilita uma maior flexibilidade, mas, provoca maior

perda de calor, para isto são necessárias duas bombas de forma a executar a circulação dos fluidos. Quando este é interno ao reservatório térmico é necessária apenas uma bomba de recalque. Ver Figura 3.25.

Figura 3.25 – Esquema de instalação de um sistema ativo indireto.



Fonte - Habitação mais sustentável, (2007).

4 - MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 – Processo de instalações do sistema de aquecimento de água por energia solar.

A pesquisa apresentada nesta dissertação foi do tipo descritiva experimental, tendo sido realizada no Solarium do Laboratório Experimental de Máquinas Térmicas (LEMT) da Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

A cidade de Campina Grande está localizada no interior do Estado da Paraíba, e possui uma população estimada de 400.002 habitantes, segundo o censo Demográfico do IBGE (2013), ocupando uma área de 594,2 km² a uma altitude média de 550 m acima do nível do mar, nas seguintes coordenadas geográficas: fica na latitude 7° 13' 50" ao sul e longitude de 35° 52' 36" a oeste.

Na Figura 4.1 mostra as instalações do Laboratório Experimental de Máquinas Térmicas e anexo.

Figura 4.1 – Laboratório Experimental de Máquinas Térmicas – LEMT.



Fonte - Autoria própria.

4.2 - Medição da radiação solar

A medição da radiação solar da pesquisa foi feita por um Piranômetro de fabricação Zipp & Zonen, modelo CM21 como mostra Figura 4.2, instalado no solarium do Laboratório de Eletrônica Industrial e Acionamento de Máquinas (LEIAM), do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG-PB).

Os gráficos da radiação solar enviados pelo LEIAM encontram-se no Anexo A.

Figura 4.2 – Piranômetro



Fonte - A autoria própria, (2014).

4.3 – Sistema de aquecimento instalado

Na Figura 4.3, pode ser observado o sistema de aquecimento solar instalado no solarium do Laboratório Experimental de Máquinas Térmicas (LEMT) para as duas coberturas, utilizando o mesmo coletor solar, que serão tratadas como configuração I (cobertura de policarbonato) e configuração II (cobertura de vidro).

Figura 4.3 - Sistema de Aquecimento solar Instalado para a configuração I: (Policarbonato)



Fonte - Autoria Própria, (2014).

Figura 4.3 – Sistema de Aquecimento solar Instalado para a configuração II: (Vidro)



Fonte - Autoria Própria, (2014).

O Coletor solar utilizado nesta pesquisa pertence ao Laboratório Experimental de Máquinas Térmicas, doado pela empresa Solar Tech, cujas dimensões são otimizadas para instalações residenciais, trata-se de um coletor solar plano para aquecimento com um envolvimento integral dos tubos de cobre que garantem uma melhor transferência da energia solar captada para a água a aquecer.

Foi necessário fazer uma restauração do referido coletor solar, como também algumas adaptações para a instalação das conexões hidráulicas e assim colocar o mesmo em funcionamento. O coletor solar foi posicionado em relação ao plano horizontal igual à latitude local + 15°. Este ângulo irá garantir um bom rendimento do coletor solar durante todo o ano. A instalação do coletor solar foi direcionada para o norte geográfico a fim de garantir uma maior incidência de luz solar durante o dia.

4.4 - Materiais e equipamentos do sistema de aquecimento de água

Figura 4.4 – Coletor Solar usado no experimento.



Fonte - Autoria própria, (2014).

4.4.1 - Características técnicas dos equipamentos do coletor solar

Foi utilizado um coletor solar plano neste trabalho constituído por uma caixa de perfis de alumínio medindo 1,43 m de comprimento, 0,85 m de largura com área de abertura de 1,21 m² e 90 mm de altura. O trocador de calor é montado nesta estrutura de alumínio por dois tubos de cobre perpendiculares, ambos com 1000 mm de comprimento e 1/2 polegada de diâmetro, o tubo da base é o tubo perpendicular distribuidor e no topo é o tubo perpendicular coletor. Nesses tubos de cobre são fixados 6 tubos paralelos, com 1,32 m de comprimento e 3/8 polegada de diâmetro espaçamento entre esses tubos paralelos é de 130 mm.

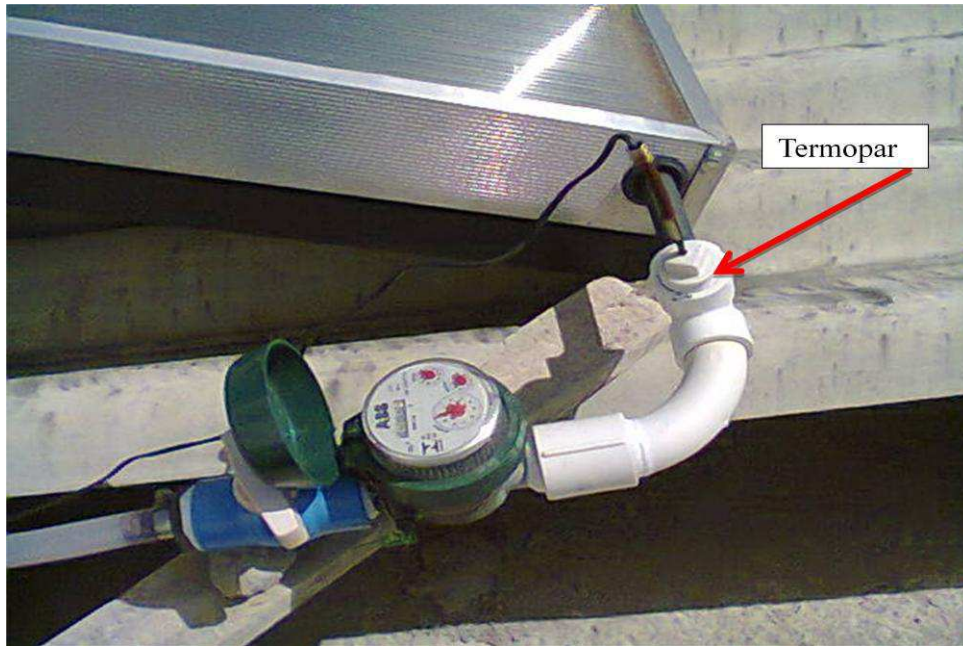
A grade de tubos é soldada por baixo de uma chapa de alumínio, e cada tubo é fixado a esta chapa por 18 rebites. Tubos e chapa são pintados com esmalte sintético preto fosco para uma melhor absorção da radiação solar global incidente. Este conjunto de tubos e chapa é montado em uma caixa de perfis de alumínio, ficando a região inferior separada do fundo externo por uma camada de isolante térmico constituída de 50 mm de lã de vidro, reduzindo perda de calor para o meio ambiente. Na face superior deste coletor solar foi usado dois tipos de coberturas, policarbonato e vidro, ambas transparentes e com 4 mm de espessura, a uma distância de 25 mm da placa absorvedora.

a) - O processo de instalação do coletor compreendeu as seguintes etapas:

1 - A entrada do sistema está interligado por uma mangueira termoplástica de 1 polegada de diâmetro, 1 registro de esfera, hidrômetro, luva aberta e um T com saída para instalar um termopar (medidor de temperatura), como está mostrado na Figura 4.6.

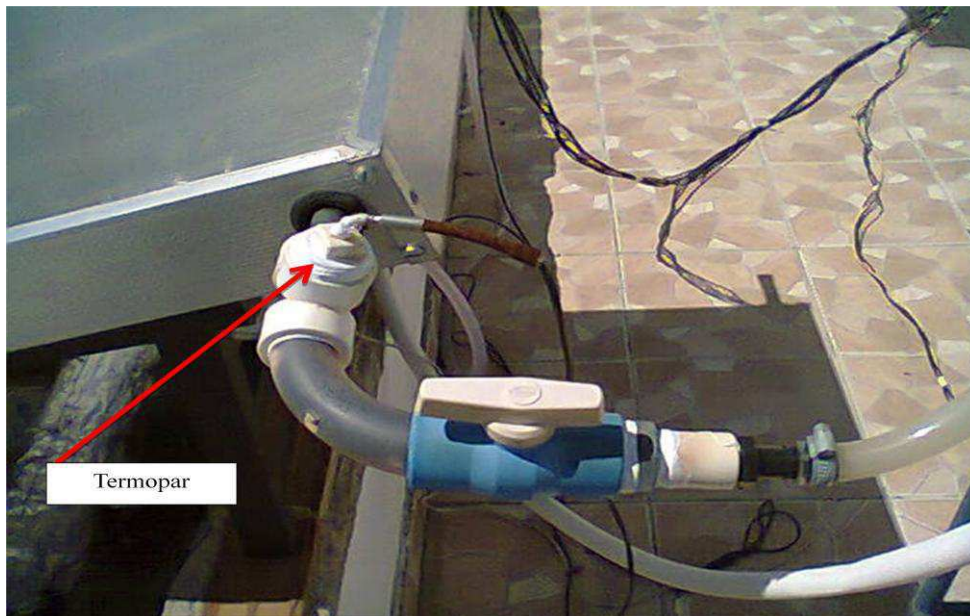
2 - Na saída do coletor temos um T com saída para o termopar (medidor de temperatura), curva aberta, registro de esfera, adaptador de 1 polegada de diâmetro para um de 1/2 polegada para colocar o bico da torneira e interligar uma mangueira termoplástica de 1/2 polegada de diâmetro, como está mostrado na Figura 4.7.

Figura 4.5 – Conexões na entrada do coletor solar.



Fonte - Aatoria própria, (2014).

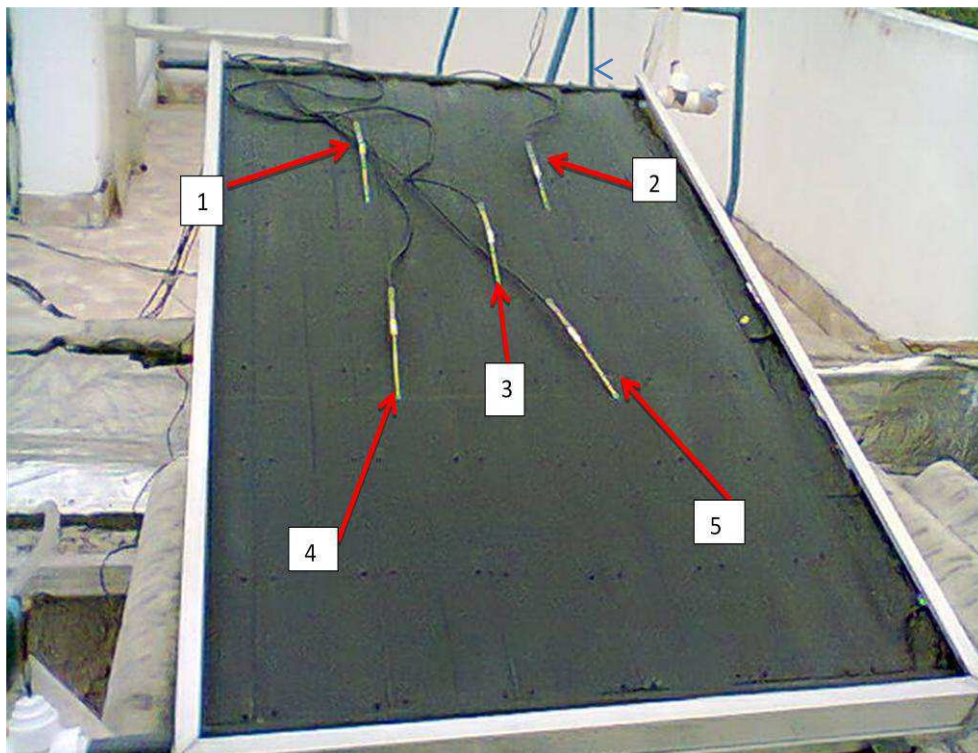
Figura 4.6 – Conexões na saída do coletor solar.



Fonte - Aatoria Própria, (2014).

3 - Na Figura 4.8 temos o coletor solar com a sua cobertura removida para possibilitar mostrar os termopares acoplados na placa absorvedora. Foram distribuídos 5 (cinco) termopares em vários pontos da placa.

Figura 4.7 – Detalhe dos termopares distribuídos na placa absorvedora para a configuração I e configuração II



Fonte - Autoria própria, (2014).

b) - Localização dos pontos na placa:

T (°C) 1 – (superior esquerdo)

T (°C) 2 – (superior direito)

T (°C) 3 – (no centro da placa)

T (°C) 4 – (inferior esquerdo)

T (°C) 5 – (inferior direito)

4.4.2 - Reservatório térmico

O reservatório de água quente é do tipo vertical, e foi confeccionado a partir de um tambor de polietileno com altura de 0,75 m e volume de acumulação de 150 litros de água. Na Figura 4.9 mostra o reservatório do sistema de aquecimento utilizado.

O material escolhido como isolante do reservatório térmico foi à lã de rocha por apresentar baixa condutividade térmica. Então se optou por revestir o reservatório com uma lâmina de papel alumínio corrugado para proteger o isolante térmico e por ser resistente a ação de intempéries.

Neste trabalho foi definido o uso de uma bomba para fazer a movimentação da água entre o coletor solar e o reservatório térmico. O registro da temperatura do reservatório operando por bombeamento foi feito por um termopar inserido no topo do mesmo na superfície da água.

Figura 4.8 – Reservatório Térmico alternativo do sistema de aquecimento solar para a configuração I e configuração II.



Fonte - Autoria própria, (2014).

b) O processo de instalação do reservatório alternativo compreendeu as seguintes etapas:

1 - A saída de água do reservatório localizada na parte inferior do tambor foi constituído por um adaptador de PVC, 1 nipe, 1 registro de esfera e bico para mangueira de 1 polegada de diâmetro.

2 - Na parte superior do reservatório foi colocado um adaptador, 1 nipe, 1 registro de esfera e um bico reto para mangueira de ½ polegada de diâmetro.

4.4.3 - Bomba centrífuga

Foi adaptada a este sistema de aquecimento solar uma Eletrobomba da marca Brastemp Clean Mondial, 220 v, motor com potência de 250 W, frequência de 60 Hz e vazão de 1100 l/h, conexões de entrada e saída de 1 polegada de diâmetro, como mostra a Figura 4.10.

Figura 4.9 – Eletrobomba usada no sistema



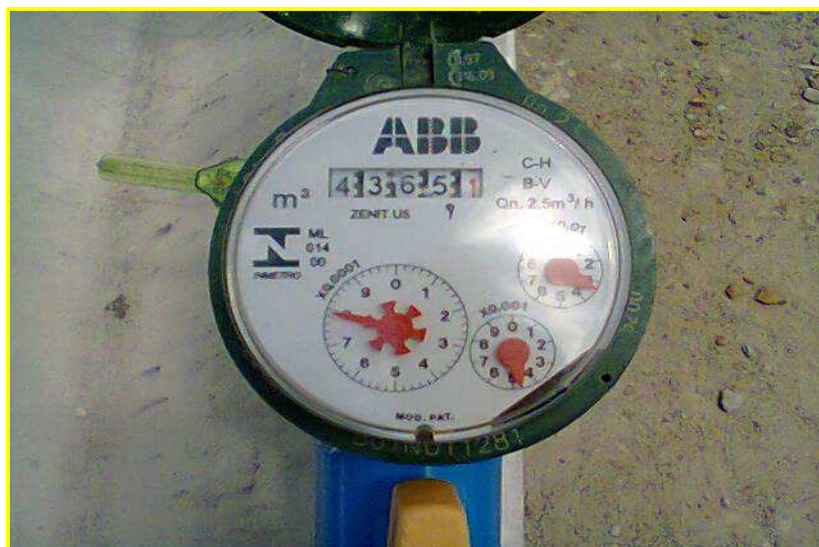
Fonte - Autoria própria, (2014).

4.5 - Instrumentos de medição e controle

4.5.1 - Hidrômetro

A regulagem da vazão de funcionamento da bomba quando o sistema estava operando ativamente, foi efetuada através de um hidrômetro unijato magnético de $\frac{3}{4}$ de polegada, da marca Zenit U5 e com vazão nominal de $2,5 \text{ m}^3/\text{h}$, classe metrológica C, para a medição do volume. Como os períodos de funcionamento da bomba foram preestabelecidos e controlados manualmente, ao final de cada ensaio foi possível através da leitura do relógio do hidrômetro fazer a averiguação do volume total controlado, como mostra a Figura 4.11.

Figura 4.10 – Hidrômetro para regulagem da vazão da bomba



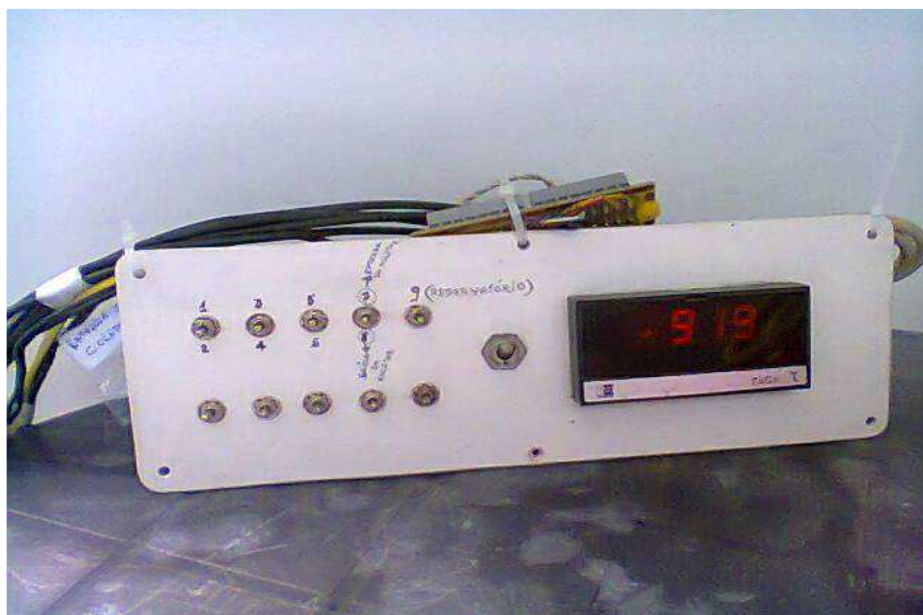
Fonte - Autoria própria, (2014).

4.5.2 Termopares

Os dados referentes às temperaturas foram obtidos por meio de 9 (nove) termopares do tipo J distribuídos por todo o sistema, placa absorvedora, entrada e saída do coletor, dentro do reservatório e no ambiente externo, todos interligados a um indicador de temperatura que foi colocado no interior do Laboratório e registrava a cada 10 minutos as variações das temperaturas como está mostrado na Figura 4.12. Este controle era feito manualmente para cada termopar instalado acionando os botões identificados por números. A calibração dos termopares a 0°C foi feita colocando-se uma mistura de água e gelo em uma caixa de isopor em uma quantidade suficiente para atingir uma temperatura de 0°C, medida através do termômetro, os mesmos foram mergulhados em torno de 5 minutos. Para a calibração a 100°C a água foi aquecida até a ebulição, despejada numa caixa de isopor e ficaram imersos até identificar a temperatura estabilizada. Feita a calibração e numeração dos 9 (nove) termopares, os mesmos foram instalados nos seus respectivos locais. Assim a posição de cada um dos termopares é a seguinte:

- Termopares (1) (2) (3) (4) e (5), foram distribuídos na placa absorvedora.
- Termopar (6), colocado para medir a temperatura do ambiente externo.
- Termopar (Te), colocado na entrada do fluido do coletor solar.
- Termopar (Ts), colocado na saída do fluido do coletor solar.
- Termopar (Tres.), colocado dentro do reservatório térmico.

