



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA**

BRINO RUY NEGRI

**ESTUDO SOBRE ISOLAÇÃO TÉRMICA DE BORRACHA NITRÍLICA
EXPANDIDA APLICADA EM RESERVATÓRIOS DE ÁGUA EM POLIETILENO
UTILIZADO EM COLETOR SOLAR DE BAIXO CUSTO**

CAMPINAS

2021

BRINO RUY NEGRI

**ESTUDO SOBRE ISOLAÇÃO TÉRMICA DE BORRACHA NITRÍLICA
EXPANDIDA APLICADA EM RESERVATÓRIOS DE ÁGUA EM POLIETILENO
UTILIZADO EM COLETOR SOLAR DE BAIXO CUSTO**

Dissertação apresentada à Comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Química da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.

Orientador: Antonio Carlos Luz Lisbôa

Co-orientador: Julio Roberto Bartoli

ESTE TRABALHO CORRESPONDE A VERSÃO FINAL
DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELO ALUNO:
BRINO RUY NEGRI E ORIENTADO PELO PROF. DR.
ANTONIO CARLOS LUZ LISBÔA

Campinas

2021

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

N312e Negri, Brino Ruy, 1972-
Estudo sobre isolamento térmica de borracha nitrílica expandida aplicada em reservatórios de água em polietileno usado em coletor solar de baixo custo / Brino Ruy Negri. – Campinas, SP : [s.n.], 2021.

Orientador: Antonio Carlos Luz Lisboa.

Coorientador: Julio Roberto Bartoli.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química.

1. Energia solar. 2. Aquecedores solares de água. 3. Coletores solares. 4. Borracha nitrílica. 5. Reservatórios de água. 6. Isolamento térmico. I. Lisboa, Antonio Carlos Luz, 1954-. II. Bartoli, Julio Roberto, 1954-. III. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Química. IV. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Study on thermal insulation of expanded nitrilic rubber applied in polyethylene water reservoirs used in a low cost solar heater

Palavras-chave em inglês:

Solar energy

Solar water heater

Solar heater

Nitrilic rubber

Water reservoirs

Thermal insulation

Área de concentração: Engenharia Química

Titulação: Mestre em Engenharia Química

Banca examinadora:

Antonio Carlos Luz Lisboa [Orientador]

Ítalo Alberto Gatica Rísoli

Valmir Pereira

Data de defesa: 19-02-2021

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Química

Identificação e informações acadêmicas do(a) aluno(a)

- ORCID do autor: <https://orcid.org/0000-0001-9871-5503>

- Currículo Lattes do autor: <http://lattes.cnpq.br/7809451935231984>

Folha de Aprovação da Dissertação de Mestrado do aluno Brino Ruy Negri, e aprovada em 19 de fevereiro de 2021 pela comissão examinadora da defesa constituída pelos doutores:

Prof. Dr. Antonio Carlos Luz Lisbôa
Presidente e Orientador
FEQ / UNICAMP

Dr. Ítalo Alberto Gatica Ríspoli
Centro Universitário Adventista de São Paulo
Videoconferência

Dr. Valmir Pereira
Comissão Nacional de Energia Nuclear
Videoconferência),

A Ata de defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no SIGA/Sistema de Fluxo de Tese e na Secretaria do Programa da Unidade.

Agradecimentos

Ao meu orientador Julio Roberto Bartoli por compartilhar seu conhecimento, pela orientação, questionamentos, incentivo, paciência e principalmente pelas críticas, que me fizeram refletir e evoluir em múltiplos aspectos.

Ao meu orientador Antônio Carlos Luz Lisboa: por aceitar participar deste projeto, pela confiança, pelas orientações e dicas no projeto.

Ao Engenheiro e amigo Deny Gustavo Doro, por toda a ajuda, e pelo suporte na automatização da planilha de coleta de dados.

A todos os antecessores deste projeto, cada um com seu trabalho, seus conhecimentos e suas especificidades, que contribuíram para fomentar o conhecimento sobre o tema.

À minha esposa Juliana, companheira, amiga e incentivadora pelo apoio; às minhas filhas Taís e Luísa pela compreensão da minha ausência durante o período dedicado a este projeto.

Aos meus pais Bueno Jose Negri (in memoriam) e Ana Maria Ruy Negri por toda a dedicação, ensinamentos e estímulos educacionais.

Em todo o espaço há energia... É (só) uma questão de tempo até que os homens tenham êxito em associar seus mecanismos ao aproveitamento desta energia.