Figura 4.11 – Indicador de temperatura onde os termopares foram interligados

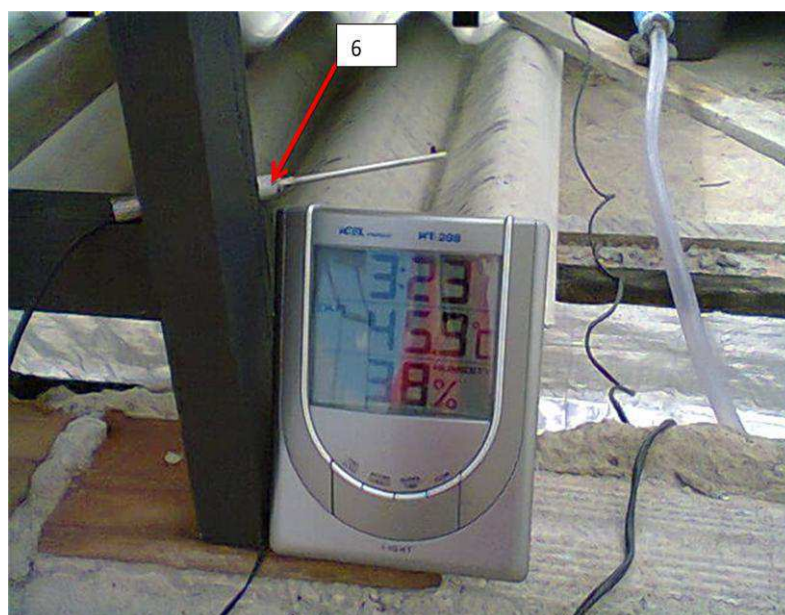


Fonte - Autoria própria, (2014).

4.5.3 - Higrômetro

A umidade relativa do sistema foi medida com um Termo Higrômetro Modelo HT208 marca Icel como está mostrado na Figura 4.12.

Figura 4.12 – Termo Higrômetro para medir a umidade relativa do sistema



Fonte - Autoria própria, (2014).

4.6 - Determinação da vazão da bomba para funcionamento do sistema ativo (circulação forçada).

Os ensaios para a determinação do desempenho do sistema de aquecimento solar proposto funcionou com circulação forçada, utilizando-se de uma Eletrobomba. Em todos os ensaios optou-se pela operação da bomba sem interrupção no período de 10 às 14 horas . A vazão da bomba foi regulada manualmente, e a leitura do volume de passagem da água pelo hidrômetro era feita em intervalos cronometrados a cada 10 minutos. Como os períodos de funcionamento da bomba foram preestabelecidos e controlados, ao final de cada ensaio foi possível através da leitura do relógio do hidrômetro fazer a leitura do volume total circulado. Os dados referentes às medições das vazões, volumes, e temperaturas durante os ensaios encontram-se no Apêndice A.

4.7 - Determinação do desempenho do sistema com circulação forçada (sistema ativo).

Com o coletor devidamente instalado no Solarium do Laboratório Experimental de Máquinas Térmicas foram iniciados os ensaios para determinação dos parâmetros pretendidos coletor solar testado com cobertura de policarbonato, e mesmo coletor testado com cobertura de vidro. Com a determinação desta sequência experimental definiu-se um mesmo número de ensaios diários e em dias alternados para o coletor quando da substituição de uma placa de cobertura pela outra, ou seja, vidro pelo policarbonato como forma viável de se obter resultados confiáveis. Estes ensaios compreendiam um horário de 10:00 às 14:00 horas. Para se obter condições climáticas como (temperatura, umidade relativa, hora de insolação e radiação solar) mais semelhantes, foram realizados 05 ensaios para o coletor com cobertura de policarbonato e 05 ensaios para o coletor com a cobertura de vidro, cujos resultados encontram-se na sessão 4 (análise de dados e discussão dos resultados), para que pudessem ser considerados homogêneos, a fim de se efetuar o estudo comparativo.

4.8 - Análise do sistema de aquecimento de água

O parâmetro de comparação neste trabalho será a eficiência do coletor quando do uso de duas configurações para a cobertura: policarbonato e o vidro.

Quando se calcula um parâmetro, devem ser seguidas normas, de modo que seja possível comparar esse parâmetro para todas as configurações deste tipo sob as mesmas condições de teste.

É possível calcular a energia útil para períodos diários, mensais e anuais, baseando-se em dados de radiação existentes ou através de cálculo estimativo. Deve-se notar que os cálculos fornecem valores aproximados, pois existem as variações climáticas.

A energia útil é avaliada pelo ganho de calor que a água tem devido sua circulação pelo coletor solar, como mostra a equação (1). Ela pode ser determinada por meio da relação:

$$Q_{\text{útil}} = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (1)$$

Onde:

$Q_{\text{útil}}$ = representa a quantidade de calor fornecido em (kW);

\dot{m} = fluxo de massa de água (kg/s.);

C_p = calor específico da água em (kJ/kg °C);

ΔT = é a variação entre a temperatura final e inicial do fluido em (°C.)

4.8.1 - Determinação da eficiência térmica do sistema

A eficiência térmica do coletor solar em estudo pode ser determinada através do conhecimento da quantidade de calor transferida ao fluido de trabalho, da radiação solar incidente no coletor e da sua área, como mostra a equação (2) a seguir:

$$\eta_t = \frac{Q_{\text{útil}}}{IG \cdot A_c} \quad (2)$$

Onde:

η_t = é a eficiência térmica em (%)

$Q_{\text{útil}}$ = calor útil fornecido no sistema (kW)

IG = é a radiação solar global em (W/m²)

A_c = é a área do coletor (área exposta a radiação solar em m²).

5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão avaliados os resultados dos ensaios realizados para determinação dos parâmetros de desempenho do coletor solar. Serão apresentados os dados dos ensaios realizados para cada tipo de configuração: **Policarbonato e Vidro**.

Dos mais de 30 ensaios efetuados vários tiveram que ser descartados devido a importantes variações no clima durante o dia do ensaio, isto é, céu claro no início passando a totalmente encoberto durante o dia prejudicando desta forma os resultados, uma vez que o objetivo era comparar o desempenho do sistema operando para duas coberturas diferentes em dias com condições de radiação semelhantes.

Os resultados referentes aos 10 ensaios considerados em condições válidas para o objetivo desta pesquisa eram realizados no horário de 10:00 às 14:00 horas e a cada 10 minutos era feita as medições das variáveis climáticas e as variáveis dos ensaios, foram registrados e cujas tabelas encontram-se no (APÊNDICE A).

5.1 - configuração I: Coletor solar plano fechado usando o policarbonato para a cobertura.

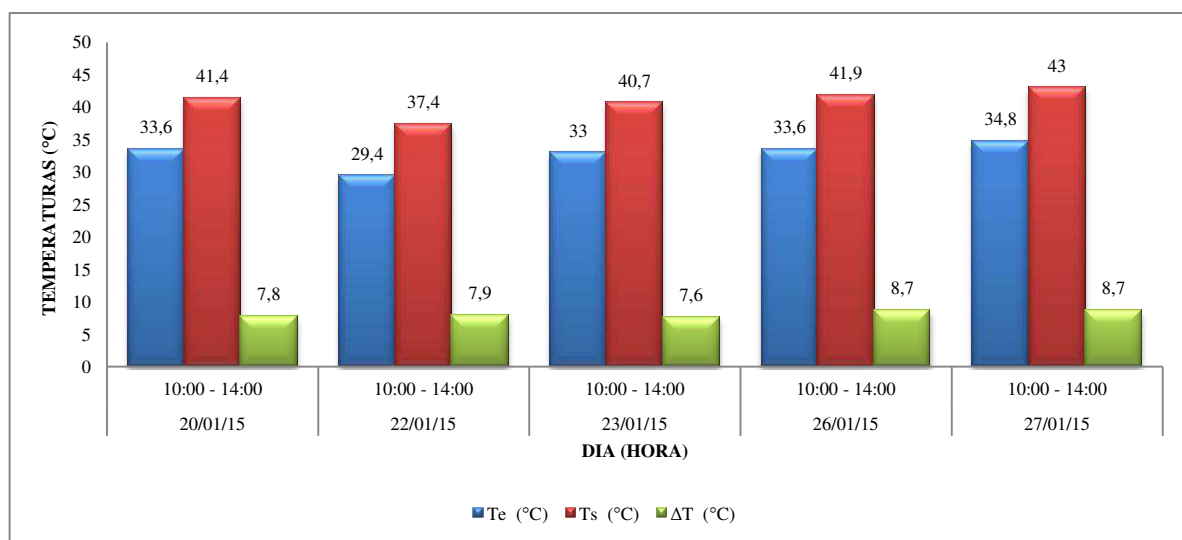
A Tabela 5. Apresentam os valores médios horários para os cinco dias de ensaios da configuração I: Policarbonato

Tabela 5 - Valores médios horários para os 05 dias de ensaio da configuração I: (POLICARBONATO).

DATA	Hora	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	Text. (°C)	Te (°C)	Ts (°C)	ΔT (°C)	Tres. (°C)	m (kg/min.)	Qu (KW)	η_t (%)	IG (W/m ²)	Rad.col (kW/m ²)	U.R. (%)	Vazão (m ³ /min.)
20/01/15	10:00 - 14:00	78,5	80,7	67,2	77	69,2	30,1	33,6	41,4	7,8	38,9	0,881	0,475	42,7	912	1,1	26,1	0,001
22/01/15	10:00 - 14:00	65,6	70	56,3	64	58,8	29	29,4	37,4	7,9	34,5	0,849	0,471	51,6	750	0,908	28,4	0,0009
23/01/15	10:00 - 14:00	72,6	76,5	62,2	71	65,2	30,8	33	40,7	7,6	37,4	0,845	0,442	43,6	834	1	25,2	0,0009
26/01/15	10:00 - 14:00	78,3	79,8	66,3	77	68,5	30,7	33,6	41,9	8,7	37,2	0,846	0,517	48,9	896	1,08	25,9	0,0009
27/01/15	10:00 - 14:00	81,2	82,9	69	80	71,5	30,7	34,8	43	8,7	38,3	0,863	0,527	43,8	981	1,18	24,5	0,0009
	MÉDIA	75,2	77,9	64,2	74	66,6	30,2	32,8	40,8	8,1	37,2	0,857	0,486	46,1	874,6	1,05	26	0,00092

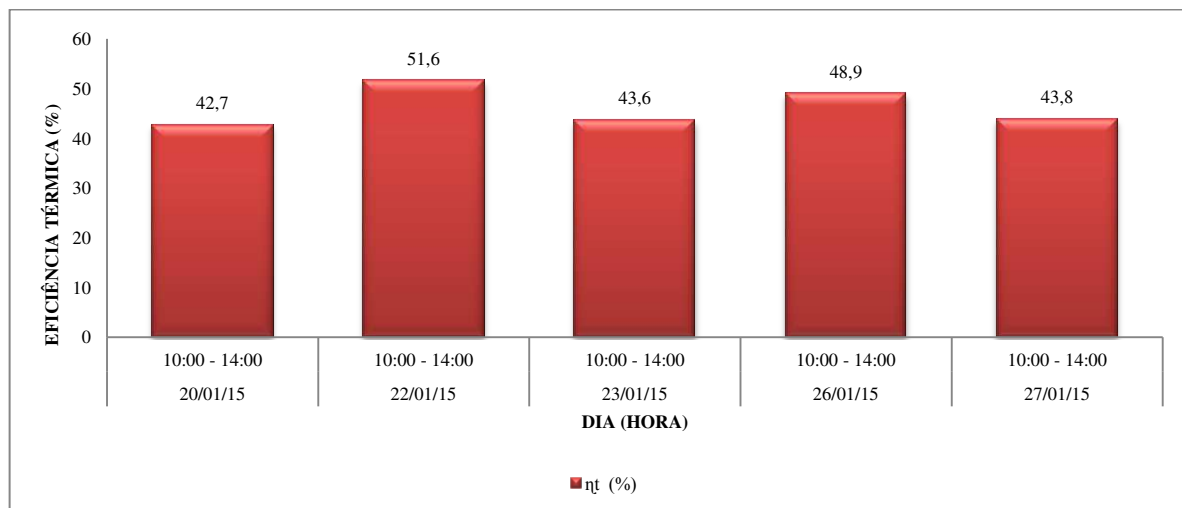
A temperatura de saída do coletor sempre esteve acima de 37,4°C, sendo a maior média horária registrada de 43°C. A temperatura de entrada do coletor no início do teste sempre esteve próxima a temperatura ambiente, mas chegando a atingir uma média de 34°C. O gradiente máximo de temperatura obtido na água pela circulação no coletor foi de 8,7°C, com valor médio de 8,1°C e será mostrado a seguir no gráfico da Figura 5.1.

Figura 5.1 - Temperaturas médias horárias de entrada e saída do coletor e da variação de temperatura da água no coletor para a configuração I: (Policarbonato)



A eficiência média do coletor nesta configuração para os dias ensaiados sempre esteve acima de 42,7% chegando a registrar uma média diária de 51,6%, porém o valor médio ficou em torno de 46,1%. O gráfico da Figura 5.2 mostra o comportamento assumido pelas médias horárias da eficiência térmica para a configuração I: Policarbonato.

Figura 5.2 - Médias horárias da eficiência térmica para a configuração I: (Policarbonato)



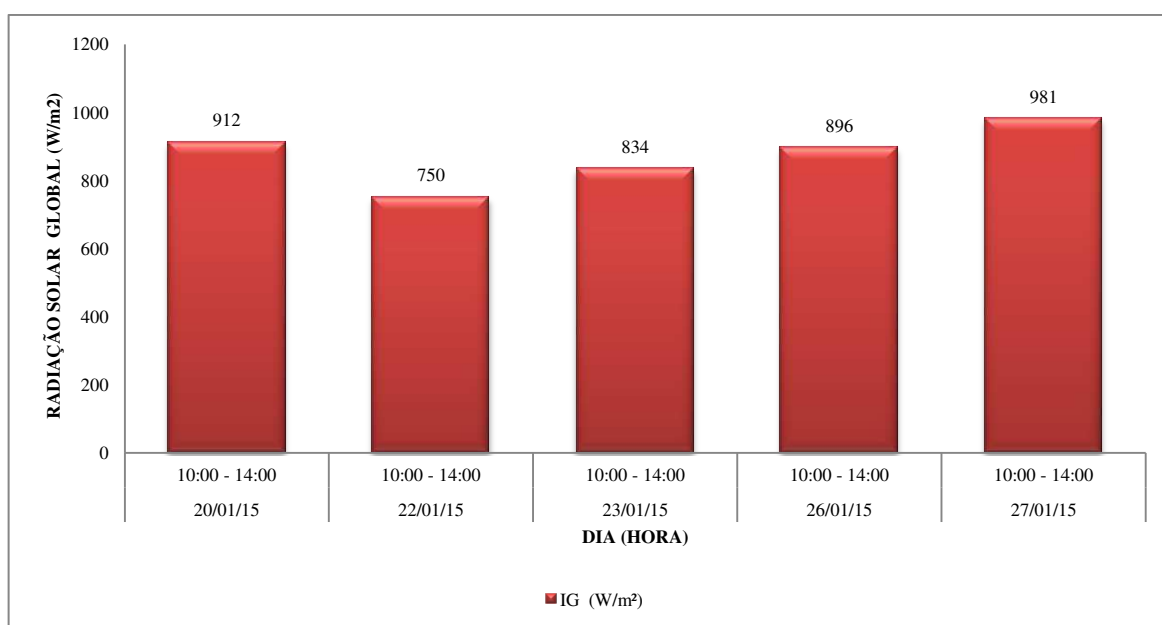
Os dados da Radiação Solar Global em (W/m^2) divulgados diariamente pelo Laboratório de Eletrônica Industrial e Acionamento de Máquina (LEIAM) e utilizados nesta pesquisa, nos mostra que os valores médios diários da radiação solar global incidente na cidade de Campina Grande – PB para os dias de ensaio ocorreram variações significativas a cada intervalo de 10 minutos.

Os gráficos com os valores médios diários da radiação solar global para os cinco dias de ensaios da configuração I: Policarbonato encontra-se no (APÊNDICE B).

É necessário compreender que neste método proposto onde se trata de uma análise comparativa entre dois tipos de cobertura era importante que não houvesse grandes diferenças de temperatura durante os ensaios a fim de não prejudicar a comparação.

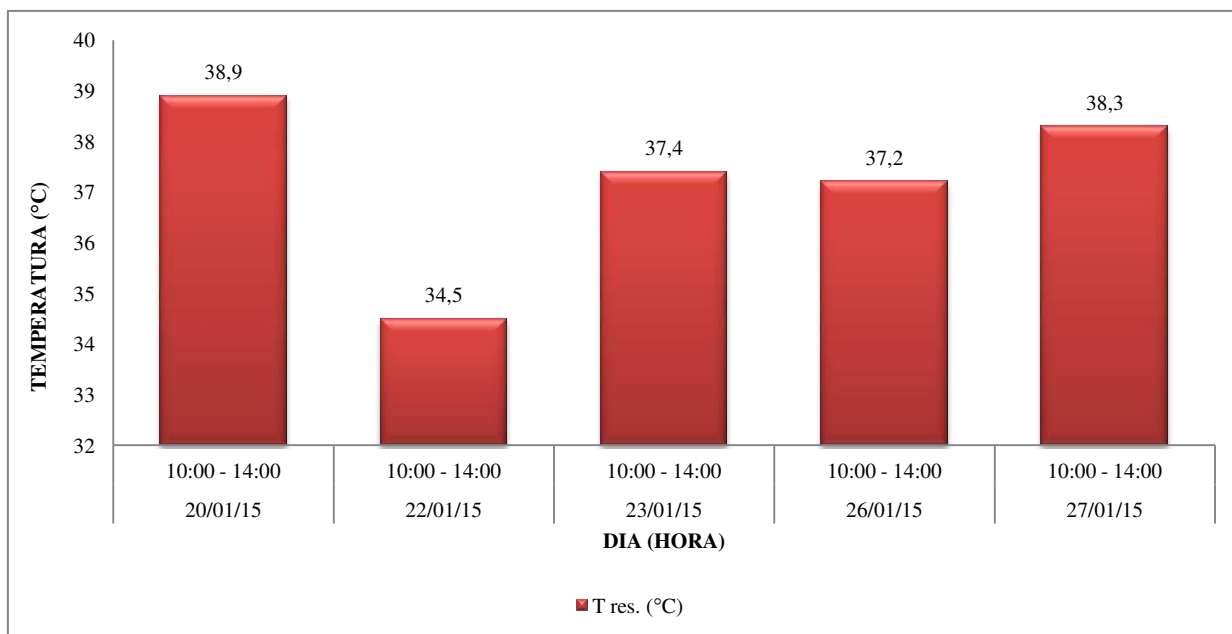
A média da radiação solar global para os dias de ensaio ficou em torno de $874,6 \text{ W/m}^2$. O gráfico da Figura 5.3 mostra o comportamento dos parâmetros térmicos dos cinco dias de ensaios para a configuração I.