Nikola Tesla

RESUMO

O Brasil é um país com elevada incidência de irradiância solar. Se aproveitasse melhor este potencial, poderia diminuir o consumo energético de sua fonte hídrica, principalmente nos horários de pico. Contribuindo, assim, com a gestão de recursos naturais, preservando água nos reservatórios das hidroelétricas ou em alguns casos, diminuindo o uso de termoelétricas, reduzindo insumos neste tipo de usina e seus resíduos. O objetivo deste estudo é colaborar no desenvolvimento de sistemas de baixo custo para aquecimento de água por energia solar, compostos de coletores solares e reservatórios térmicos construídos com materiais termoplásticos de uso comum (PVC, PEMD). Deseja-se promover um tipo de tecnologia social para a população brasileira de baixa renda, facilitando o acesso à energia solar no aquecimento de água para uso doméstico. Avaliou-se, portanto, a viabilidade técnico-econômica na construção de reservatórios térmicos de baixo custo para armazenamento de água quente, aquecida por coletores solares de baixo custo (CSBC), além de minimizar a perda de calor da água no período noturno. Os reservatórios térmicos são caixas-d'água cilíndricas fabricadas em Polietileno de Média Densidade (PEMD), como alternativa a materiais metálicos de custo superior. Foram investigados dois sistemas de isolamento térmico dos reservatórios. Uma das metodologias utiliza uma manta térmica, a base de borracha nitrílica expandida, envolvendo a caixa-d'água. A outra é composta de duas caixas-d'água embutidas, a de menor volume isolada com manta é inserida em outra de maior volume. Por sua vez, os CSBC são construídos com placas de forro de PVC, que prescindem do efeito-estufa (sem cobertura transparente), e foram desenvolvidos em projeto de pesquisa precedente (programa PIPE-Fapesp), os quais, se destacam por sua adequada eficiência térmica além de serem uma opção técnica-econômica aos tradicionais coletores solares para aquecimento de água, que utilizam materiais de custo maior como tubos de cobre ou alumínio e vidro. Os resultados experimentais do estudo destes sistemas demonstraram o bom desempenho dos reservatórios térmicos de baixo custo, medindo-se, às 06 h do dia seguinte, uma temperatura da água 16 °C acima daquela medida em reservatório sem isolamento térmico. Deste modo, permitem dispor de água preaquecida para uso do chuveiro elétrico em potência mínima, no inverno, ou mesmo sem necessidade de consumo de energia elétrica no verão, em especial para banhos matutinos. Além de contribuir com uma economia significativa nas famílias de baixa renda, os sistemas compostos de coletores solares CSBC e reservatórios térmicos de baixo custo têm potencial impacto na redução no consumo de energia elétrica no país, bem como nas questões ambientais e de sustentabilidade.

Palavras-chave: Energia solar, Aquecimento de água por energia solar, Coletor Solar de Baixo Custo, Reservatório de água quente, Isolamento térmico, Materiais poliméricos, Economia de energia.

ABSTRACT

Brazil is a country with a good solar radiation incidence, if it took better advantage of this potential, it could reduce the energy consumption from his hydroelectric power sources, mainly during peak hours. Therefore, contributing to the natural resources management, preserving water on hydroelectric reservoirs or, in some cases, reducing the use of thermoelectric plants his inputs and waste. The purpose of this study is to collaborate in the development of low-cost solar water heater systems, composed of solar collectors and thermal reservoirs built with commonly used thermoplastic materials (PVC, MDPE). The aim is to promote social technology for the low-income Brazilian population, turning the solar energy to heating water for domestic use more accessible. Therefore, the technical-economic feasibility in the construction of low-cost thermal reservoirs for hot water storage, heated by low-cost solar heaters (CSBC), was evaluated in order to minimize the loss of heat from the water during the night. The thermal reservoirs are cylindrical water tanks made of Medium Density Polyethylene (MDPE), as an alternative to higher cost metallic materials. Two systems of thermal reservoirs insulation were investigated. One system uses a foam thermal blanket, surrounding the water reservoir. the other method consists of two built-in water reservoirs. The lowest volume water reservoir insulated outside, is put inside the other with bigger volume, but without insulate outside. The CSBCs, on the other hand, are built with PVC ceilings, without greenhouse effect (without transparent cover), and were developed in a previous research project (Programa PIPE-Fapesp). They stand out for adequate thermal efficiency and are a technical-economical option to traditional solar water heaters, which use higher cost materials: copper or aluminum tubes and glass. The experimental results of the study of these systems demonstrated the good performance of low cost thermal reservoirs, measuring a water temperature 16 ° C above that measured in a reservoir without thermal insulation, at 06 a.m. next day. Thus, it will provide pre-heated water for the electric shower, operating at minimum power in winter, or even no need of electrical power consumption in summer, especially for morning baths. In addition to contributing to significant savings in low-income families, the systems composed of CSBC solar heaters and low-cost thermal reservoirs have a potential impact on reducing electricity consumption in the country, as well as on environmental and sustainability issues.

Keywords: Solar energy. Solar Hot Water Heating System. Low Cost Solar Heater. Hot water insulate reservoir. Thermal insulation. Polymeric Materials. Energy saving