**Figura 5.3 - Médias horárias da radiação solar global para a configuração I:
(Policarbonato)**



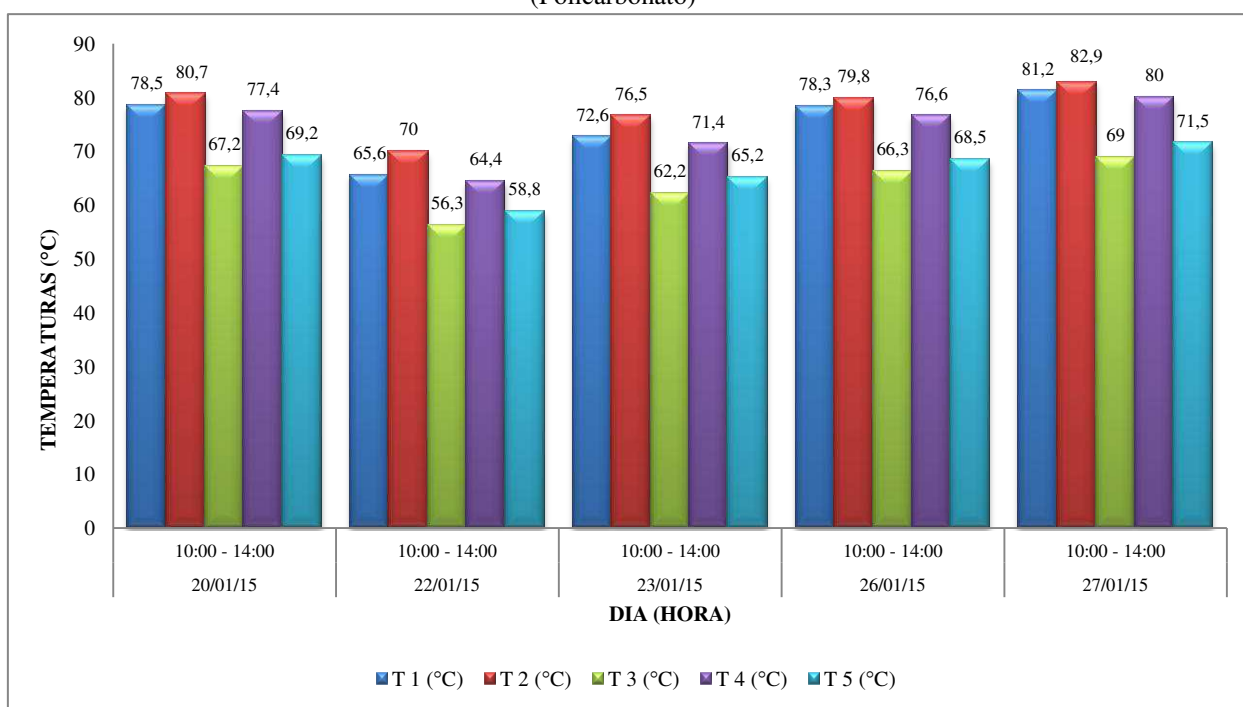
O reservatório térmico que armazena a água aquecida pelo coletor para os dias ensaiados foi capaz de propiciar água quente com uma temperatura média de $37,2^\circ\text{C}$, acima da temperatura considerada ideal para o banho que é de 34°C . A seguir o gráfico da Figura 5.4 mostra o comportamento assumido pela temperatura da água no reservatório térmico.

Figura 5.4- Temperatura da água no reservatório térmico para a configuração I: (Policarbonato)



A temperatura da superfície externa superior da placa absorvedora foram medidas através de cinco termopares distribuídos em cinco pontos distintos para a avaliação da distribuição de temperatura na referida placa. O gráfico da Figura 5.5 mostra seus valores médios horários para cada ponto da placa absorvedora para a configuração I.

Figura 5.5 – Temperaturas médias horárias nos cinco pontos da placa absorvedora para a configuração I (Policarbonato)



5.2 - Configuração II: Coletor solar plano fechado usando o vidro como cobertura

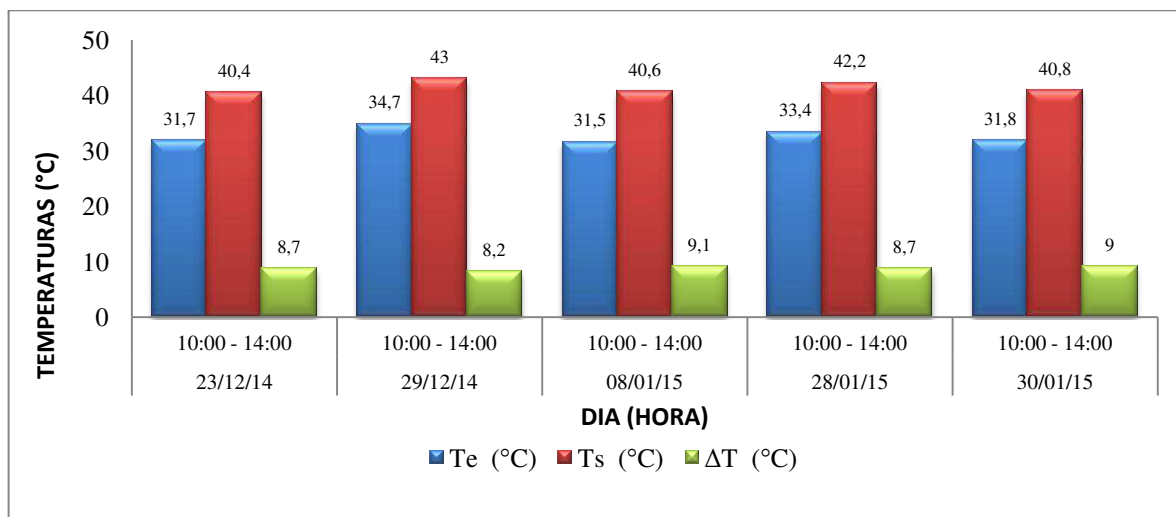
A Tabela 5.1 apresenta os valores médios horários para os cinco dias de ensaios da configuração II: Vidro.

Tabela 5.1 – Valores médios horários para os 05 dias de ensaio da configuração II: (VIDRO)

DATA	Hora	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	Text. (°C)	Te (°C)	Ts (°C)	ΔT (°C)	Tres. (°C)	m (kg/min.)	Qu (KW)	ηt (%)	IG (W/m ²)	Rad.col (kW/m ²)	U.R. (%)	Vazão (m ³ /min.)
23/12/14	10:00 - 14:00	75,8	80,2	65,9	76	73	29,3	31,7	40,4	8,7	36,7	0,895	0,542	49,8	901	1,09	29,3	0,0009
29/12/14	10:00 - 14:00	77,3	81,7	67,5	79	75,9	31	34,7	43	8,2	38,7	0,853	0,489	45,6	890	1,07	24,3	0,00085
08/01/15	10:00 - 14:00	72,6	77,6	63	75	71,2	29,6	31,5	40,6	9,1	36,6	0,875	0,551	55	849	1,02	26,6	0,0009
28/01/15	10:00 - 14:00	78	80,7	69,5	78	74,9	30	33,4	42,2	8,7	37,4	0,881	0,534	46	952	1,15	26,7	0,0009
30/01/15	10:00 - 14:00	73,9	75,9	64,9	73	70,4	31	31,8	40,8	9	36,7	0,878	0,553	56	829	1,004	28,2	0,0008
	MÉDIA	75,5	79,2	66,1	76	73	30,1	32,6	41,4	8,7	37,2	0,876	0,533	50,5	884,2	1,06	27	0,00087

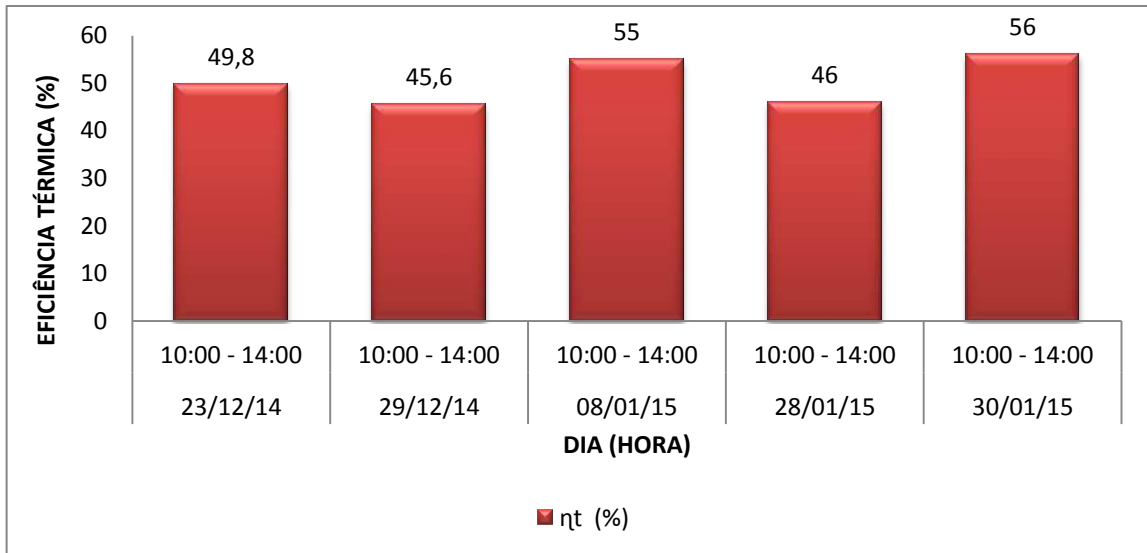
A temperatura de saída do coletor sempre esteve acima de 40,4°C sendo a maior média horária registrada de 43°C. A temperatura de entrada do coletor no início do teste sempre esteve próxima à temperatura ambiente externa, mas chegando a atingir uma média diária de 34,7°C. O gradiente máximo de temperatura obtido na água pela circulação no coletor foi de 9,1°C, com valor médio de 8,7°C e será mostrado a seguir no gráfico da Figura 5.6.

Figura 5.6- Temperaturas médias horárias de entrada e saída do coletor e da variação de temperatura da água no coletor para a configuração II: (VIDRO)



A eficiência média do coletor nesta configuração para os dias ensaiados sempre esteve acima de 45,6% chegando a registrar uma média diária de 56%, porém o valor médio horário para os cinco dias ficou em torno de 50,5%. O gráfico da Figura 5.7 mostra o comportamento assumido pelas médias horárias da eficiência térmica para a configuração II.

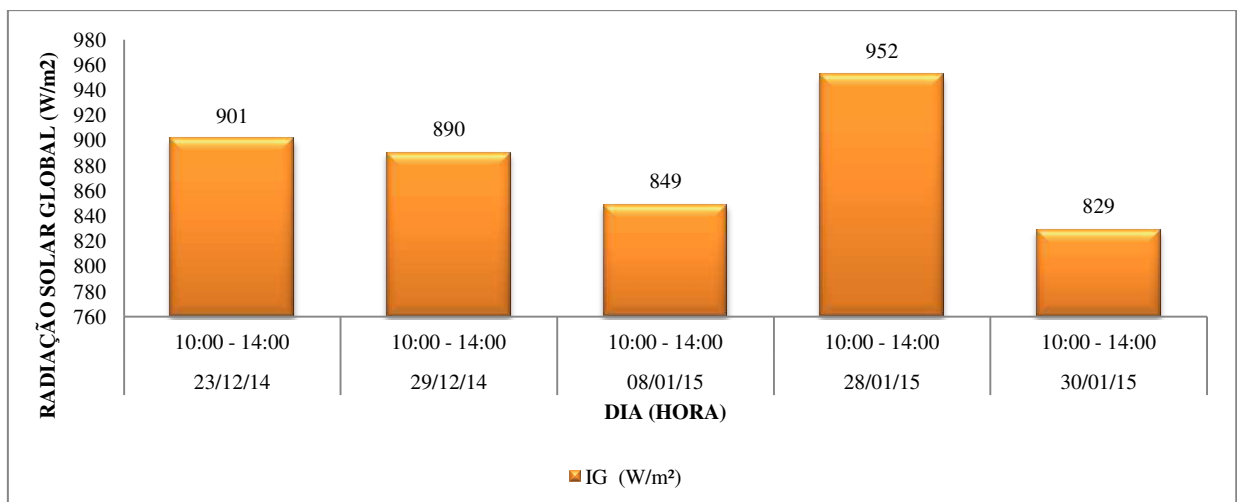
Figura 5.7- Médias horárias da eficiência térmica para a configuração II: (Vidro)



Os gráficos com os valores médios diários da radiação solar global para os cinco dias de ensaios da configuração II: Vidro encontra-se no (APÊNDICE B).

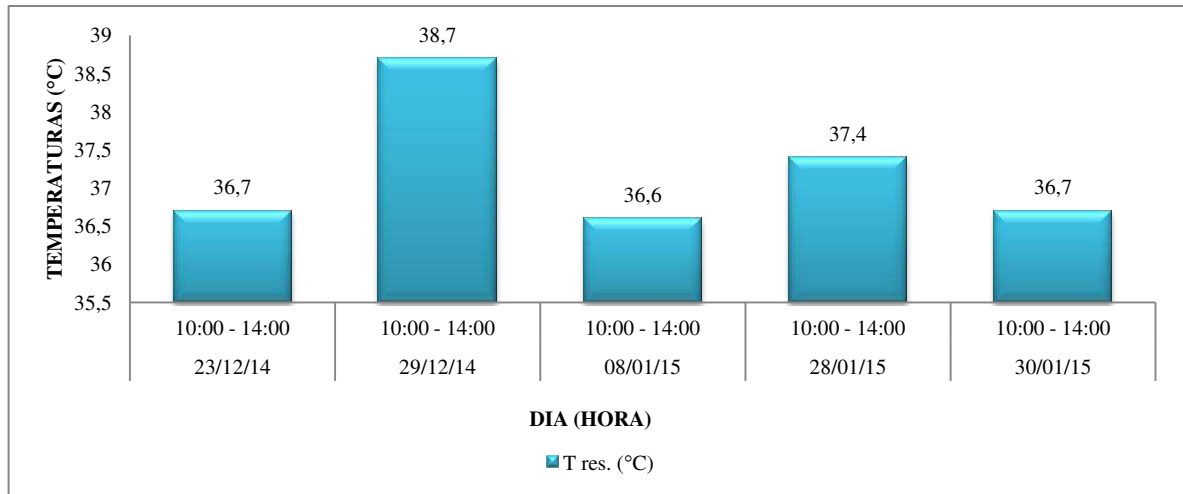
A média da radiação solar global para os dias de ensaio nesta configuração ficou em torno de 884,2 W/m². O gráfico da Figura 5.8 mostra o comportamento assumido pelas médias horárias da radiação solar global para a configuração II.

Figura 5.8 - Médias horárias da radiação solar global para a configuração II: (Vidro)



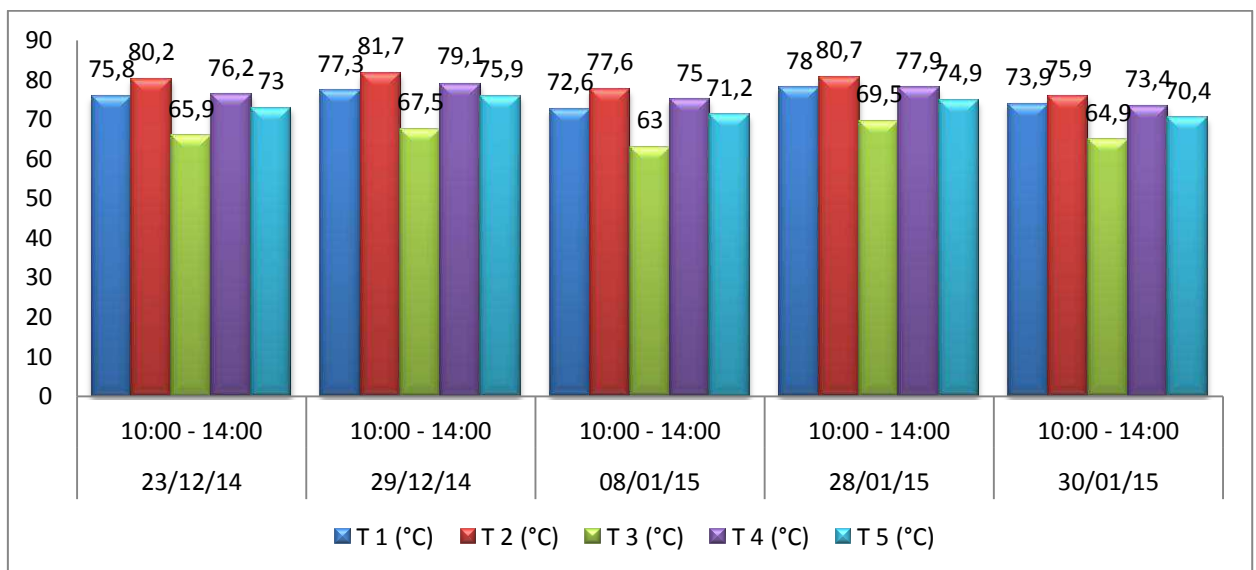
O reservatório térmico que armazena a água aquecida pelo coletor para os dias ensaiados foi capaz de propiciar água quente com uma temperatura média de 37,2°C acima da temperatura considerada ideal para o banho que é em torno de 34°C, a seguir o gráfico da Figura 5.9 mostra o comportamento assumido pela temperatura da água no reservatório térmico.

Figura 5.9 – Temperatura da água no reservatório térmico para a configuração II (Vidro)



A temperatura da superfície externa superior da placa absorvedora foram medidas através de cinco termopares distribuídos em cinco pontos distintos para a avaliação da distribuição da temperatura na referida placa. O gráfico da Figura 5.10 mostra seus valores médios horários para cada ponto da placa absorvedora para a configuração II.

Figura 5.10 – Temperatura nos 05 pontos distribuídos na placa absorvedora para a configuração II: (vidro)



5.3 - Comparação do desempenho do sistema entre as configurações estudadas

Os resultados médios para as duas configurações estudadas: cobertura de policarbonato e cobertura de vidro encontra-se apresentadas na tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Resultados médios para as duas configurações estudadas: (Policarbonato e Vidro)

CONFIGURAÇÃO	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	Text. (°C)	Te (°C)	Ts (°C)	ΔT (°C)	Tres. (°C)	m (kg/min.)	Qu (KW)	η_t (%)	IG (W/m ²)	Rad.col (kW/m ²)	U.R. (%)	Vazão (m ³ /min.)
POLICARBONATO	75,2	77,9	64,2	73,9	66,6	30,2	32,8	40,8	8,1	37,2	0,857	0,486	46,1	874,6	1,05	26	0,00092
VIDRO	75,5	79,2	66,1	76,3	73	30,1	32,6	41,4	8,7	37,2	0,876	0,533	50,5	884,2	1,06	27	0,00087

Os equipamentos disponíveis para realizar esta pesquisa não permitiram a montagem ideal do experimento, isto é, a colocação de um sistema funcionando com a cobertura de Policarbonato lado a lado com outro sistema funcionando com a cobertura de vidro, com as mesmas características físicas (montagem, coletores solares, reservatório térmico e tubulações) e que neste caso estariam submetidos às mesmas condições climáticas. Foi então instalado um único sistema com a alternativa de conexão de uma bomba para funcionamento por circulação forçada e foram efetuados os ensaios em dias alternados a fim de se obter condições homogêneas das variáveis dos ensaios e climáticas entre as duas coberturas do sistema.

Comparando-se inicialmente os ensaios pode-se dizer que submetidos a condições climáticas bastantes semelhantes o sistema de aquecimento alcançou resultados homogêneos em diversos dos parâmetros térmicos nas duas configurações estudadas. A seguir os gráficos das Figuras 5.11 e 5.12 mostram a média da eficiência e radiação para as duas configurações estudadas.

Figura 5.11 – Média da eficiência térmica para as duas configurações (Policarbonato e Vidro)

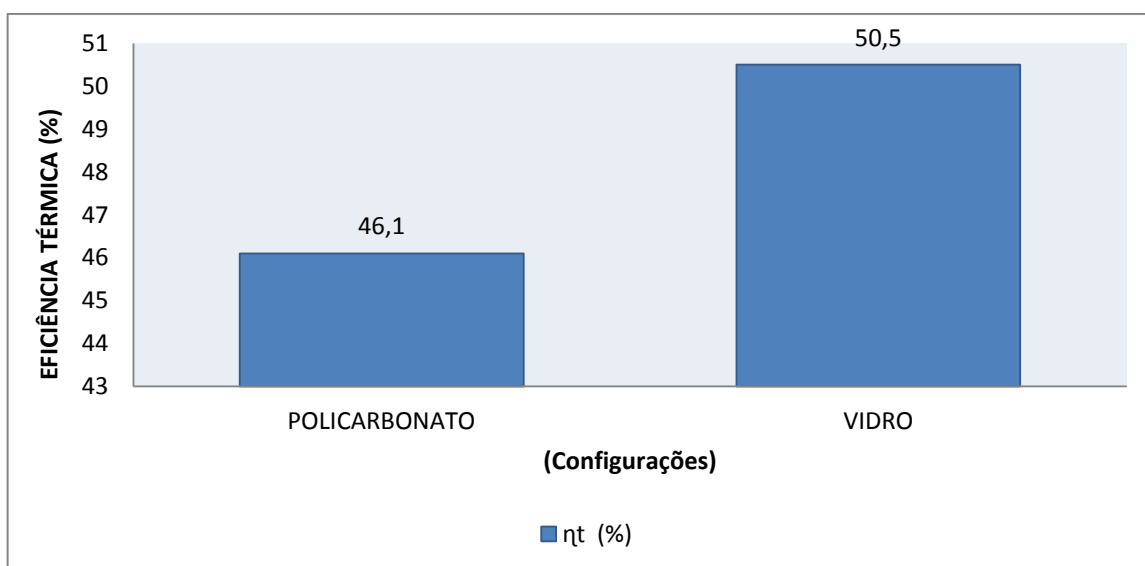
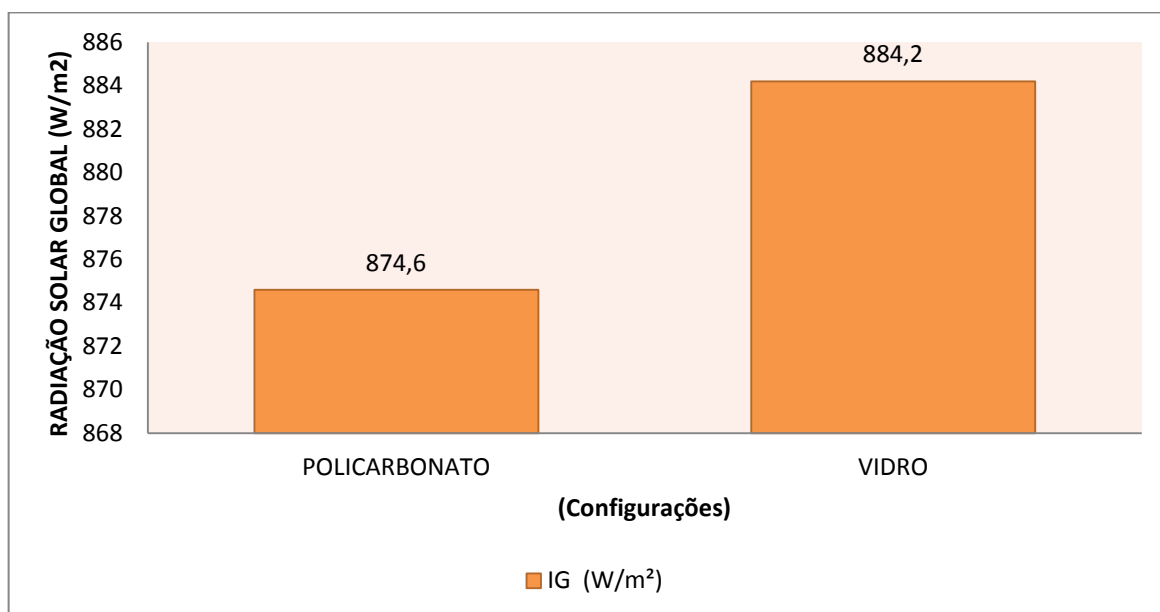


Figura 5.12 – Média da radiação solar para as duas configurações (policarbonato e Vidro)



Na configuração I (Policarbonato) que recebeu uma radiação um pouco menor que na configuração II (Vidro) ($874,6 \text{ W/m}^2$ contra $884,2 \text{ W/m}^2$) atingiu um desempenho também menor, esse resultado significativamente diferente se deu em consequência do ensaio do dia (22/01/2015) dia de menor radiação solar 750 W/m^2 em que o coletor ficou sombreado por nuvens, diminuindo a incidência de radiação direta sobre ele, esse período foi mais prolongado ocasionando assim uma queda das temperaturas da placa, entrada e saída do

fluido no coletor diminuindo a transferência de calor, como pode ser observado na Tabela do (Apêndice A2).

Comparando-se as duas configurações em que estiveram os dias submetidos a valores de radiação solar mais aproximado pode-se comparar os dias (23/12/2014 Vidro) e (26/01/2015 Policarbonato) apresentaram semelhança de resultados em quase todos os parâmetros térmicos, a eficiência do sistema para este dia em prol do vidro foi de apenas 0,9%.

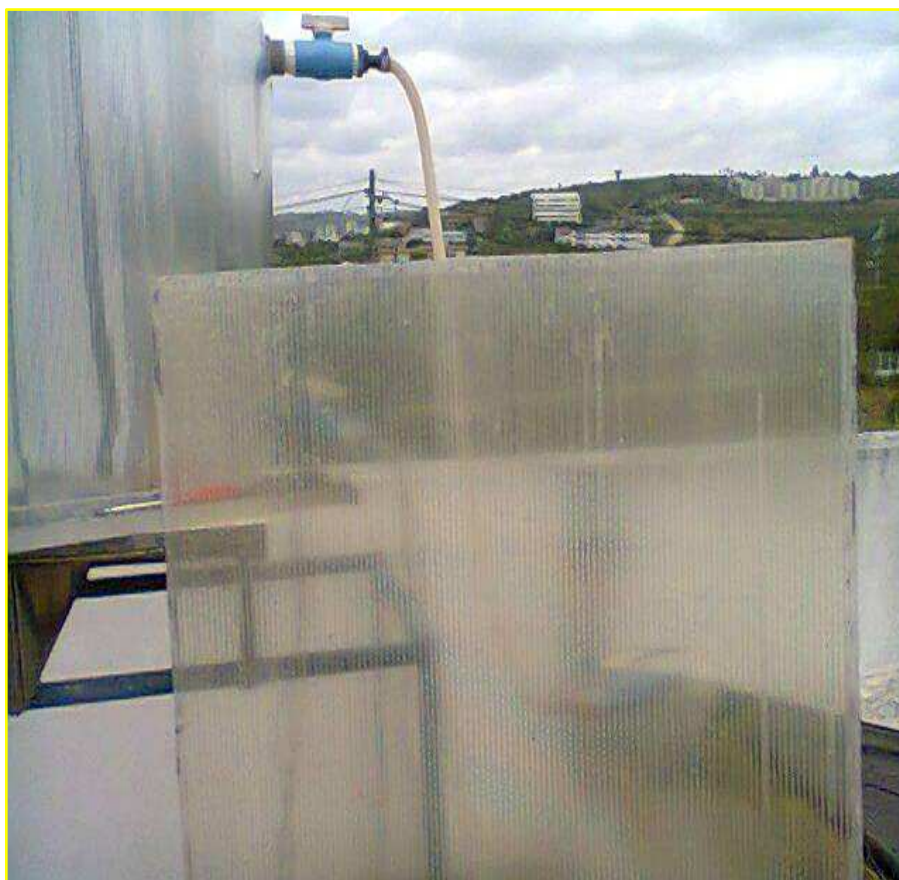
No dia (27/01/2015 policarbonato) tornou-se interessante fazer a comparação entre os resultados alcançados, pois neste dia não ocorreram nuvens para interferir nos desempenhos em quase todos os parâmetros térmicos, este foi o dia que alcançou o maior índice de radiação solar 981 W/m^2 . Fez-se a troca das placas e no dia (28/01/2015 vidro) os valores da radiação solar global para este dia atingiu 952 W/m^2 .

Comparando o dia (27/01/2015 Policarbonato) com o dia (28/01/2015 vidro) uma quantidade de radiação 29 W/m^2 maior, a diferença na eficiência para as duas configurações ficou em 2,2% em prol do vidro.

Comparando o dia (23/01/2015 policarbonato, radiação de 834 W/m^2) contra o dia (30/01/2015 vidro, radiação de 829 W/m^2) obteve-se um índice de eficiência 12,4% maior em prol do vidro.

A Figura 5.13 a seguir, mostra o resultado da cobertura de policarbonato em torno de 10 meses de exposição ao sol no referido sistema solar proposto. Segundo as especificações do fabricante a chapa de policarbonato tem 10 anos de garantia contra amarelecimento e perda de transmissão luminosa, porém foi perceptível a alteração relacionada quanto a opacidade do material mostrando uma mudança na cor quando do término do ensaio. Com relação à eficiência da referida placa não foram constatadas mudanças em curto prazo, pois os valores de temperatura incidentes sobre ela foram semelhantes entre o antes e o depois.

Figura 5.13 – Cobertura de policarbonato



Nos dois casos, configuração I e configuração II confirmam-se um melhor desempenho (embora pequeno) para o sistema solar fechado usando vidro para cobertura.

Com relação à estratificação da água no reservatório térmico, embora tenha sido feito o controle de temperatura em apenas um ponto no interior do reservatório térmico (termopar inserido no topo) foi possível avaliar os níveis de temperatura para todos os ensaios das duas configurações estudadas, demonstrando-se a viabilidade do coletor solar proposto em propiciar a obtenção de água quente destinada ao banho com uma temperatura acima de 37°C para as duas configurações.

6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÃO

Em função da análise dos dados coletados e apresentados neste trabalho chegou-se às seguintes conclusões:

Para a comparação entre as duas configurações foram escolhidos os ensaios realizados no mesmo período do ano, ou seja, no Solstício de verão quando o ângulo de incidência da radiação torna-se mais favorável para a captação do coletor.

A redução do peso é um fator importante em se tratando de coletor solar e o policarbonato além de reduzir o custo com a estrutura arquitetônica, o preço da cobertura é semelhante ao do vidro.

O resultado obtido utilizando a cobertura de policarbonato alcançou uma eficiência de 46,1%.

O resultado obtido utilizando a cobertura de vidro alcançou uma eficiência de 50,5%.

Nas condições de operação desta pesquisa ocorreu uma diferença pouco significativa de eficiência térmica ficando o sistema com a cobertura de vidro 4,4% de vantagem com relação ao sistema usando a cobertura de policarbonato confirmando um melhor desempenho para o sistema solar plano fechado usando o vidro para cobertura.

Com relação à durabilidade das coberturas empregadas pode-se afirmar que o policarbonato sofreu alterações perceptíveis quanto ao envelhecimento durante o período de ensaio.

O reservatório térmico mostrou-se eficiente com relação a sua funcionalidade para as duas configurações nos dias de uso.

Recomenda-se que outros trabalhos sejam desenvolvidos considerando dois sistemas operando em paralelo os quais estariam sob as mesmas condições climáticas e a partir dos resultados alcançados fazer um estudo a longo prazo com relação ao uso do policarbonato

para cobertura de um sistema fechado já que este não mostrou diminuição na eficiência durante o período de ensaio, apesar da possível degradação térmica.

Por fim espera-se que os resultados desta pesquisa possam contribuir para que novas pesquisas sejam realizadas, considerando sistemas com cobertura de policarbonato ou cobertura de vidro, como uma das principais alternativas para viabilizar a implantação de sistema solares de aquecimento de água em substituição a sistemas movidos por energias não renováveis e contribuindo desta forma para que se atinja o desenvolvimento sustentável e a preservação do planeta.

7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAVA – Manual de Capacitação em Projetos de Sistemas de Aquecimento Solar. Edição Abril – 2008. Disponível em <http://astro.if.ufrgs.br/esol/esol.htm> Acesso em março de 2013.

ABRAVA – Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento. Disponível em <http://www.dasolabrava.org.br>. Acesso em abril de 2014.

ALDABÓ, Ricardo. Energia Solar. São Paulo: Artibler, 2002. 155p.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Atlas da Energia Elétrica do Brasil. Energia Solar. Brasília: Aneel, 2002. Disponível em [http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-energia-solar\(3\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-energia-solar(3).pdf). Acesso em março de 2014.

[1] Melo, R.J.S.M; Cunha, D.A.C. Cunha; Pereira, E.M.D; Estudo da transmitância total de vidros e coberturas transparentes, Grupo de Estudos em Energia, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, 2002. AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA (Técnicas, Práticas e Aplicações). Artigo Extra – Cobertura de coletores solares.

[2] Raman, R; Mantell,S.; Davidson, J; Wn, C; Jorgensen,G; “A Review of Polymer material for solar water heating systems” Journal of solar energy engineering, vol. 122, maio 2000.

BUENO, E.; MARTINS, F. R.; RUTHER, S. L. A. R. São José dos Campos: INPE, 2006 ATLAS BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR –Disponível em http://www.ccst.inpe.br/wp-content/themes/ccst-2.0/atlas_solar.reduced.pdf. Acesso em junho de 2013.

BEZERRA, A. M., Energia solar: Aquecedores de Água, Editora universitária. UFPB, 221p. João Pessoa, 1986.

BEZERRA, A. M., Aplicações Térmicas da energia solar, Editora Universitária – UFPB, João Pessoa, 2001.

BRASIL. Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF 18 de outubro 2001.

CEPEL – Centro De Pesquisas de Energia Elétrica – Centro de Produções Técnicas – CPT. Tutorial: Energia Solar para aquecimento de água. Minas Gerais, 2001 (Energia Alternativa – Manual nº 307).

COELHO, Daniel Moreira: Identificação de Variáveis Críticas e Simulação de Uso de coletores Solares em Prédios Residenciais – Rio de Janeiro 2011. (Dissertação de Mestrado COPPE – UFRJ).

COLTRO, L. Avaliação do Ciclo de Vida como Instrumento de gestão. Centro de Tecnologia de Embalagens 2007.

DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. Solar engineering of thermal processes. 2 ed. New York: John Wiley & Sons, 1991.

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia Brasileira: Histórias, índices e consequências. Megadiversidade, v1, n-1, julho, p.113 – 123 2005.

FIGUEREDO, J. C. A. Performance de Sistemas de aquecimento solar de água em condomínios. V Congresso Brasileiro de Energia. Anais – vol. 1/3. Rio de Janeiro, 1990.

FROTA, A. B.: S., S.R – Manual de Conforto Térmico. São Paulo: Studio Nobel 2003. 243p.

GREENPRO – Energia Fotovoltaica – Manual sobre Tecnologia, Projetos e Instalações, 2004. Disponível em <http://www.greenpo.de/po/fotovoltaico.pdf>. Acesso em março de 2014.

GUARIENTE, L. J.; Estudo Comparativo do Desempenho Térmico de um Sistema de Aquecimento de água por Energia Solar com Circulação natural e circulação Forçada. (Dissertação de Mestrado), Londrina 2005. Universidade Estadual de Londrina UEL.

RACINE T. A. P.; ARRUDA, L. B.; BARROS FILHO, TABORIANSKI, A. M.; KAVAKITA.; V. M.; C. Y.; ARANTES, L. O. Levantamento da Arte: Energia Solar. Projeto: Tecnologias para habitação mais sustentável – Projeto Finep – São Paulo 2007.

HUDSON, L.G.; MARKELL, J.; Solar Techonology. Reston: Publishi Company, 1985.

KASTRUP, L. F. C, Tecnologia de Geração de Energia Limpa a serviço da Promoção da Saúde 2006. 117f. Dissertação (Mestrado em saúde pública) Universidade de São Paulo – Faculdade de Saúde Pública, São Paulo, 2006.

NBR 12269: Execução de Instalações de Sistemas de Energia Solar que utilizam coletores solares planos para aquecimento de água. Rio de Janeiro, abr. 1992.

PEREIRA, E. B.; Martins, F. R.; Abreu, S. L.; Rutheur, R . Atlas Brasileiro de Energia Solar. São José dos Campos: INPE, 2006. I

PEREIRA, E. B.; Martins, F. R.; Abreu, S. L.; Rutheur. Atlas Brasileiro de Energia Solar. São José dos Campos: INPE; 2006. II

PEREIRA, E. B.; COLLE, S.; Revista Ciência Hoje, 22. 1997.

PETRUCCI, A. L. Modelos para previsão do Comportamento dos Aquecedores de Acumulação em Sistemas Prediais de Água Quente. 1998. 167f. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

PHILLIPS, W. F.; DAVE, R. N. Effects of Stratification on the Performance of liquid based solar heating systems. Solar Energy, Oxford, V. 29, N.2. P.111 – 120, 1982.

POLICARBONATO ALVEOLAR–ISOPLAST. Disponível em www.isoplast.com.br/policarbonato/policarbonato_alveolar_manual acesso em abril 2014.

TESKE, S.; Greenpeace Internacional, edição Brasileira Ricardo Baitelo, Marina Yamoaka, Renata Nitta, [R] evolução Energética – Cenário Brasileiro 2013. Caminho do

Desenvolvimento Limpo Greenpeace. Disponível em:
http://issuu.com/greenpeacebrasil/docs/sumario_relatorio acesso em agosto de 2014.

RODRIGUES, D.; MATAJS, R. Um banho de sol para o Brasil. São Paulo. Vital Civilis, 2006.

SÁLES, I. C. F. Análise da Substituição do Chuveiro Elétrico por Aquecedor Solar: (Dissertação de Mestrado), Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió. 2008.

SOLAR HEATING.; COOLING PROGRAMME – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (SHC – IEA). Solar Heat Worldwide – Markets and contribution to the Energy Supply 2008. Ed. 2010. Disponível em:<<http://www.iea-shc.org>>. Acesso em abril 2014.

SOLAR TECH – Jaguaribe – João Pessoa – PB. Disponível em:
<http://www.guiamais.com.br/.../solartech-energia+solar> acesso em fevereiro de 2014.

SOLETROL: Aquecedores Solares de Água. Disponível em: <<http://www.soletrol.com.br>> acesso em janeiro de 2013.

STIVARI, S. M. S.; OLIVEIRA, A. P. de; SOARES, J. On the Climat Impacto of the Local Circulation in the Itaipu lake área. Climatic Change, V.72, p. 103 – 121 2005.

SUSTENTABILIDADE DAS EDIFICAÇÕES UTILIZANDO ENERGIA SOLAR 2010. Disponível em: www.senado.leg.br/comissoes/cma/ap20100317-brava.mesquitap.puc-minas-green-solar. Acesso em janeiro de 2014.

TIBA, C. et al. Atlas Solarimétrico do Brasil: banco de dados terrestres. Recife: Editora Universitária da UEPE, 2000.

TREIS, F. L. Simulação de sistemas de aquecimento de água por energia solar com circulação natural. 1991. 98f. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica) Universidade federal do Rio Grande do sul, Porto Alegre.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R.; Meteorologia Básica e Aplicações. Belo horizonte, Imprensa universitária, 1991.

VIDRO FLOAT – Box & Cia. Disponível em: http://www.boxecia.com.br/vidro_float.htm
acesso em abril de 2014.

APÊNDICE A

Tabelas dos cinco (05) ensaios para a Configuração I (POLICARBONATO)

Tabela A1 – Ensaio realizado no dia 20-01-2015 com cobertura de Policarbonato.