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Matriz energética brasileira 2019	21
Figura 2: Variação de oferta de energia versus Produto Interno Bruto Brasileiro entre 1996 e 2019. Compilado de EPE e IBGE.....	23
Figura 3: Série histórica do consumo total e energia elétrica no Brasil (1970-2015) e previsão de demanda para o período 2020-2050.....	23
Figura 4: Curva de carga diária média (Wh) por habitante (hab) no Brasil	27
Figura 5: Horário de banho por classe econômica no Brasil	28
Figura 6: a) Esquema de funcionamento de um coletor solar por Termo-sifão e b) Exemplo de Conjunto Completo de Coletor Solar com Reservatório Térmico (“Boiler”)	36
Figura 7: a) Manual para construção de Coletor Solar de Baixo Custo. b) Sistema CSBC e reservatórios montados em casa de repouso na região de Campinas.....	40
Figura 8: Exemplo de Aquecedor Solar de Baixo Custo.	43
Figura 9: Diagrama de Ashby para Condutividade térmica de alguns materiais e suas famílias	51
Figura 10: Esquema representativo da taxa de transferência de calor	53
Figura 11: Esquema representativo das duas regiões distintas de troca de calor por condução em um CSBC.....	54
Figura 12: a) Placa forro PVC pintada e montada no recinto de teste da Unicamp e b) Representação do ângulo de montagem da placa nos protótipos do CSBC utilizados neste trabalho.....	60
Figura 13: Aspectos da montagem do coletor solar CSBC:	61
Figura 14: a) Manta Armaduct usada na montagem dos protótipos b) Corte da manta térmica para permitir revestir na caixa-d’água.....	64
Figura 15: a) Software ArmWin utilizado nas simulações deste trabalho e b) Software ArmWin na versão atual.....	66
Figura 16: Desenho da caixa-d’água com as respectivas cotas utilizadas neste trabalho	67
Figura 17: Representação da montagem do protótipo caixa dentro de caixa com revestimento de 10 mm espessura na caixa interna	67
Figura 18: Foto do segundo par formado pelo protótipo de referência (esquerda) e o protótipo caixa revestida com manta de 10 mm embutido na caixa de 150 ℓ	68

Figura 19: Curva de calibração do Termopar 1 com destaque para equação de correlação $mV \times ^\circ C$	69
Figura 20: a) Equipamento utilizado para aquisição de dados de temperatura, com destaque para o NAP7000D. b) Planilha Excel para gravação das leituras	70
Figura 21: Suporte de Termopares montado dentro de um dos protótipos	71
Figura 22: Esquema representativo da localização dos termopares nos reservatórios, interligados ao equipamento de coleta de dados.....	71
Figura 23: Temperatura média posição superior a cada hora ao longo de 24 horas para os experimentos com os 4 protótipos.....	74
Figura 24: Temperatura da água posição superior e do ambiente (ar) no período (entre 18 h e 06 h) para os dados experimentais e da simulação numérica nos quatro tipos de protótipos.....	76
Figura 25: Diferenças de temperatura media da água na posição superior armazenada nos reservatórios e a temperatura ambiente para os 4 protótipos no período noturno (entre 20 h e 08 h).....	79
Figura 26: Padrões das “diferenças de temperatura da água na posição superior dos reservatórios em relação à temperatura ambiente” no período de 24 horas	81
Figura 27: Gráfico Box-Plot das diferenças de temperatura da água na posição superior dos reservatórios em relação à temperatura ambiente.	82
Figura 28: Curvas para as amplitudes térmicas no período de 24 horas.	83
Figura 29: Diferenças de temperatura da água em relação a maior e menor temperatura no interior de cada protótipo.	84
Figura 30: Exemplo de tempo de amortização para os protótipos, considerando as variáveis citadas na Tabela 12.....	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Média do Consumo Mensal de Energia Elétrica do Domicílio, em kWh – BRASIL - Julho de 2018 a Abril de 2019.....	25
Tabela 2: Formas de aquecimento de água por região – julho de 2018 a abril de 2019	29
Tabela 3: Número médio de pessoas por residências, por classe econômica – Brasil – Julho de 2018 a abril de 2019.	30
Tabela 4: Tempo médio do banho por classe econômica – Brasil – Julho de 2018 a abril de 2019.....	30
Tabela 5: Simulação da influência de chuveiro elétrico em uma conta de energia. ..	31
Tabela 6: Conhecimento sobre aquecimento solar de água por classe econômica..	37
Tabela 7: Protótipos montados e época do ano em que foram avaliados	56
Tabela 8: Critérios adotados para cálculo de tamanho de amostra	57
Tabela 9: Regressão exponencial na análise dos dados experimentais para a variação temporal da temperatura da água nos protótipos e na temperatura ambiente (ar).....	77
Tabela 10: Estimativas das temperaturas da água para cada protótipo após 24 h e 36 h sem irradiação solar.	77
Tabela 11: Custos estimados para construção dos sistemas de aquecimento de água (reservatórios e coletores CSBC) coletados na cidade de Taubaté e região em dezembro de 2019	86
Tabela 12: Exemplo de valores para cálculo do tempo de amortização	88
Tabela 13: Influência de chuveiro elétrico em uma conta de energia por classe econômica social.....	90

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

A	Área
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ASBC	Aquecedor Solar de Baixo Custo
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CIETEC	Centro Incubador de Empresas Tecnológicas
CPFL	Companhia Paulista de Força e Luz
CSBC	Coletor Solar de Baixo Custo
EDP	EDP Bandeirante de Energia AS
Eletronbras	Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FAPESP	Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo
FTIR	Infra Vermelho por Transformada de Fourier
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPEN	Instituto de Pesquisa Energéticas e Nucleares
k	Coeficiente de transmissão térmica
MME	Ministério de Minas e Energia
NBR	Normas Brasileiras
Ø	Diâmetro
PEMD	Polietileno de Média Densidade
PIB	Produto Interno Bruto
PIPE	Pesquisa Inovativa em Pequenas Empresas
PPH	Pesquisa de Posse e Hábito
PROCEL	Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
PROPEQ	Projeto e Pesquisa em Engenharia Química
PVC	Poli Cloreto de Vinila
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
\dot{Q}	Taxa de Calor por Condução