Data	Hora	Vol. (m3)	Vol. (m3/min)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	T _{ext.} (°C)	T _e (°C)	T _s (°C)	ΔT (°C)	T _{res.} (°C)	m (kg/min)	Qu (KW)	Rad.col (W/m ²)	η _t (%)	IG (W/m ²)	U.R (%)	págua (kg/m ³)
20/01/15	10:00	-	-	65	68	55	62	57	27	25	34	9	34	-	-	0,89	-	732	37	993,76
20/01/15	10:10	0,009	0,0009	73	75	61	71	63	31	26	35	9	35	0,895	0,561	0,93	60,1	771	36	994,04
20/01/15	10:20	0,0087	0,00087	58	65	50	55	54	28	26	32	6	36	0,864	0,361	0,85	42,5	703	34	993,67
20/01/15	10:30	0,0085	0,00085	78	80	66	77	69	32	26	36	10	37	0,844	0,588	1,18	50,0	972	32	993,3
20/01/15	10:40	0,0089	0,00089	77	82	65	75	68	29	27	36	9	37	0,884	0,554	1,26	44,1	1038	31	993,3
20/01/15	10:50	0,0081	0,00081	81	83	68	79	70	30	28	38	10	38	0,804	0,560	0,99	56,3	822	30	992,94
20/01/15	11:00	0,0087	0,00087	70	73	60	68	61	31	28	36	8	38	0,864	0,481	0,90	53,5	744	30	992,94
20/01/15	11:10	0,0087	0,00087	84	85	70	83	73	32	30	39	9	38	0,864	0,542	1,28	42,4	1055	28	992,94
20/01/15	11:20	0,0089	0,00089	86	89	73	85	76	34	32	41	9	38	0,884	0,554	1,32	41,9	1094	26	992,94
20/01/15	11:30	0,0082	0,00082	88	90	74	87	77	34	33	43	10	38	0,814	0,567	1,33	42,8	1096	23	992,94
20/01/15	11:40	0,0088	0,00088	87	90	74	86	76	29	33	43	10	38	0,874	0,609	1,33	45,8	1099	22	992,94
20/01/15	11:50	0,0089	0,00089	84	86	71	83	74	30	34	43	9	38	0,884	0,554	1,23	45,0	1018	21	992,94
20/01/15	12:00	0,0093	0,00093	86	88	73	85	75	29	35	44	9	39	0,923	0,579	1,31	44,3	1080	21	992,57
20/01/15	12:10	0,0087	0,00087	87	89	74	86	76	31	35	44	9	39	0,864	0,541	1,31	41,3	1083	21	992,57
20/01/15	12:20	0,0088	0,00088	87	89	74	86	76	31	36	45	9	40	0,873	0,547	1,29	42,6	1063	22	992,21
20/01/15	12:30	0,0089	0,00089	84	85	71	84	74	28	36	45	9	40	0,883	0,554	1,31	42,2	1085	23	992,21
20/01/15	12:40	0,0083	0,00083	76	80	67	76	69	31	36	44	8	40	0,824	0,459	1,16	39,5	960	23	992,21
20/01/15	12:50	0,009	0,0009	79	80	67	76	67	29	37	44	7	41	0,893	0,435	0,96	45,5	790	24	991,8
20/01/15	13:00	0,0089	0,00089	84	84	71	83	73	31	37	44	7	41	0,883	0,430	1,24	34,8	1023	24	991,8
20/01/15	13:10	0,0093	0,00093	82	82	70	81	71	29	39	45	6	41	0,922	0,386	1,06	36,3	878	24	991,8
20/01/15	13:20	0,0086	0,00086	72	77	63	69	67	28	39	45	6	41	0,853	0,357	1,04	34,3	858	24	991,8
20/01/15	13:30	0,0093	0,00093	72	79	69	78	69	30	40	45	5	41	0,922	0,321	0,95	34,0	781	24	991,8
20/01/15	13:40	0,0099	0,00099	72	70	62	71	62	30	40	45	5	42	0,981	0,342	0,67	51,2	552	24	991,39
20/01/15	13:50	0,009	0,0009	75	74	66	74	66	30	41	45	4	42	0,892	0,249	0,80	31,1	660	25	991,39
20/01/15	14:00	0,0096	0,00096	76	76	67	75	67	30	41	45	4	42	0,952	0,265	1,04	25,4	863	24	991,39

Tabela A2 – Ensaio realizado no dia 22-01-2015 com cobertura de policarbonato.

Data	Hora	Vol. (m3)	Vol. (m3/min)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	Text. (°C)	Te (°C)	Ts (°C)	ΔT (°C)	Tres. (°C)	m (kg/min)	Qu (KW)	Rad.col (W/m²)	ηt (%)	IG (W/m²)	U.R (%)	água (kg/m3)
22/01/15	10:00	-	-	54	63	48	56	53	26	24	31	7	30	-	-	0,77	-	639	42	995,65
22/01/15	10:10	0,0095	0,00095	54	61	47	54	50	26	24	31	7	30	0,946	0,461	0,83	55,8	683	42	995,65
22/01/15	10:20	0,0076	0,00076	73	75	61	74	62	34	25	36	11	30	0,757	0,580	0,86	67,7	708	36	995,65
22/01/15	10:30	0,0074	0,00074	56	63	49	54	55	26	24	31	7	31	0,737	0,359	1,02	35,1	846	32	995,4
22/01/15	10:40	0,0085	0,00085	48	52	44	47	45	26	24	30	6	31	0,846	0,354	0,70	50,3	581	33	995,4
22/01/15	10:50	0,0085	0,00085	50	54	44	48	51	26	24	30	6	31	0,846	0,354	0,68	52,2	560	33	995,4
22/01/15	11:00	0,0089	0,00089	59	63	49	57	50	29	25	32	7	31	0,886	0,432	0,61	70,8	504	32	995,4
22/01/15	11:10	0,009	0,0009	76	77	64	76	65	34	26	38	12	32	0,896	0,749	0,97	77,2	801	31	995,08
22/01/15	11:20	0,0085	0,00085	56	61	47	53	51	31	26	32	6	32	0,846	0,354	0,94	37,5	780	30	995,08
22/01/15	11:30	0,0089	0,00089	77	79	64	77	65	32	27	39	12	32	0,886	0,740	1,01	73,4	834	29	995,08
22/01/15	11:40	0,0085	0,00085	75	82	63	74	68	31	27	39	12	33	0,845	0,707	1,28	55,3	1057	23	994,68
22/01/15	11:50	0,0087	0,00087	68	75	59	65	62	31	28	37	9	34	0,865	0,542	1,09	49,8	899	21	993,76
22/01/15	12:00	0,0086	0,00086	74	80	62	71	67	29	30	39	9	35	0,855	0,536	1,24	43,3	1024	22	994,04
22/01/15	12:10	0,0083	0,00083	67	69	58	67	61	29	31	39	8	35	0,825	0,460	0,88	52,4	725	22	994,04
22/01/15	12:20	0,0084	0,00084	69	73	60	68	62	28	31	40	9	36	0,835	0,523	1,10	47,4	912	23	993,67
22/01/15	12:30	0,0073	0,00073	83	87	69	83	71	31	32	44	12	37	0,725	0,606	1,13	53,9	930	25	993,3
22/01/15	12:40	0,0085	0,00085	75	80	64	73	68	30	32	43	11	37	0,844	0,647	1,22	52,9	1011	25	993,3
22/01/15	12:50	0,0083	0,00083	76	80	65	76	66	31	33	43	10	37	0,824	0,574	0,83	69,0	688	26	993,3
22/01/15	13:00	0,0088	0,00088	53	56	47	50	49	27	32	36	4	38	0,874	0,243	0,75	32,6	618	27	992,94
22/01/15	13:10	0,0085	0,00085	75	79	63	74	64	30	34	42	8	38	0,844	0,470	0,97	48,4	804	27	992,94
22/01/15	13:20	0,0089	0,00089	68	70	59	66	61	29	35	40	5	38	0,884	0,308	0,95	32,3	787	25	992,94
22/01/15	13:30	0,0087	0,00087	67	70	58	66	59	27	35	41	6	39	0,864	0,361	0,91	39,8	750	25	992,57
22/01/15	13:40	0,0087	0,00087	67	70	59	66	60	28	36	42	6	39	0,864	0,361	0,87	41,7	716	26	992,57
22/01/15	13:50	0,0087	0,00087	61	69	54	60	54	28	36	41	5	39	0,864	0,301	0,61	49,3	504	26	992,57
22/01/15	14:00	0,0092	0,00092	59	63	52	56	53	27	36	40	4	39	0,913	0,254	0,49	52,1	404	27	992,57

Tabela A3 – Ensaio realizado no dia 23-01-2015 para a cobertura de Policarbonato

Data	Hora	Vol. (m3)	Vol. (m3/min)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	Text. (°C)	Te (°C)	Ts (°C)	ΔT (°C)	Tres. (°C)	m (kg/min)	Qu (KW)	Rad.col (W/m²)	ηt (%)	IG (W/m²)	U.R (%)	págua (kg/m3)
23/01/15	10:00	-	-	82	85	68	79	72	32	26	37	11	33	-	-	0,973	-	804	36	994,68
23/01/15	10:10	0,0084	0,00084	83	87	71	80	77	32	26	37	11	33	0,836	0,640	1,090	58,7	901	34	994,68
23/01/15	10:20	0,0096	0,00096	84	86	69	83	74	34	27	38	11	33	0,955	0,732	1,320	55,4	1091	31	994,68
23/01/15	10:30	0,0074	0,00074	86	89	71	85	76	33	27	39	12	35	0,736	0,615	1,382	44,5	1142	30	994,04
23/01/15	10:40	0,008	0,0008	62	70	56	60	58	31	27	33	6	35	0,795	0,332	1,083	30,7	895	30	994,04
23/01/15	10:50	0,0088	0,00088	76	75	62	76	64	37	28	38	10	35	0,875	0,609	1,024	59,5	846	28	994,04
23/01/15	11:00	0,0089	0,00089	74	79	61	72	62	33	28	37	9	36	0,884	0,554	1,003	55,3	829	26	993,67
23/01/15	11:10	0,0082	0,00082	79	82	60	78	69	33	29	39	10	36	0,815	0,568	1,122	50,6	927	25	993,67
23/01/15	11:20	0,0086	0,00086	62	64	54	61	55	30	29	36	7	36	0,855	0,417	0,854	48,8	706	25	993,67
23/01/15	11:30	0,0089	0,00089	79	83	67	79	71	34	31	40	9	36	0,884	0,554	1,204	46,1	995	25	993,67
23/01/15	11:40	0,0088	0,00088	77	81	67	76	69	32	32	41	9	36	0,874	0,548	1,278	42,9	1056	22	993,67
23/01/15	11:50	0,0091	0,00091	74	78	62	74	63	29	34	42	8	36	0,904	0,504	0,787	64,1	650	23	993,67
23/01/15	12:00	0,0084	0,00084	74	78	64	74	68	27	34	42	8	37	0,834	0,465	1,271	36,6	1050	22	993,3
23/01/15	12:10	0,008	0,0008	62	70	56	61	61	27	34	39	5	38	0,794	0,277	1,095	25,3	905	22	992,94
23/01/15	12:20	0,0085	0,00085	66	71	58	63	61	27	35	40	5	38	0,844	0,294	0,909	32,4	751	23	992,94
23/01/15	12:30	0,0093	0,00093	76	82	66	75	70	28	36	44	8	39	0,923	0,514	1,139	45,2	941	23	992,57
23/01/15	12:40	0,0082	0,00082	79	83	67	76	71	29	36	44	8	39	0,814	0,454	1,072	42,3	886	23	992,57
23/01/15	12:50	0,0084	0,00084	82	83	68	80	73	30	37	45	8	39	0,834	0,465	1,180	39,4	975	23	992,57
23/01/15	13:00	0,0076	0,00076	84	87	72	84	75	33	38	46	8	40	0,754	0,420	1,243	33,8	1027	22	992,21
23/01/15	13:10	0,0089	0,00089	75	78	66	74	67	31	39	46	7	41	0,883	0,430	1,055	40,8	872	23	991,8
23/01/15	13:20	0,0078	0,00078	59	62	54	58	55	30	38	42	4	41	0,774	0,216	0,711	30,3	588	22	991,8
23/01/15	13:30	0,0079	0,00079	61	66	55	60	55	29	38	43	5	41	0,784	0,273	0,584	46,7	483	23	991,8
23/01/15	13:40	0,0084	0,00084	67	68	59	65	60	30	39	44	5	41	0,833	0,290	0,785	37,0	649	23	991,8
23/01/15	13:50	0,0089	0,00089	53	59	49	53	50	28	39	42	3	41	0,883	0,184	0,442	41,8	365	23	991,8
23/01/15	14:00	0,0091	0,00091	61	67	55	61	55	31	40	44	4	41	0,903	0,252	0,630	39,9	521	23	991,8

Tabela A4 – Ensaio realizado no dia 26-01-2015 para a cobertura de Policarbonato

Data	Hora	Vol. (m3)	Vol. (m3/min)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	Text. (°C)	Te (°C)	Ts (°C)	ΔT (°C)	Tres. (°C)	m (kg/min)	Qu (KW)	Rad.col (W/m²)	ηt (%)	IG (W/m²)	U.R (%)	págua (kg/m3)
26/01/15	10:00	-	-	63	69	55	61	58	32	25	33	8	32	-	-	1,016	-	840	32	995,08
26/01/15	10:10	0,0076	0,00076	75	77	62	73	65	28	25	35	10	32	0,756	0,527	0,996	52,9	823	32	995,08
26/01/15	10:20	0,0088	0,00088	60	60	52	60	53	29	25	33	8	32	0,876	0,488	0,667	73,2	551	33	995,08
26/01/15	10:30	0,0088	0,00088	75	72	63	75	62	31	27	37	10	32	0,876	0,610	0,859	71,0	710	32	995,08
26/01/15	10:40	0,0095	0,00095	58	66	52	56	55	27	26	32	6	32	0,945	0,395	1,197	33,0	989	31	995,08
26/01/15	10:50	0,0079	0,00079	65	68	56	65	57	32	27	35	8	33	0,786	0,438	0,715	61,2	591	31	994,68
26/01/15	11:00	0,0089	0,00089	83	84	68	83	72	36	30	40	10	33	0,885	0,617	1,291	47,8	1067	30	994,68
26/01/15	11:10	0,0086	0,00086	74	67	58	68	58	31	30	39	9	34	0,855	0,536	0,799	67,1	660	30	993,76
26/01/15	11:20	0,0083	0,00083	88	90	73	87	77	30	31	42	11	35	0,825	0,632	1,407	44,9	1163	28	994,04
26/01/15	11:30	0,0087	0,00087	78	81	66	76	69	31	32	41	9	36	0,864	0,542	1,068	50,7	883	26	993,67
26/01/15	11:40	0,0091	0,00091	85	87	71	85	74	36	33	43	10	36	0,904	0,630	0,921	68,4	761	24	993,67
26/01/15	11:50	0,0077	0,00077	82	86	68	79	73	30	32	41	9	36	0,765	0,480	1,226	39,1	1013	22	993,67
26/01/15	12:00	0,0085	0,00085	84	87	71	84	73	29	34	43	9	37	0,844	0,529	1,093	48,5	903	22	993,3
26/01/15	12:10	0,0085	0,00085	89	90	75	88	77	30	34	45	11	38	0,844	0,647	1,364	47,4	1127	22	992,94
26/01/15	12:20	0,0086	0,00086	77	83	67	77	72	31	35	44	9	39	0,854	0,535	1,199	44,6	991	22	992,57
26/01/15	12:30	0,0085	0,00085	85	86	71	80	74	30	35	45	10	39	0,844	0,588	1,106	53,1	914	23	992,57
26/01/15	12:40	0,0082	0,00082	86	87	70	83	75	30	35	45	10	39	0,814	0,567	1,279	44,3	1057	24	992,57
26/01/15	12:50	0,0086	0,00086	84	85	71	83	73	29	36	46	10	40	0,853	0,594	1,135	52,4	938	24	992,21
26/01/15	13:00	0,0087	0,00087	84	85	72	81	74	30	38	46	8	41	0,863	0,481	1,254	38,4	1036	24	991,8
26/01/15	13:10	0,0083	0,00083	84	85	75	83	74	31	38	47	9	41	0,823	0,516	1,169	44,2	966	24	991,8
26/01/15	13:20	0,0085	0,00085	81	83	69	78	71	30	38	46	8	41	0,843	0,470	1,157	40,6	956	23	991,8
26/01/15	13:30	0,0089	0,00089	78	79	67	76	68	30	39	46	7	42	0,882	0,430	1,021	42,1	844	23	991,39
26/01/15	13:40	0,0082	0,00082	81	81	69	79	71	32	41	48	7	43	0,813	0,396	1,099	36,1	908	23	990,98
26/01/15	13:50	0,0086	0,00086	80	80	69	78	70	31	42	48	6	43	0,852	0,356	1,045	34,1	864	22	990,98
26/01/15	14:00	0,0084	0,00084	79	79	68	77	69	32	42	49	7	43	0,832	0,406	1,029	39,5	850	22	990,98

Tabela A5 – Ensaio realizado no dia 27-01-2015 para a cobertura de Policarbonato

Data	Hora	Vol. (m3)	Vol. (m3/min)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	Text. (°C)	Te (°C)	Ts (°C)	ΔT (°C)	Tres. (°C)	m (kg/min)	Qu (KW)	Rad.col (W/m²)	ηt (%)	IG (W/m²)	U.R (%)	págua (kg/m3)
27/01/15	10:00	-	-	74	76	62	74	64	30	26	35	9	32	-	-	1,027	-	849	34	995,05
27/01/15	10:10	0,0084	0,00084	76	75	63	76	67	32	26	36	10	32	0,836	0,58	1,153	50,5	953	32	995,05
27/01/15	10:20	0,0089	0,00089	67	73	57	64	61	32	26	34	8	33	0,885	0,49	1,152	42,8	952	32	994,68
27/01/15	10:30	0,0088	0,00088	67	72	57	66	61	32	27	35	8	34	0,875	0,49	1,145	42,6	946	31	993,76
27/01/15	10:40	0,0093	0,00093	82	84	68	81	71	31	28	38	10	34	0,924	0,64	1,197	53,8	989	32	993,76
27/01/15	10:50	0,009	0,0009	82	85	68	81	72	31	28	39	11	34	0,894	0,69	1,255	54,6	1037	28	993,76
27/01/15	11:00	0,0093	0,00093	83	86	69	83	74	34	30	40	10	35	0,924	0,64	1,274	50,5	1053	22	994,04
27/01/15	11:10	0,0083	0,00083	84	86	70	83	74	33	31	41	10	35	0,825	0,57	1,279	44,9	1057	22	994,04
27/01/15	11:20	0,0093	0,00093	85	87	71	84	75	33	32	42	10	36	0,924	0,64	1,286	50,1	1063	24	993,67
27/01/15	11:30	0,0075	0,00075	85	88	72	84	75	32	33	43	10	37	0,745	0,52	1,286	40,4	1063	23	993,3
27/01/15	11:40	0,0098	0,00098	86	88	73	85	76	27	33	44	11	38	0,973	0,75	1,285	58,0	1062	23	992,94
27/01/15	11:50	0,0091	0,00091	85	88	73	84	76	30	34	44	10	38	0,904	0,63	1,275	49,4	1054	22	992,94
27/01/15	12:00	0,0078	0,00078	87	88	73	85	76	30	35	45	10	39	0,774	0,54	1,275	42,3	1054	21	992,57
27/01/15	12:10	0,0086	0,00086	85	88	72	84	75	28	35	45	10	39	0,854	0,59	1,263	47,1	1044	21	992,57
27/01/15	12:20	0,0086	0,00086	85	87	73	84	74	29	36	45	9	40	0,853	0,54	1,257	42,6	1039	22	992,21
27/01/15	12:30	0,0085	0,00085	85	86	73	85	75	30	37	46	9	40	0,843	0,53	1,246	42,4	1030	22	992,21
27/01/15	12:40	0,0088	0,00088	85	86	73	84	75	31	38	46	8	41	0,873	0,49	1,232	39,5	1018	22	991,8
27/01/15	12:50	0,0086	0,00086	84	85	72	83	74	30	38	46	8	41	0,853	0,48	1,212	39,2	1002	23	991,8
27/01/15	13:00	0,0087	0,00087	83	84	72	82	73	31	38	46	8	42	0,863	0,48	1,183	40,6	978	23	991,39
27/01/15	13:10	0,0086	0,00086	82	83	69	80	71	30	39	46	7	42	0,853	0,42	1,152	36,1	952	23	991,39
27/01/15	13:20	0,0086	0,00086	82	82	70	80	71	30	40	48	8	43	0,852	0,47	1,116	42,6	922	23	990,98
27/01/15	13:30	0,0087	0,00087	81	81	70	79	71	32	42	48	6	43	0,862	0,36	1,077	33,5	890	22	990,98
27/01/15	13:40	0,0087	0,00087	79	79	68	77	69	30	41	47	6	43	0,862	0,36	1,047	34,4	865	22	990,98
27/01/15	13:50	0,0086	0,00086	80	80	69	78	70	30	42	49	7	44	0,852	0,42	1,048	39,6	866	22	990,57
27/01/15	14:00	0,0082	0,00082	78	77	68	76	68	30	42	48	6	44	0,812	0,34	0,976	34,8	807	22	990,57

Tabelas dos cinco (05) ensaios para a configuração II (VIDRO)

Tabela A6 – Ensaio realizado no dia 23-12-2014 para a cobertura de Vidro

Data	Hora	Vol. (m ³)	Vol. (m ³ /min)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	Text. (°C)	Te (°C)	Ts (°C)	ΔT (°C)	Tres. (°C)	m (kg/min)	Qu (KW)	Rad.col (W/m ²)	ηt (%)	IG (W/m ²)	U.R (%)	págua (kg/m ³)
23/12/14	10:00	-	-	69	77	62	75	72	31	24	34	10	30	-	-	0,765	-	632	39	995,65
23/12/14	10:10	0,0087	0,00087	80	86	68	79	77	29	25	35	10	31	0,866	0,603	1,301	46,4	1075	36	995,4
23/12/14	10:20	0,0092	0,00092	73	79	63	76	73	31	25	34	9	31	0,916	0,574	0,710	80,8	587	34	995,4
23/12/14	10:30	0,0094	0,00094	83	88	69	85	81	32	25	37	12	32	0,935	0,782	1,243	62,9	1027	32	995,08
23/12/14	10:40	0,0095	0,00095	85	92	73	89	84	35	26	38	12	32	0,945	0,790	1,390	56,8	1149	31	995,08
23/12/14	10:50	0,0084	0,00084	75	76	62	67	65	30	26	35	9	33	0,836	0,524	0,961	54,5	794	31	994,68
23/12/14	11:00	0,0089	0,00089	75	82	65	76	73	27	27	36	9	33	0,885	0,555	0,785	70,7	649	31	994,68
23/12/14	11:10	0,0091	0,00091	79	84	69	83	79	33	29	39	10	33	0,905	0,631	0,961	65,6	794	30	994,68
23/12/14	11:20	0,0093	0,00093	80	87	70	86	82	34	30	40	10	34	0,924	0,644	1,302	49,5	1076	26	993,76
23/12/14	11:30	0,009	0,0009	80	83	68	76	74	30	30	40	10	35	0,895	0,623	1,352	46,1	1117	23	994,04
23/12/14	11:40	0,009	0,0009	85	91	74	89	84	31	32	42	10	36	0,894	0,623	1,208	51,6	998	22	993,67
23/12/14	11:50	0,009	0,0009	61	63	54	55	54	27	31	37	6	36	0,894	0,374	1,037	36,0	857	22	993,67
23/12/14	12:00	0,0081	0,00081	82	87	71	85	82	28	33	43	10	37	0,805	0,561	0,997	56,2	824	28	993,3
23/12/14	12:10	0,0079	0,00079	85	91	74	84	81	28	33	43	10	37	0,785	0,547	1,342	40,7	1109	26	993,3
23/12/14	12:20	0,0089	0,00089	82	87	71	85	81	29	33	43	10	38	0,884	0,616	1,059	58,1	875	29	992,94
23/12/14	12:30	0,0088	0,00088	78	83	68	78	75	29	34	43	9	39	0,873	0,548	1,241	44,1	1026	29	992,57
23/12/14	12:40	0,0098	0,00098	83	87	72	84	81	29	35	44	9	39	0,973	0,610	1,262	48,3	1043	27	992,57
23/12/14	12:50	0,0107	0,00107	53	55	48	48	48	28	35	40	5	39	1,062	0,370	0,917	40,3	758	28	992,57
23/12/14	13:00	0,0087	0,00087	71	76	64	76	72	27	36	43	7	39	0,864	0,421	1,226	35,0	1013	29	992,57
23/12/14	13:10	0,0087	0,00087	81	83	69	74	72	28	36	45	9	39	0,864	0,541	1,223	44,3	1011	29	992,57
23/12/14	13:20	0,0093	0,00093	75	78	66	77	73	28	37	45	8	40	0,923	0,514	1,072	48,0	886	30	992,21
23/12/14	13:30	0,009	0,0009	66	67	58	60	59	26	37	42	5	40	0,893	0,311	1,047	29,7	865	30	992,21
23/12/14	13:40	0,0089	0,00089	72	75	63	73	69	27	38	44	6	40	0,883	0,369	0,877	42,1	725	31	992,21
23/12/14	13:50	0,0091	0,00091	72	75	64	73	68	28	38	45	7	41	0,903	0,440	1,013	43,5	837	31	991,8
23/12/14	14:00	0,0089	0,00089	70	74	63	72	68	28	38	45	7	41	0,883	0,430	0,969	44,4	801	30	991,8

Tabela A7 – Ensaio realizado no dia 29-12-2014 para a cobertura de Vidro

Data	Hora	Vol. (m3)	Vol. (m3/min)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	Text. (°C)	Te (°C)	Ts (°C)	ΔT (°C)	Tres. (°C)	m (kg/min)	Qu (KW)	Rad.col (W/m²)	ηt (%)	IG (W/m²)	U.R (%)	págua (kg/m3)
29/12/14	10:00	-	-	71	79	62	77	74	33	25	35	10	32	-	-	0,981	-	811	34	995,08
29/12/14	10:10	0,0087	0,00087	80	86	68	80	77	31	26	37	11	33	0,865	0,663	1,227	54,1	1014	32	994,68
29/12/14	10:20	0,0086	0,00086	74	79	63	75	74	29	26	36	10	33	0,855	0,596	1,233	48,3	1019	30	994,68
29/12/14	10:30	0,0093	0,00093	89	96	76	95	90	33	27	39	12	34	0,924	0,773	1,091	70,8	902	30	993,76
29/12/14	10:40	0,0093	0,00093	71	77	62	73	70	31	27	36	9	35	0,924	0,580	1,104	52,5	912	27	994,04
29/12/14	10:50	0,0084	0,00084	65	70	59	67	64	29	27	35	8	35	0,835	0,465	0,825	56,4	682	26	994,04
29/12/14	11:00	0,0091	0,00091	83	89	71	86	83	31	30	40	10	35	0,905	0,630	1,162	54,3	960	25	994,04
29/12/14	11:10	0,0094	0,00094	79	83	67	73	72	29	30	39	9	35	0,934	0,586	1,256	46,6	1038	24	994,04
29/12/14	11:20	0,0086	0,00086	62	66	55	62	61	29	32	38	6	36	0,855	0,357	0,747	47,8	617	25	993,67
29/12/14	11:30	0,0082	0,00082	82	87	70	87	83	30	33	43	10	36	0,815	0,568	0,985	57,6	814	24	993,67
29/12/14	11:40	0,0091	0,00091	87	91	75	89	85	32	36	45	9	38	0,904	0,567	1,251	45,3	1034	21	992,94
29/12/14	11:50	0,0087	0,00087	88	92	76	90	85	33	36	46	10	39	0,864	0,602	1,331	45,2	1100	20	992,57
29/12/14	12:00	0,0085	0,00085	87	92	76	91	85	32	37	46	9	40	0,843	0,529	1,248	42,4	1031	21	992,21
29/12/14	12:10	0,0089	0,00089	76	78	66	75	73	29	36	44	8	40	0,883	0,492	1,297	37,9	1072	21	992,21
29/12/14	12:20	0,0089	0,00089	56	61	53	65	61	30	36	40	4	40	0,883	0,246	0,486	50,6	402	22	992,21
29/12/14	12:30	0,0094	0,00094	73	77	65	79	75	31	38	45	7	40	0,933	0,455	1,372	33,1	1134	23	992,21
29/12/14	12:40	0,0079	0,00079	82	86	72	84	81	30	38	46	8	40	0,784	0,437	1,245	35,1	1029	23	992,21
29/12/14	12:50	0,0086	0,00086	83	87	72	84	81	33	39	47	8	41	0,853	0,475	1,174	40,5	970	23	991,8
29/12/14	13:00	0,0074	0,00074	84	88	73	85	81	31	39	47	8	42	0,734	0,409	1,135	36,0	938	23	991,39
29/12/14	13:10	0,0087	0,00087	81	84	70	81	77	30	40	47	7	42	0,863	0,421	1,097	38,3	907	23	991,39
29/12/14	13:20	0,0086	0,00086	77	80	68	77	74	31	41	47	6	43	0,852	0,356	0,962	37,0	795	23	990,98
29/12/14	13:30	0,0077	0,00077	78	82	69	79	76	33	42	49	7	44	0,763	0,372	0,974	38,2	805	22	990,57
29/12/14	13:40	0,0078	0,00078	77	80	68	77	74	33	42	49	7	45	0,772	0,377	0,976	38,6	807	22	990,16
29/12/14	13:50	0,0084	0,00084	75	77	67	75	73	31	43	50	7	45	0,832	0,406	0,910	44,6	752	22	990,16
29/12/14	14:00	0,008	0,0008	73	76	65	73	70	32	43	50	7	45	0,792	0,386	0,862	44,8	712	22	990,16

Tabela A8 – Ensaio realizado no dia 08-01-2015 para a cobertura de Vidro

Data	Hora	Vol. (m3)	Vol. (m3/min)	T 1 (°C)	T 2 (°C)	T 3 (°C)	4 (°C)	T 5 (°C)	Text. (°C)	Te (°C)	Ts (°C)	ΔT (°C)	T res. (°C)	m (kg/min)	Qu (KW)	Rad.col (W/m²)	ηt (%)	IG (W/m²)	U.R (%)	págua (kg/m3)
08/01/15	10:00	-	-	74	81	63	77	75	32	25	35	10	31	-	-	1,079	-	892	35	995,4
08/01/15	10:10	0,0092	0,00092	57	63	51	64	67	30	25	31	6	31	0,916	0,383	0,783	49	647	33	995,4
08/01/15	10:20	0,0089	0,00089	59	65	52	61	58	29	25	32	7	31	0,886	0,432	0,887	49	733	32	995,4
08/01/15	10:30	0,0093	0,00093	73	76	62	67	65	29	25	34	9	31	0,926	0,580	1,064	55	879	31	995,4
08/01/15	10:40	0,0098	0,00098	70	77	62	78	74	34	26	35	9	32	0,975	0,611	0,668	92	552	31	995,08
08/01/15	10:50	0,0077	0,00077	68	76	60	77	73	32	26	35	9	32	0,766	0,480	0,699	69	578	30	995,08
08/01/15	11:00	0,0083	0,00083	58	60	50	53	50	27	26	32	6	32	0,826	0,345	0,978	35	808	30	995,08
08/01/15	11:10	0,0087	0,00087	80	86	69	84	79	29	28	38	10	32	0,866	0,603	1,091	55	902	28	995,08
08/01/15	11:20	0,0082	0,00082	74	80	65	80	76	31	30	39	9	33	0,816	0,511	0,741	69	612	24	994,68
08/01/15	11:30	0,0083	0,00083	65	68	58	65	61	34	30	40	10	34	0,825	0,575	0,897	64	741	23	993,76
08/01/15	11:40	0,0088	0,00088	70	77	62	79	74	29	31	40	9	34	0,875	0,548	0,985	56	814	24	993,76
08/01/15	11:50	0,0083	0,00083	87	93	75	90	85	29	32	43	11	35	0,825	0,632	1,325	48	1095	22	994,04
08/01/15	12:00	0,0077	0,00077	78	84	69	84	79	30	32	43	11	36	0,765	0,586	0,876	67	724	23	993,67
08/01/15	12:10	0,0072	0,00072	86	92	75	90	85	30	33	44	11	37	0,715	0,548	1,353	41	1118	23	993,3
08/01/15	12:20	0,0096	0,00096	79	84	69	84	79	29	33	44	11	38	0,953	0,730	1,335	55	1103	23	992,94
08/01/15	12:30	0,0081	0,00081	78	84	68	83	77	29	33	45	12	39	0,804	0,672	1,287	52	1064	25	992,57
08/01/15	12:40	0,0088	0,00088	80	85	70	83	78	28	34	45	11	39	0,873	0,669	1,283	52	1060	25	992,57
08/01/15	12:50	0,0079	0,00079	73	78	65	78	74	30	35	45	10	40	0,784	0,546	1,054	52	871	27	992,21
08/01/15	13:00	0,0094	0,00094	69	70	61	63	61	27	35	44	9	40	0,933	0,585	1,061	55	877	26	992,21
08/01/15	13:10	0,0096	0,00096	78	83	69	82	77	29	36	45	9	40	0,953	0,597	1,125	53	930	25	992,21
08/01/15	13:20	0,0096	0,00096	82	85	71	84	79	30	37	47	10	40	0,953	0,664	1,233	54	1019	25	992,21
08/01/15	13:30	0,0095	0,00095	72	73	63	65	62	30	37	45	8	40	0,943	0,525	1,202	45	993	25	992,21
08/01/15	13:40	0,009	0,0009	60	61	54	56	54	27	37	43	6	41	0,893	0,373	0,629	59	520	25	991,8
08/01/15	13:50	0,0099	0,00099	71	74	63	74	69	30	39	46	7	41	0,982	0,479	1,045	46	864	25	991,8
08/01/15	14:00	0,0095	0,00095	74	76	65	76	71	28	39	47	8	41	0,942	0,525	1,003	52	829	25	991,8

Tabela A9 – Ensaio realizado no dia 28-01-2015 para a cobertura de Vidro

Data	Hora	Vol. (m3)	Vol. (m3/min)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	Text. (°C)	Te (°C)	Ts (°C)	ΔT (°C)	T res. (°C)	m (kg/min)	Qu (KW)	Rad.col (W/m²)	ηt (%)	IG (W/m²)	U.R (%)	págua (kg/m3)
28/01/15	10:00	-	-	74	75	65	73	74	32	26	36	10	31	-	-	0,955	-	789	33	995,4
28/01/15	10:10	0,0085	0,00085	75	77	67	76	76	32	26	36	10	31	0,846	0,589	0,926	64	765	33	995,4
28/01/15	10:20	0,0094	0,00094	72	76	63	72	69	28	26	36	10	32	0,935	0,652	1,205	54	996	33	995,08
28/01/15	10:30	0,0087	0,00087	77	81	66	77	72	31	26	36	10	32	0,866	0,603	1,261	48	1042	31	995,08
28/01/15	10:40	0,0099	0,00099	67	73	59	68	66	31	27	36	9	33	0,985	0,617	1,182	52	977	31	994,68
28/01/15	10:50	0,0089	0,00089	73	77	63	73	69	31	27	37	10	33	0,885	0,617	1,054	59	871	31	994,68
28/01/15	11:00	0,0091	0,00091	69	77	60	69	63	28	27	35	8	33	0,905	0,504	1,238	41	1023	30	994,68
28/01/15	11:10	0,0085	0,00085	73	78	64	74	71	31	29	38	9	34	0,845	0,530	1,193	44	986	29	993,76
28/01/15	11:20	0,0089	0,00089	83	84	73	84	81	28	30	40	10	35	0,885	0,616	1,295	48	1070	27	994,04
28/01/15	11:30	0,0089	0,00089	85	86	74	85	83	28	31	42	11	36	0,884	0,678	1,232	55	1018	24	993,67
28/01/15	11:40	0,0089	0,00089	86	87	76	87	85	29	32	43	11	36	0,884	0,678	1,333	51	1102	22	993,67
28/01/15	11:50	0,0088	0,00088	85	88	76	86	84	30	33	44	11	37	0,874	0,670	1,318	51	1089	22	993,3
28/01/15	12:00	0,0091	0,00091	87	88	76	88	84	30	35	45	10	38	0,904	0,629	1,325	48	1095	22	992,94
28/01/15	12:10	0,0088	0,00088	86	85	76	85	83	31	36	46	10	39	0,873	0,609	1,308	47	1081	22	992,57
28/01/15	12:20	0,0086	0,00086	84	89	73	83	76	30	36	44	8	40	0,853	0,476	1,331	36	1100	23	992,21
28/01/15	12:30	0,0086	0,00086	79	83	69	77	73	28	36	45	9	40	0,853	0,535	0,955	56	789	24	992,21
28/01/15	12:40	0,0098	0,00098	67	74	60	66	64	27	36	42	6	40	0,972	0,406	1,022	40	845	25	992,21
28/01/15	12:50	0,0079	0,00079	83	83	74	83	80	29	37	46	9	40	0,784	0,491	1,202	41	993	26	992,21
28/01/15	13:00	0,0089	0,00089	71	77	63	70	67	30	38	44	6	41	0,883	0,369	1,139	32	941	27	992,21
28/01/15	13:10	0,0089	0,00089	83	85	75	83	79	30	38	47	9	41	0,883	0,553	1,145	48	946	26	991,8
28/01/15	13:20	0,0087	0,00087	76	79	70	76	73	30	39	46	7	41	0,863	0,421	1,117	38	923	25	991,8
28/01/15	13:30	0,0086	0,00086	80	81	72	80	76	31	40	47	7	42	0,853	0,416	1,042	40	861	27	991,39
28/01/15	13:40	0,0089	0,00089	78	78	71	78	75	32	42	48	6	43	0,882	0,369	1,041	35	860	25	990,98
28/01/15	13:50	0,0087	0,00087	77	77	79	77	75	33	42	48	6	43	0,862	0,360	0,972	37	803	25	990,98
28/01/15	14:00	0,0088	0,00088	80	80	75	79	76	30	42	49	7	44	0,872	0,425	1,010	42	835	25	990,57

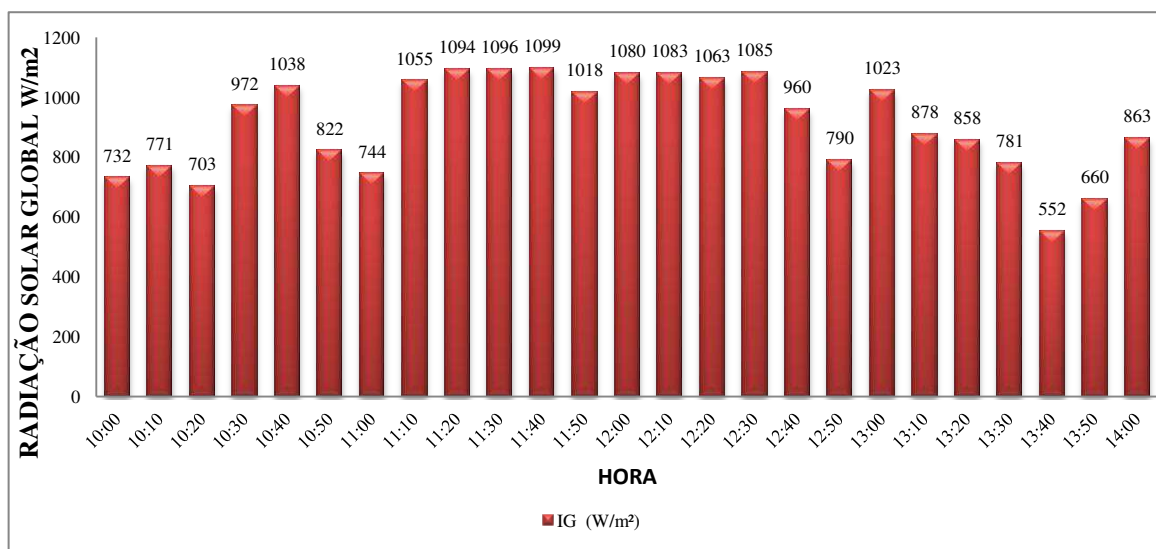
Tabela A10 – Ensaio realizado no dia 30-01-2015 para a cobertura de Vidro