SUMÁRIO

ABSTRACT	8
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE TABELAS	11
LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS	12
1 INTRODUÇÃO	15
2 CONTEXTUALIZAÇÃO	19
2.1 ENERGIA ELÉTRICA.....	20
2.2 O CHUVEIRO ELÉTRICO.....	26
2.3 ENERGIA SOLAR	32
2.4 COLETOR SOLAR / AQUECEDOR SOLAR.....	35
2.5 COLETOR SOLAR DE BAIXO CUSTO OU AQUECEDOR SOLAR DE BAIXO CUSTO.....	38
2.6 RESERVATÓRIO DE ÁGUA (“ <i>BOILER</i> ”).....	47
2.7 FUNDAMENTOS FÍSICOS ENVOLVIDOS	49
3 METODOLOGIA.....	55
4 MATERIAIS	59
4.1 PLACA PVC PARA COLETOR SOLAR	59
4.2 ISOLAMENTO TÉRMICO DO RESERVATÓRIO DE ÁGUA.....	62
4.3 PROGRAMA SIMULAÇÃO ARMWIN®.....	65
4.4 RESERVATÓRIO DE ÁGUA	66
4.5 INSTRUMENTAÇÃO E COLETA DE DADOS.....	68
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	73
5.1 ANÁLISE DOS CUSTOS.....	85
5.2 ANÁLISE RETORNO DE INVESTIMENTO.....	87
6 CONCLUSÕES	91

7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	93
	PROPOSTA 7.1 ANÁLISE DE RISCO DA BACTÉRIA LEGIONELLA NOS RESERVATÓRIOS TÉRMICOS DE BAIXO-CUSTO.....	93
	PROPOSTA 7.2 EFEITO DA PROTEÇÃO TÉRMICA NA TAMPA DO RESERVATÓRIO.....	93
	PROPOSTA 7.3 CONJUNTO MONTADO COM RESERVATÓRIO DENTRO DE OUTRO SEM MANTA TÉRMICA.....	94
	PROPOSTA 7.4 CSBC E RESERVATÓRIOS TÉRMICOS COM MATERIAIS DE CLASSE TÉRMICA SUPERIOR.	95
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96
9	APÊNDICE	105
	APÊNDICE 1: Dados amostrais para protótipos #3 e #4. Posição: superior.....	105
	APÊNDICE 2: Dados amostrais para protótipos #1 e #2. Posição: superior.....	106
	APÊNDICE 3: Dados amostrais para protótipos #3 e #4. Posição: intermediária ...	107
	APÊNDICE 4: Dados amostrais para protótipos #1 e #2. Posição: intermediária ...	108
	APÊNDICE 5: Dados amostrais para protótipos #3 e #4. Posição: inferior.....	109
	APÊNDICE 6: Dados amostrais para protótipos #1 e #2. Posição: inferior.....	110
	APÊNDICE 7: Quadro de cotação e cálculo de custo	111
10	ANEXOS	112
	ANEXO 1: Data Sheet Armaduct.....	112
	ANEXO 2: Data Sheet HT/Armaflex	114
	ANEXO 3: Data Sheet UT Solar.....	117
	ANEXO 4: Manual para Construção Coletor Solar “Sole Mio”.....	120

1 INTRODUÇÃO

Um tema cotidiano e bastante discutido na sociedade como um todo é a questão energética, seja proveniente de fonte hídrica, eólica, nuclear, solar, de combustíveis fósseis entre outras. Elemento muito importante do mundo moderno, sem energia elétrica, quase todas as cidades do planeta paralisariam suas atividades e a sociedade voltaria para a realidade de tempos obscuros do passado. Assim, o abastecimento energético é assunto relevante e ao mesmo tempo um grande desafio desse século.

Alternativas energéticas existem e são largamente utilizadas, a exemplo da energia obtida com o uso do carvão, dos derivados de petróleo, das hidrelétricas e das usinas nucleares. Quanto maior a variedade de fontes energéticas, menor será a dependência por combustíveis fósseis, maior independência econômica e ainda com o menor impacto ambiental (DILAY, 2008).

Sabady (1979) cita que na corrida por fontes de energia menos poluentes, em substituição dos seus usos tradicionais, houve aumento de pesquisas e dentre as várias opções de energia já empregadas e ainda em desenvolvimento está a energia solar e, seu uso para aquecimento de água, que é uma das mais utilizadas. Entretanto, o processo de captação e conversão da radiação solar em energia térmica e a posterior acumulação da água aquecida dentro do reservatório tornam-se um processo oneroso.

Neste contexto, pensou-se em estudar uma forma de baixo custo econômico para conservar o calor adquirido durante o dia, a fim de diminuir sua perda durante os períodos em que não haja exposição à fonte energética.

Considerando-se essa situação, escolheu-se como tema deste trabalho: “Estudo sobre isolamento térmico de borracha nitrílica expandida aplicada em reservatórios de água em polietileno de alta densidade utilizado em coletor solar de baixo custo”. Ao mesmo tempo, questiona-se: como fazer, a baixo custo para nos períodos em que não houver exposição ao sol, conservar na água,

o calor (energia) que foi absorvido pela radiação solar durante o dia, permitindo assim a oferta de água quente por um período de tempo maior, possibilitando, por exemplo, um banho quente no período entre 18 h e 06 h (período sem radiação solar).

Propõe-se como objetivo geral desenvolver um sistema de isolamento térmico, com viabilidade técnica e econômica, a ser aplicado nos reservatórios de água utilizados nos coletores solares de baixo custo, permitindo conservar o calor da água, durante os períodos sem exposição à radiação solar.

O desafio é definir um material eficiente, resistente às intempéries, de fácil aquisição, fácil manuseio e de baixo custo, para que possa ser adquirida e instalada pelo próprio usuário.

Para atender o objetivo proposto será utilizado um coletor solar de baixo custo (CSBC) desenvolvido por Bartoli e Woeltz (2001), construído com material termoplástico: o poli (cloreto de vinila), PVC. Este material, por ser produzido em larga escala, é uma *commodity* na construção civil, largamente utilizado, por exemplo, em placas de forro modular, tubos e conexões, componentes básicos do CSBC.

Percebe-se assim, que a construção e difusão do CSBC nas residências de famílias de baixa renda definem-se como um projeto simples cuja fabricação pode ser de forma industrial ou do tipo “faça você mesmo”.

Os reservatórios para água de coletores solares de baixo custo são em geral caixas-d’água comuns sem isolamento térmica e instaladas ao ar livre, limitando o uso da água quente nos dias ensolarados e em determinadas horas. Os “*boilers*” ou reservatórios de água quente, específicos para sistemas de aquecimento solar, têm custo superior ao CSBC, inviabilizando muitas famílias de adquiri-lo.

O tema se justifica, quando se nota que a retenção de calor nos reservatórios feita com “*boilers*” ou reservatórios específicos (cobre, alumínio,

vidro), normalmente de alto custo, pode ser feita de forma eficiente por meio de um isolamento térmico desenvolvido com tecnologia simples, que conserva a temperatura da água que vai ser utilizada nas residências, para banhos, inclusive no período da manhã, gerando uma economia de consumo em qualquer época do ano.

O emprego de um CSBC, associado ao chuveiro elétrico e a um reservatório comum, termicamente isolado, que permita a manutenção do calor da água no reservatório e que garanta o seu preaquecimento e a consequente redução do consumo de energia elétrica do chuveiro são as hipóteses propostas para esse estudo.

Estes aspectos reunidos ratificam a importância desse sistema, porque além de eficiente (água quente por mais tempo), é mais econômico (a tecnologia é simples) e pode ser utilizado por pessoas de qualquer nível socioeconômico, inclusive os mais baixos como as classes C, D e E com economia de consumo de energia.

O emprego de materiais de baixo custo na construção do coletor solar e na isolação térmica do reservatório de água permite à população destas classes sociais uma redução significativa na conta de energia elétrica sem perder o conforto de um banho quente, mesmo no período matinal, viabilizando esse plano de trabalho.

Como metodologia optou-se por dividir o plano de trabalho em três partes. A primeira vai abranger um estudo sobre coletores solares planos, coletores solares de baixo custo, reservatórios ou “*boilers*” de água quente, materiais isolantes térmicos, com consultas a obras e outros trabalhos que tenham relação direta com o tema, selecionando fontes e informações.

A segunda parte visa o planejamento experimental das etapas e procedimentos da pesquisa, com a seleção de materiais isolantes adequados, reservatórios tecnicamente viáveis (baixo custo, viabilidade de compra, adaptável

a diferentes modelos de caixa-d'água, fácil manipulação para o uso e menor coeficiente de transmissão térmica) e facilmente encontrados no mercado.

A terceira parte aborda a montagem de protótipos em uma unidade experimental devidamente instrumentada para coleta de dados capaz de trabalhar com dois experimentos em paralelo, permitindo o acompanhamento de dois protótipos por vez dos quatro protótipos definidos para estudo e que foram comparados entre si pela diferença de temperatura em relação à temperatura ambiente.

Por fim, depois de percorridas todas estas etapas e embasando-se nos resultados obtidos, poderá se concluir que as opções estudadas são tecnicamente viáveis e que apesar das temperaturas diferentes obtidas, qualquer investimento em proteção térmica em reservatório de água é financeiramente viável. Ficando a cargo do usuário a disponibilidade de investimento que demandará um maior ou menor grau de proteção térmica e consequente prazo para o retorno do investimento.

2 CONTEXTUALIZAÇÃO

A palavra energia tem origem grega. Vem de “*ergos*” que significa trabalho, o que seria associado à capacidade de produzir um trabalho ou realizar uma ação. O conceito de energia é amplo e relevante em toda a ciência quer seja pura ou aplicada.