Data	Hora	Vol. (m3)	Vol. (m3/min)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	Text. (°C)	Te (°C)	Ts (°C)	ΔT (°C)	Tres. (°C)	m (kg/min)	Qu (KW)	Rad.col (W/m²)	ηt (%)	IG (W/m²)	U.R (%)	págua (kg/m3)
30/01/15	10:00	-	-	66	76	57	63	60	30	25	33	8	32	-	-	1,053	-	870	41	995,08
30/01/15	10:10	0,0091	0,00091	78	79	69	77	77	35	26	37	11	32	0,906	0,694	0,864	80,3	714	39	995,08
30/01/15	10:20	0,0086	0,00086	72	72	63	72	71	33	26	36	10	32	0,856	0,596	0,929	64,2	768	36	995,08
30/01/15	10:30	0,0086	0,00086	58	61	50	56	54	26	26	31	5	32	0,856	0,298	0,572	52,1	473	35	995,08
30/01/15	10:40	0,0095	0,00095	55	55	48	55	52	27	26	31	5	33	0,945	0,329	0,509	64,6	421	34	994,68
30/01/15	10:50	0,0078	0,00078	77	75	68	79	77	33	26	37	11	33	0,776	0,595	0,995	59,8	822	31	994,68
30/01/15	11:00	0,0086	0,00086	77	83	65	76	71	28	26	36	10	33	0,855	0,596	1,200	49,6	992	30	994,68
30/01/15	11:10	0,0088	0,00088	87	86	76	89	85	34	27	40	13	33	0,875	0,793	1,061	74,7	877	30	994,68
30/01/15	11:20	0,0083	0,00083	67	70	60	68	68	34	27	36	9	34	0,825	0,517	1,159	44,6	958	28	993,76
30/01/15	11:30	0,0096	0,00096	63	67	55	62	61	31	28	36	8	35	0,954	0,532	1,041	51,1	860	27	994,04
30/01/15	11:40	0,0077	0,00077	77	74	71	78	78	36	31	41	10	36	0,765	0,533	0,956	55,8	790	26	993,67
30/01/15	11:50	0,0086	0,00086	75	77	66	74	70	31	31	40	9	37	0,854	0,536	1,209	44,3	999	23	993,3
30/01/15	12:00	0,0078	0,00078	84	86	74	84	83	31	32	43	11	37	0,775	0,594	1,090	54,5	901	23	993,3
30/01/15	12:10	0,0097	0,00097	89	91	78	90	87	31	33	45	12	37	0,964	0,805	1,402	57,4	1159	23	993,3
30/01/15	12:20	0,0087	0,00087	74	79	63	72	67	29	33	44	11	38	0,864	0,662	1,031	64,2	852	24	992,94
30/01/15	12:30	0,0087	0,00087	71	78	62	70	65	31	34	44	10	39	0,864	0,602	1,117	53,9	923	25	992,57
30/01/15	12:40	0,0093	0,00093	73	74	62	72	67	31	35	44	9	39	0,923	0,579	0,757	76,4	626	27	992,57
30/01/15	12:50	0,0094	0,00094	66	72	58	65	60	28	35	43	8	39	0,933	0,520	0,946	55,0	782	27	992,57
30/01/15	13:00	0,0094	0,00094	81	80	71	81	77	32	37	45	8	40	0,933	0,520	1,111	46,8	918	26	992,21
30/01/15	13:10	0,0091	0,00091	78	79	69	76	71	31	37	45	8	40	0,903	0,503	1,094	46,0	904	26	992,21
30/01/15	13:20	0,0088	0,00088	75	77	66	74	70	31	38	45	7	41	0,873	0,426	0,974	43,7	805	26	991,8
30/01/15	13:30	0,0088	0,00088	80	80	71	80	76	32	39	47	8	41	0,873	0,486	1,021	47,6	844	25	991,8
30/01/15	13:40	0,0092	0,00092	76	77	67	74	69	31	39	47	8	42	0,912	0,508	1,041	48,8	860	25	991,39
30/01/15	13:50	0,0088	0,00088	75	76	67	75	73	31	39	47	8	42	0,872	0,486	0,981	49,5	811	25	991,39
30/01/15	14:00	0,0092	0,00092	75	75	68	74	72	30	39	48	9	42	0,912	0,572	0,979	58,4	809	25	991,39

APÊNDICE B

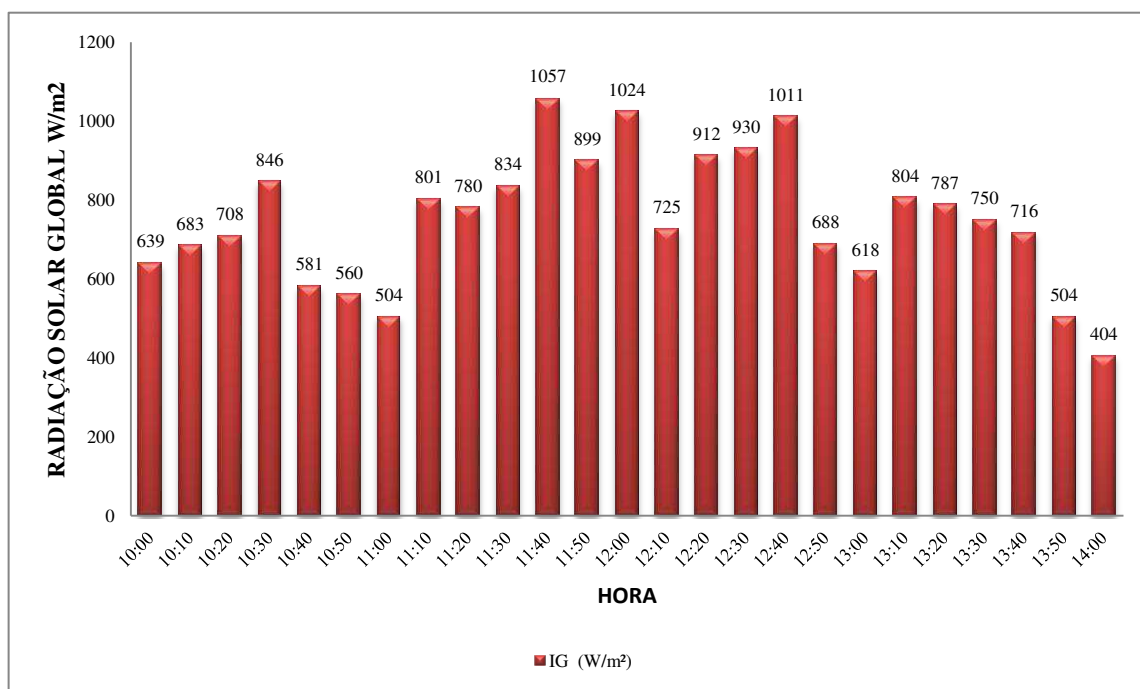
GRÁFICOS DARADIAÇÃO SOLAR GLOBAL PARA A CONFIGURAÇÃO I: (POLICARBONATO).

Figura B1 – Radiação solar global (W/m²) do dia (20-01-2015) para a configuração I.



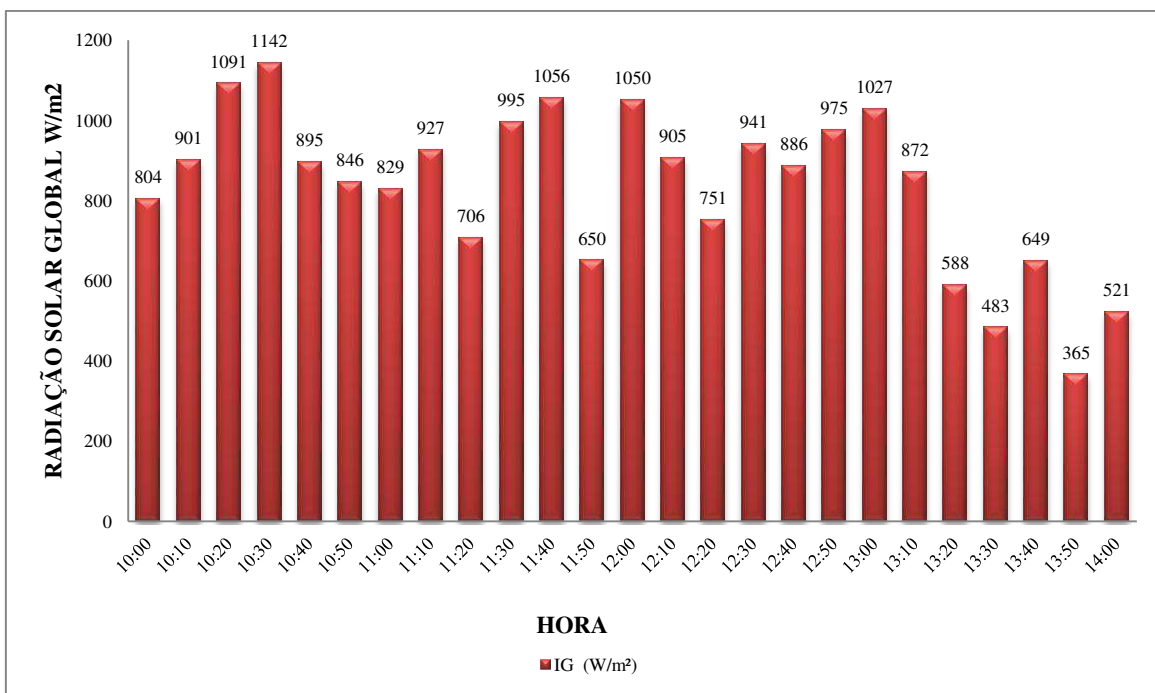
Fonte – (LEIAM)

Figura B2 – Radiação solar global (W/m²) do dia (22-01-2015) para a configuração I



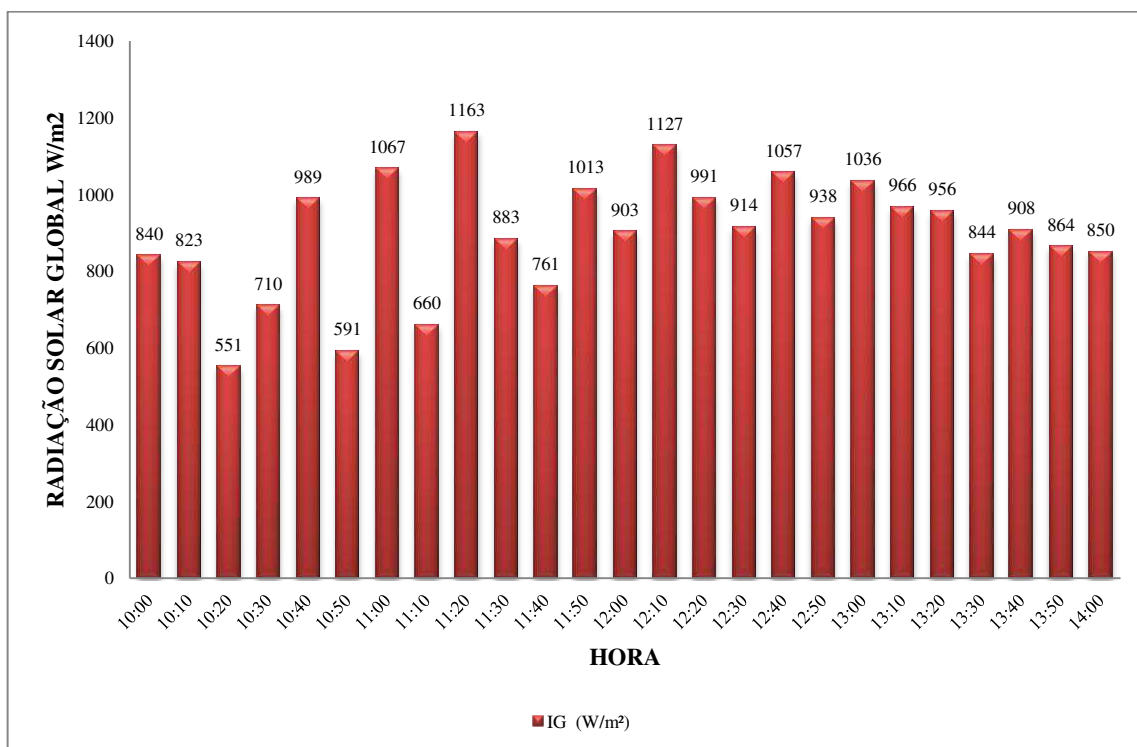
Fonte – (LEIAM)

Figura B3 – Radiação solar global (W/m²) do dia (23-01-2015) para a configuração I.



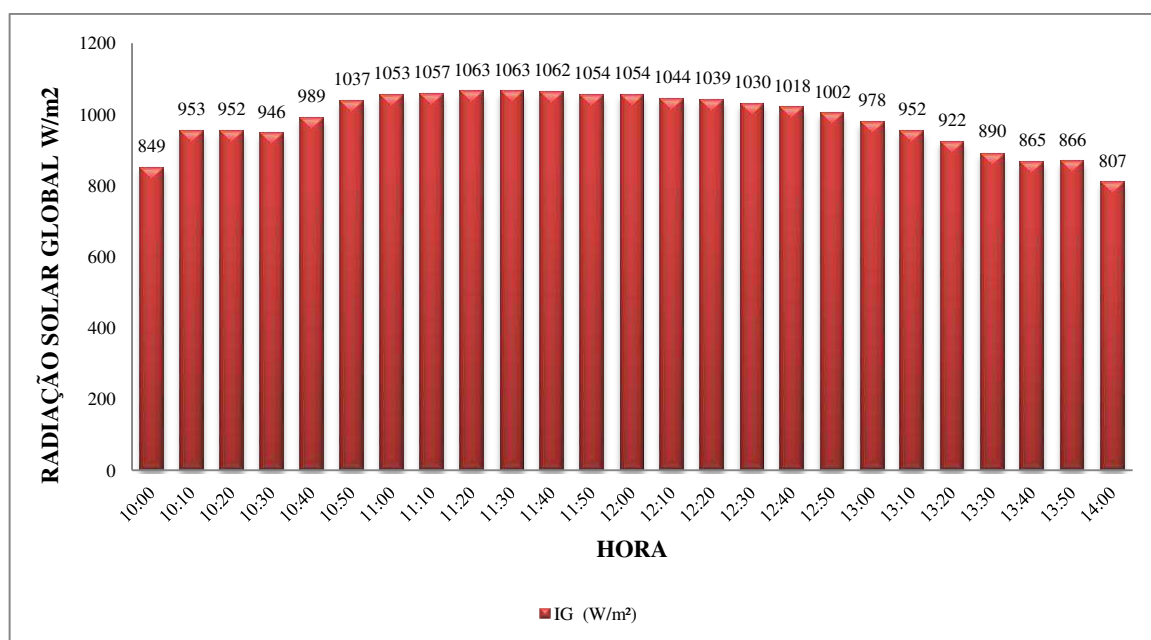
Fonte – (LEIAM)

Figura B4: Radiação solar global (W/m²) do dia (26-01-2015) para a configuração I.



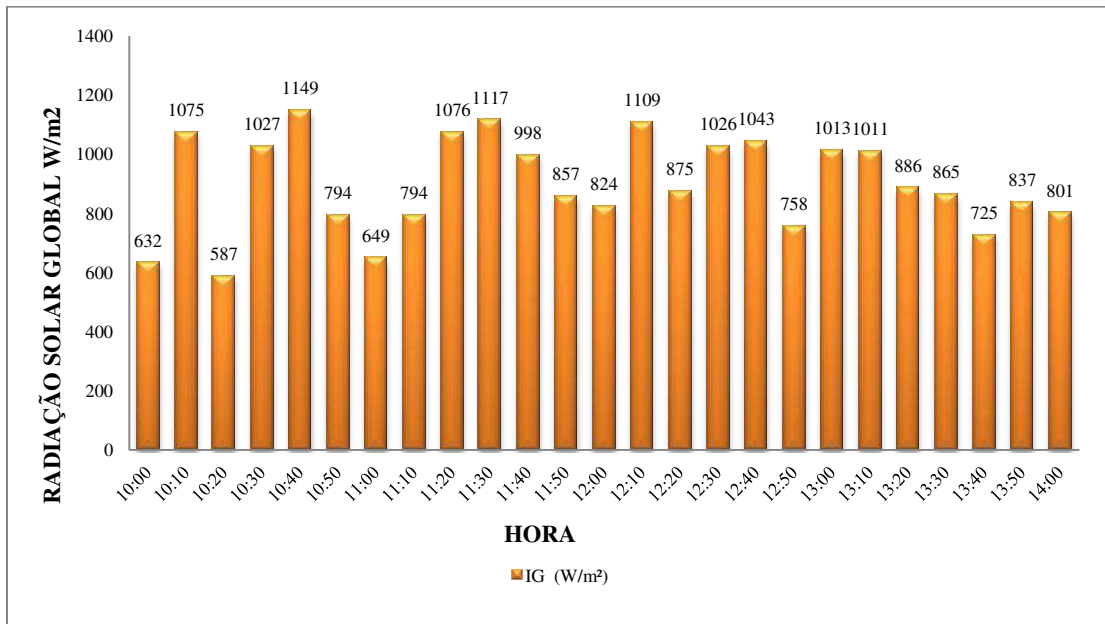
Fonte – (LEIAM)

Figura B5: Radiação solar global (W/m²) do dia (27-01-2015) para a configuração I



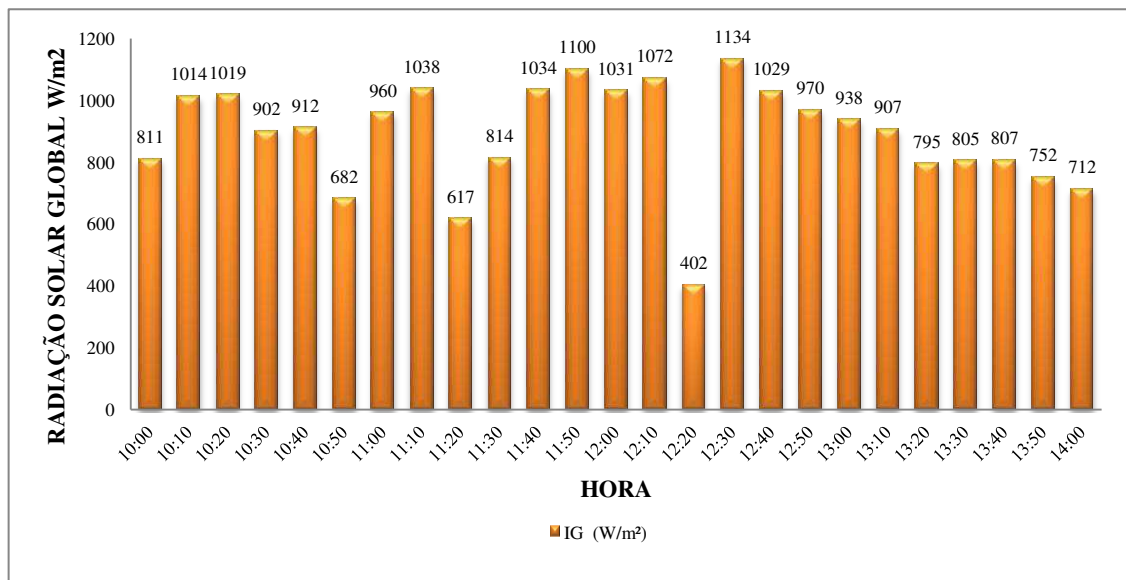
Gráficos da radiação solar global para a configuração II: (vidro)

Figura B6 – Radiação solar global (W/m^2) do dia (23-12-2014) para a configuração II:



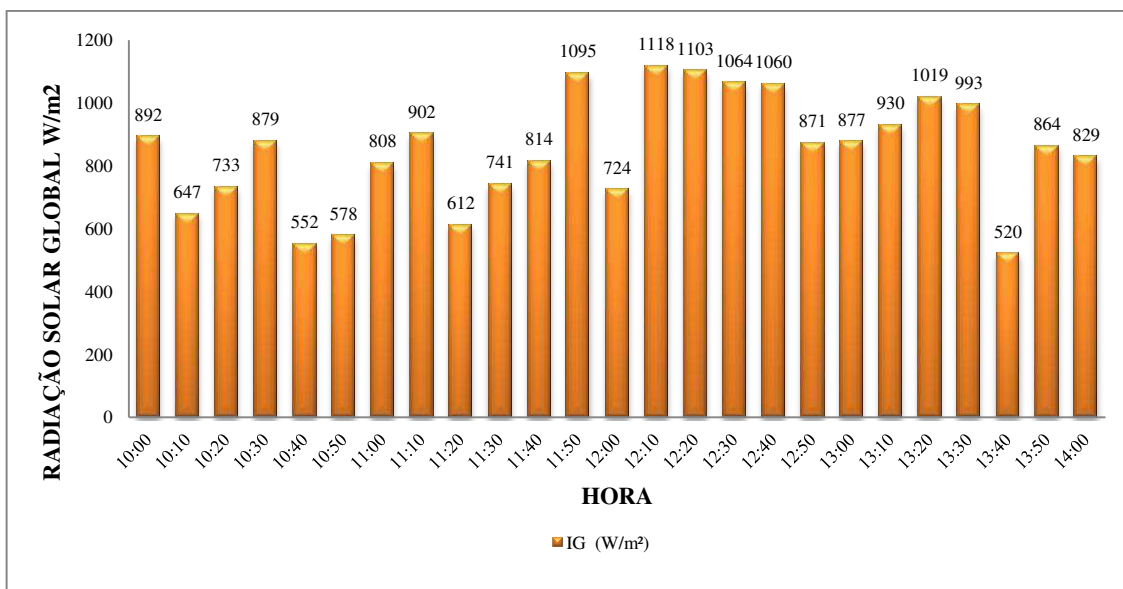
Fonte - (LEIAM)