A classificação das fontes energéticas pode ser feita em primárias e secundárias. Energias primárias são aquelas encontradas na natureza tais como são, ou seja, sem passar por transformações. Alguns exemplos de fontes primárias: gás natural, carvão mineral, energia hidráulica, lenha, os mares, os ventos, a energia solar, geotérmica (COPEL, 2008).

Energias secundárias são também de origem natural, mas passam por algum processo de transformação para que possam ser aproveitadas. Exemplos de fontes de energia secundárias: óleo diesel, óleo combustível, gasolina, GLP, nafta, querosene, carvão vegetal, álcool etílico (COPEL, 2008).

As fontes de energia podem ser renováveis e não renováveis. As primeiras são extraídas de elementos da natureza, em constante renovação, ou seja, não se esgotam e produzem um impacto ambiental muito baixo ao aproveitá-las. Exemplos: energia solar, energia eólica, energia geotérmica, biomassa. As fontes não renováveis também são retiradas da natureza, porém são finitas e ao utilizá-las, geram resíduos indesejáveis, alguns até tóxicos e por isso exigem cuidados. São exemplos: as oriundas de combustíveis fósseis, carvão mineral e a nuclear (MEC / MMA, 2005).

A instabilidade constante do preço do petróleo, o impacto crescente na emissão de gás carbônico (CO₂), mudanças climáticas e os efeitos ecológicos de alteração da atmosfera e do solo fizeram com que países desenvolvidos apoiassem pesquisas em busca de alternativas energéticas como a solar, eólica, biomassa, das marés entre outras, para substituir as fontes convencionais de energia (FANTINELLI, 2006).

No Brasil apesar da condição favorável para energia solar com boa irradiação, permitindo boas oportunidades para empreendimentos, a energia de fonte hídrica ainda é bastante utilizada, enquanto pesquisas de outras fontes renováveis ainda são desenvolvidas (COELHO, 2011).

2.1 ENERGIA ELÉTRICA

Historicamente a energia elétrica nos países desenvolvidos é obtida por fontes não renováveis. Excetuando-se a energia nuclear, essas fontes geram grande quantidade de resíduos e emissão de gases tóxicos contribuindo para o aumento do efeito estufa e suas consequências para o meio ambiente (JARDIM, 2007).

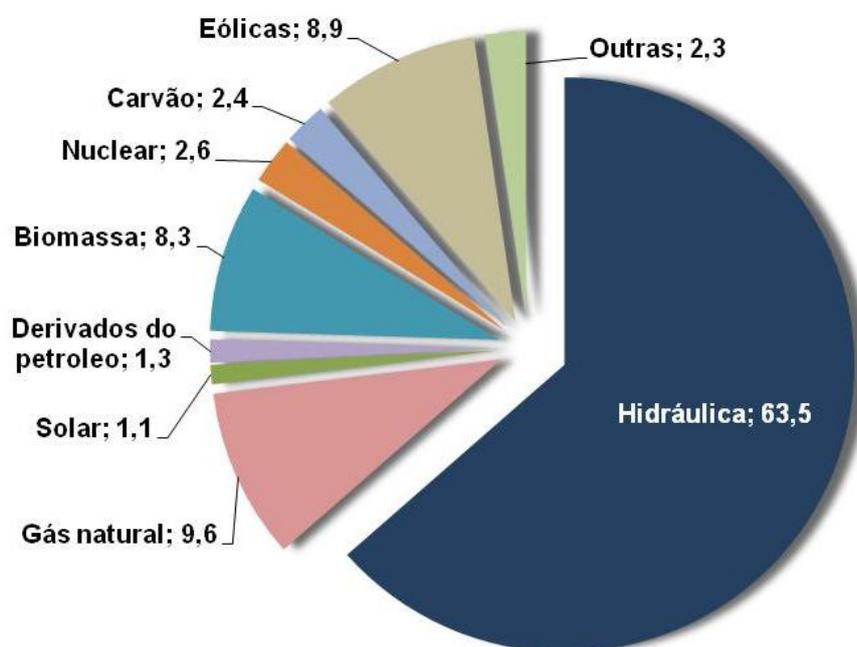
A emissão aumentada e constante de poluentes proveniente de fontes não renováveis e os efeitos dessas ações no meio ambiente são todos fatores que vêm afetando a economia e que levaram os países mais avançados a buscar alternativas energéticas para produção, consumo e desenvolvimento da sociedade.

A dependência de combustível fóssil gera há décadas discussões ecológicas, ambientais e climáticas, despertando um alerta mundial. No setor automobilístico, houve inovações tecnológicas nos projetos e hoje o carro elétrico já é uma alternativa para o problema da escassez previsível das reservas de petróleo e ao mesmo tempo, uma opção para atendimento às normas ambientais cada dia mais exigentes.

Em virtude do aumento da população urbana, da mudança nos padrões de vida e consumo é imprescindível o estudo e a busca de novas fontes de energias limpas, renováveis e viáveis economicamente. Entre as diversas fontes propostas para substituir as energias tradicionais, a energia solar tem sido considerada a mais promissora em virtude da disponibilidade, praticamente em todo o planeta, seja no aproveitamento da energia térmica, seja na geração de energia elétrica através de painéis fotovoltaicos, ou ainda para movimentar turbinas geradoras a vapor de água aquecida por concentradores de luz solar.

O Atlas Brasileiro de Energia Solar (INPE, 2017) mostra que o país possui um sistema energético em que as usinas hidroelétricas são as principais geradoras de energia em grande escala. Apesar do aumento da oferta de outras fontes, como a eólica e a solar, a Figura 1 mostra que a fonte hidroelétrica ainda ocupa a maior fatia do mercado.

Figura 1: Matriz energética brasileira 2019



Fonte: Anuário Estatístico Brasileiro 2019. Adaptado pelo autor

Não existe uma solução única para geração de energia elétrica que atenda todos os países, cada um deve buscar suas especificidades e aproveitá-las da melhor forma e de maneira menos impactante possível ao meio ambiente, mas de uma maneira geral a diversificação de fontes previne problemas esporádicos e pontuais. Assim, algumas fontes devem diminuir sua participação na Matriz, como as derivadas de petróleo e outras devem aumentar como a Termonuclear ou ainda aparecerem novas fontes como a Fusão Nuclear e a geração solar por concentradores de raios.

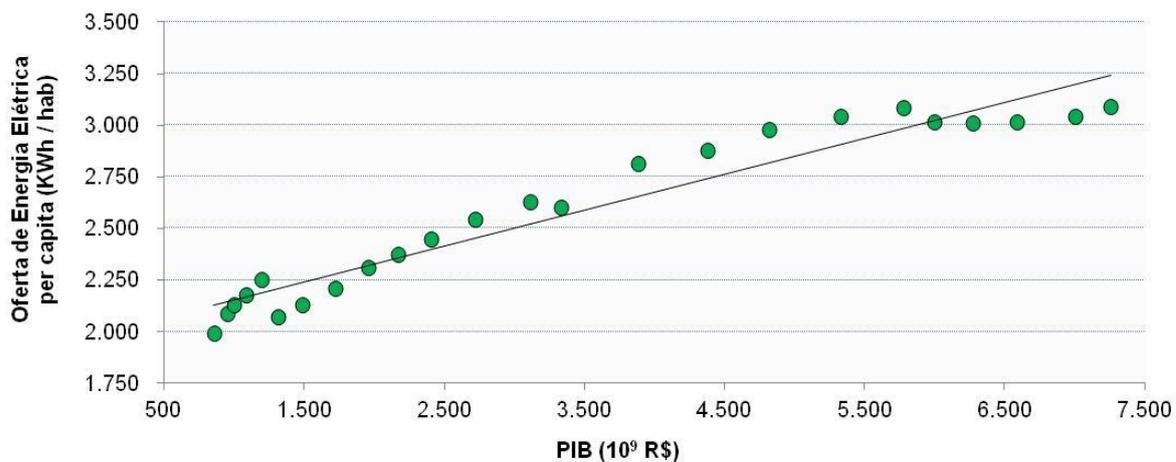
A alteração deste cenário exige mudança de cultura por parte da população concomitante à mudança de política energética do governo. Aliado a

tudo isso, a cada dia surgem novas tecnologias consumidoras de energia, que exigem o aumento de sua oferta, por exemplo, o contínuo aumento da frota de veículos elétricos torna a preocupação com a oferta de energia sempre presente. Apesar dos veículos elétricos ainda não serem totalmente viáveis seja pelo alto custo, seja pelo tempo de recarga, os veículos a hidrogênio também possuem alto custo devido à pilha de combustível. Questão que se coloca é que dependendo da demanda por estes veículos, as fontes energéticas precisarão estar ainda mais estruturadas e diversificadas para suportar este aumento.

A dependência energética do planeta é crescente, ela é responsável direta e indiretamente pela movimentação e desempenho da economia dos países. A maioria das atividades cotidianas está vinculada ao uso da energia elétrica. É através dela que as indústrias e maquinários funcionam. Todos os dias surgem novos aparelhos que facilitam a rotina, trazem mais conforto e funcionam a base de energia elétrica.

Enquanto as tecnologias de geração de energia não se tornam eficientes, o governo continua investindo nas usinas hidrelétricas como as usinas de Três irmãos e Belo Monte entre outras, que geram um enorme passivo ambiental e social. Paralelamente, o aumento da renda da população permite uma melhora na qualidade de vida e conseqüentemente acesso a infraestrutura de saneamento, transporte e equipamentos elétricos antes não usados. Além disso, programas federais para eletrificação rural também contribuem para o aumento do consumo de energia elétrica e conseqüentemente a necessidade de aumento da oferta (INPE, 2017). A Figura 2 mostra a relação entre o PIB (IBGE, 2020) e a oferta de energia elétrica no Brasil entre os anos de 1996 a 2019 (EPE, 2021).