Figura B7 – Radiação solar global (W/m^2) do dia (29-12-2014) para a configuração II



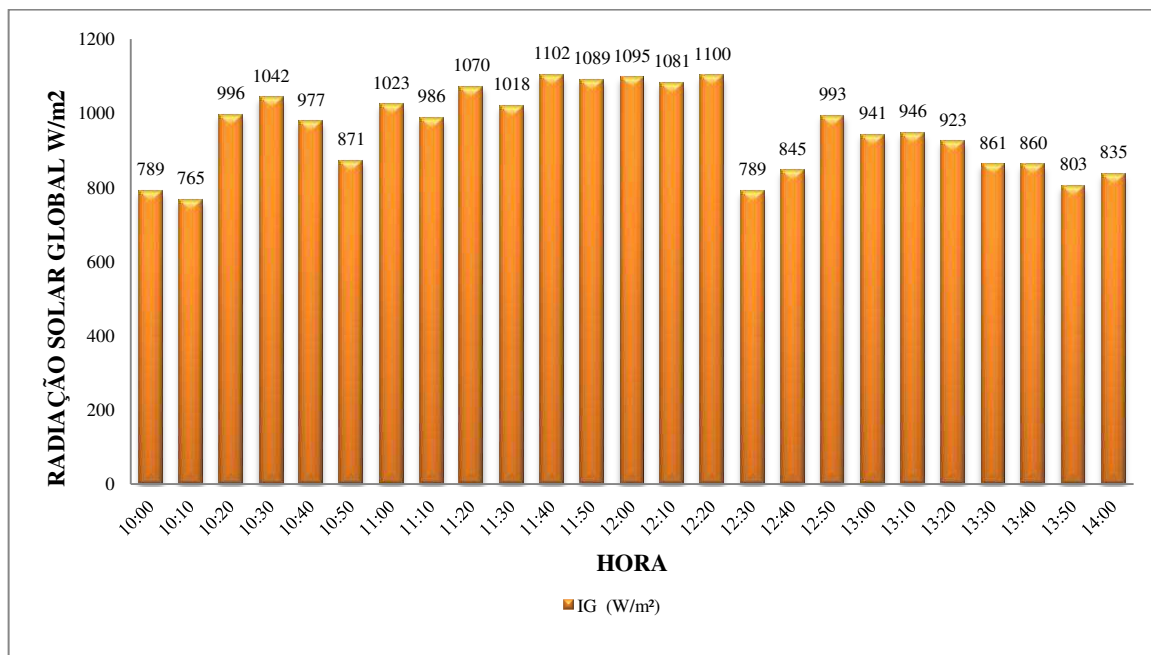
Fonte - (LEIAM)

Figura B8 – Radiação solar global (W/m^2) do dia (08-01-2015) para a configuração II



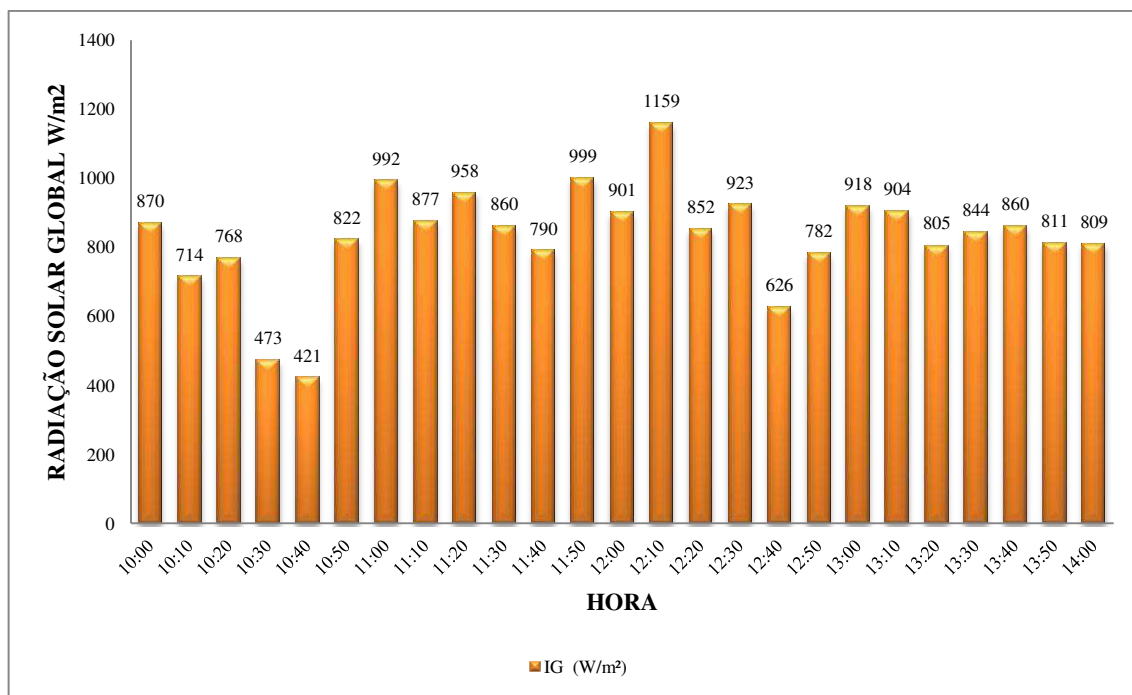
Fonte – (LEIAM)

Figura B9 – Radiação solar global (W/m^2) do dia (28-01-2015) para a configuração II



Fonte – (LEIAM)

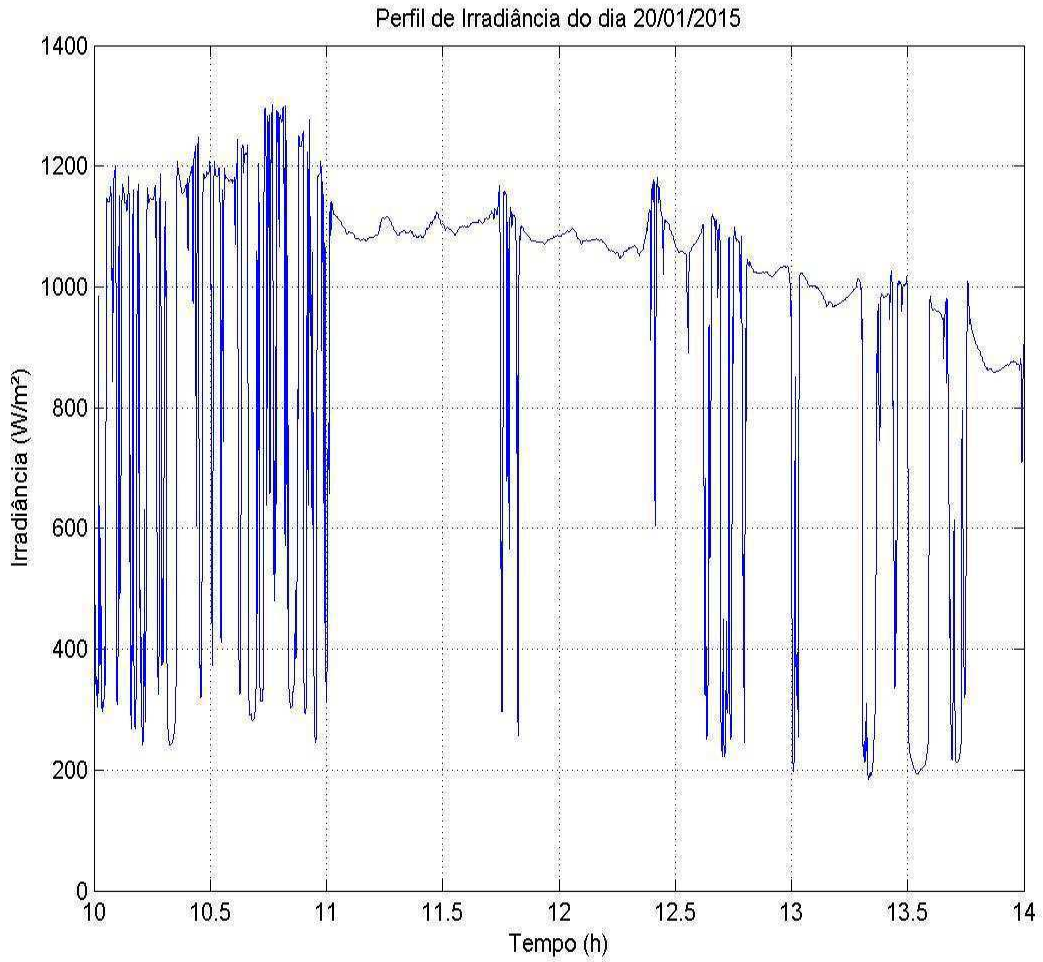
Figura B10 – Radiação solar global (W/m^2) do dia (30-01-2015) para a configuração II

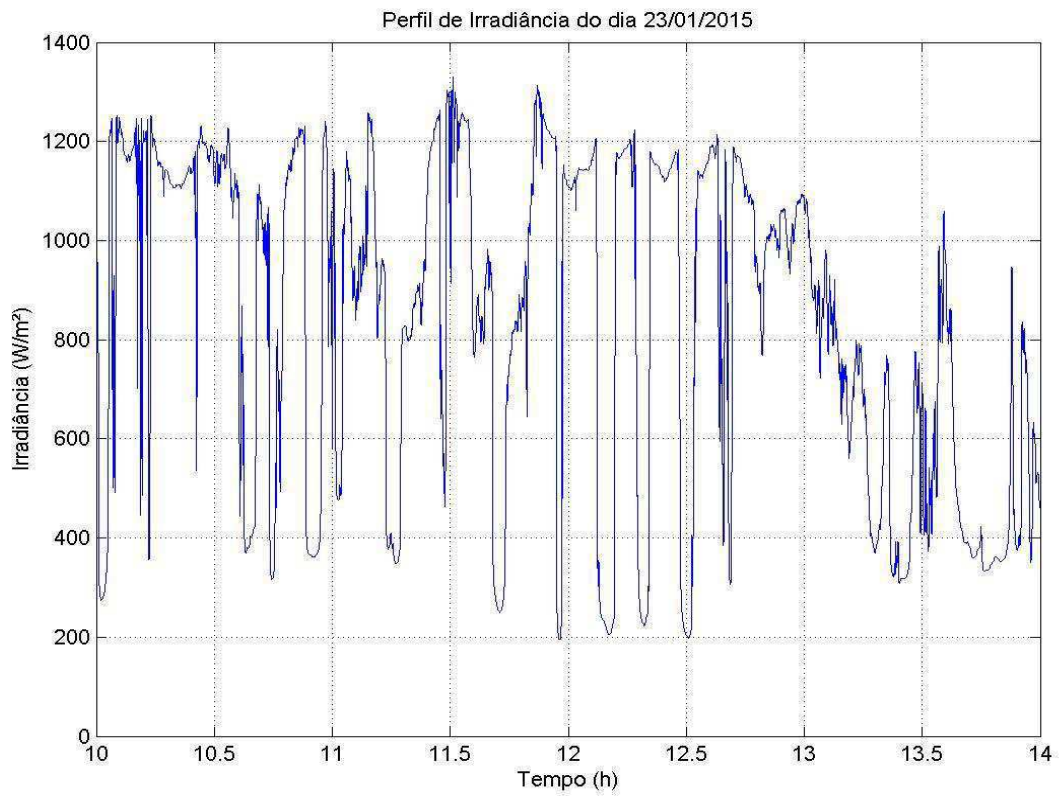
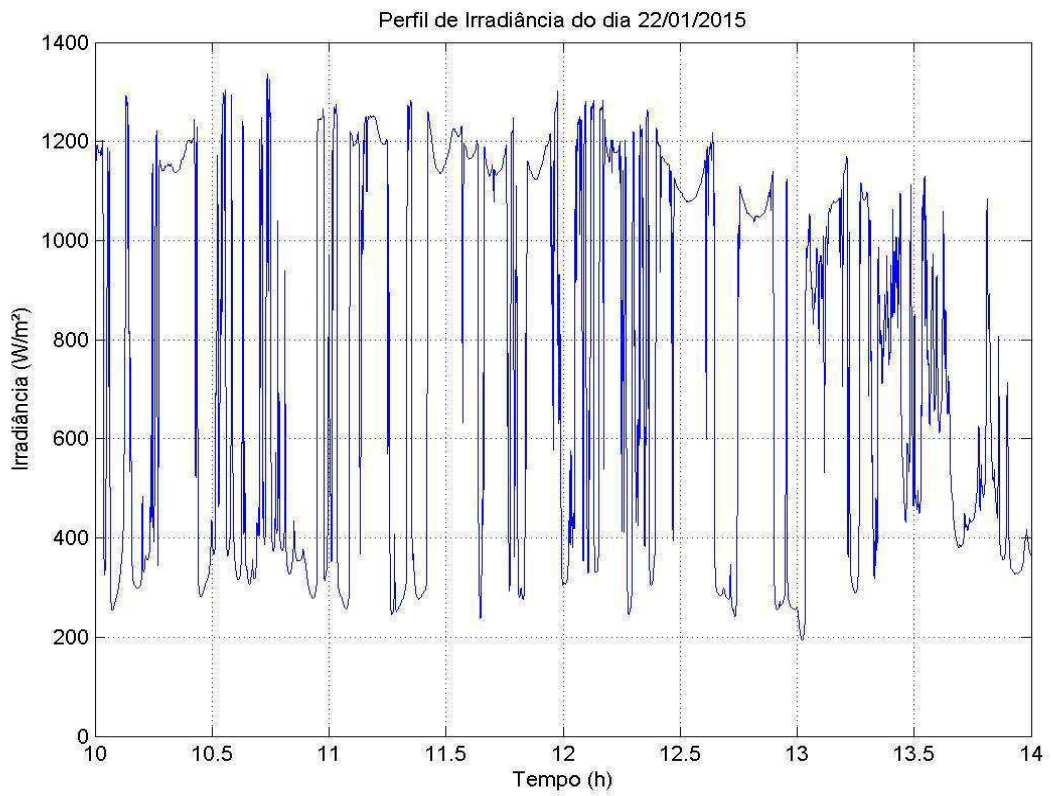


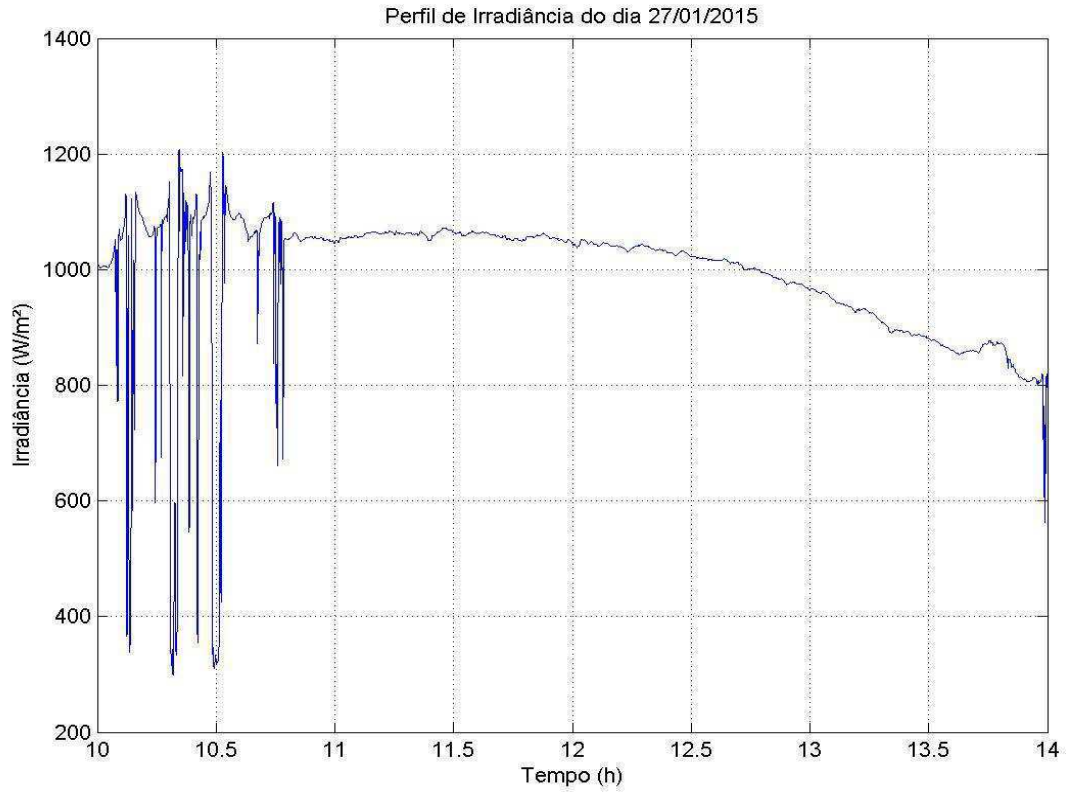
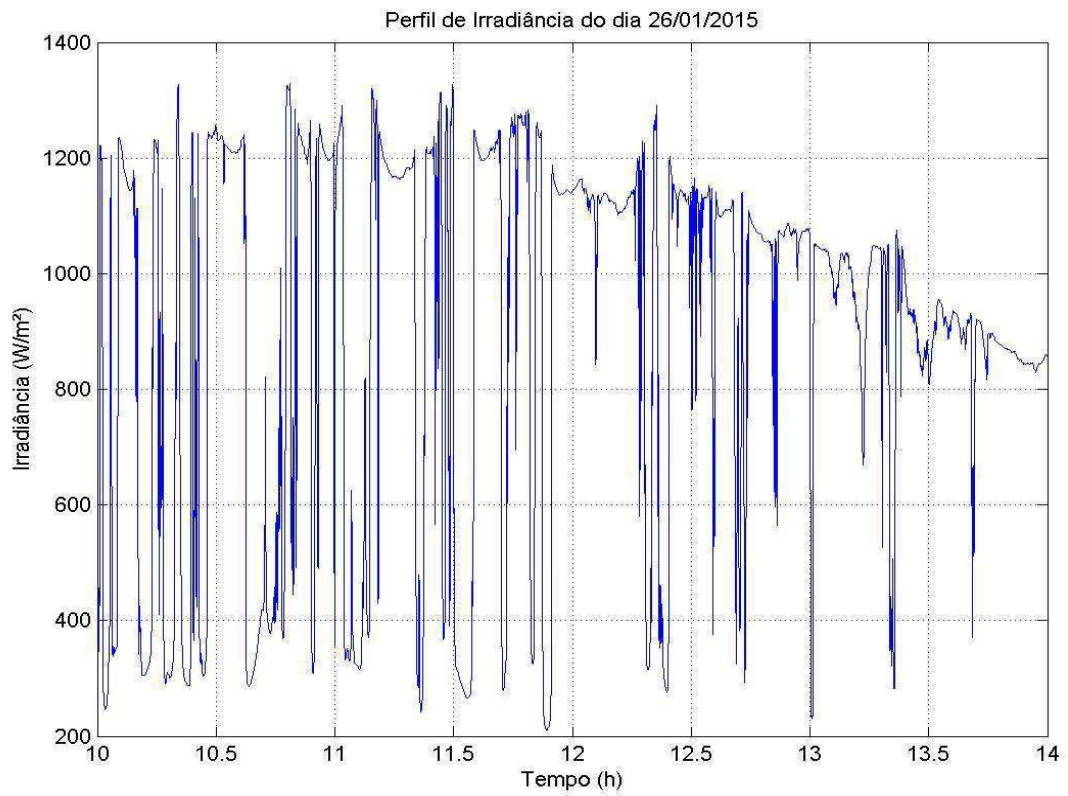
Fonte – (LEIAM)

ANEXO A

Dados coletados pelo Laboratório de Eletrônica Industrial e Acionamento de Máquinas (LEIAM), referente à Radiação Solar incidente na cidade de Campina Grande – PB para a Configuração I: (Cobertura de POLICARBONATO).







Dados coletados pelo Laboratório de Eletrônica Industrial e Acionamento de Máquinas (LEIAM), referente à Radiação Solar incidente na cidade de Campina Grande – PB para a Configuração II: (Cobertura de VIDRO).