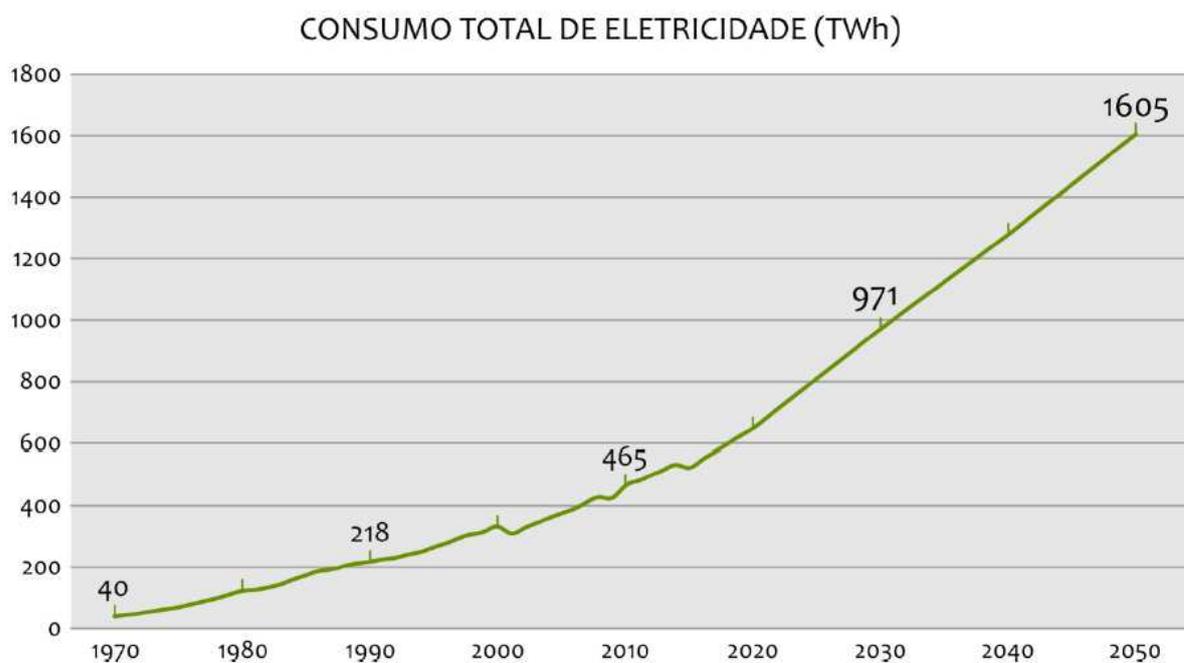
Figura 2: Variação de oferta de energia versus Produto Interno Bruto Brasileiro entre 1996 e 2019. Compilado de EPE e IBGE.



Fontes: Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA e EPE, adaptado pelo autor.

Com base na série histórica do consumo de eletricidade no Brasil, o Atlas Brasileiro de Energia Solar (INPE / MME, 2017) faz um prognóstico na Figura 3 que projeta um aumento da demanda de eletricidade na ordem de 200% para os próximos 30 anos.

Figura 3: Série histórica do consumo total e energia elétrica no Brasil (1970-2015) e previsão de demanda para o período 2020-2050



Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar. 2ª Edição 2017

Entretanto, o crescimento de consumo de eletricidade sem o devido aumento da oferta interna de energia e associada a fatores externos, como clima, pode levar a crises de energia. A última que o Brasil enfrentou foi em 2015, ocasionada pela falta de chuva prolongada, o que acarretou na diminuição das vazões dos reservatórios e consequente redução na geração de energia. Esse fato levantou novas discussões sobre a diversificação das fontes geradoras.

O racionamento de energia foi necessário e isso pode acontecer novamente, pois a matriz energética brasileira continua baseada em hidrelétricas, e como o perfil de consumo de energia residencial ainda não foi alterado, sempre que houver um período longo de estiagem nos rios que abastecem as usinas ou quando há excesso de consumo de energia, o tema “racionamento” volta aos noticiários.

Segundo Dadalto (2008) o uso de energia está associado a questões sociais incluindo a distribuição da renda, redução da pobreza, o crescimento populacional e a saúde. Todas estas questões poderiam estar melhor equalizadas se houvesse no país um plano estratégico relacionando as questões sociais com energia. Percepção também compartilhada por Gimenes et al (2007) quando afirmam que a energia está intimamente ligada as classes sociais seja pela falta de acesso das classes mais baixas, seja pelo uso em excesso das classes mais altas.

No mesmo sentido Cohen (2002) faz uma comparação com o consumo de energia de classes sociais mais altas em países em desenvolvimento com o consumo de energia de países desenvolvidos, mostrando que há uma concentração de consumo nesta classe e provando assim os desníveis sociais existentes nestes países.

De uma maneira geral, independentemente do nível social, o homem sempre vai consumir energia na forma de calor e trabalho (COSTA 2002). Mas, salvo exceções, o uso de energia encontra-se vinculado à classe social do consumidor. Assim, quanto mais alto o nível de vida do cidadão, maior o tamanho

de sua residência, mais cômodos, maior número de lâmpadas, banheiros, eletrodomésticos, portanto, maior a demanda necessária para o consumo.

A renda e o nível de pobreza das famílias têm uma relação com a quantidade de energia que elas consomem (FANTINELLI, 2002). Portanto, pode-se afirmar que quanto menor a residência, menor o consumo de energia com iluminação e eletrodomésticos diversos, isso aumenta a representatividade do chuveiro elétrico nas contas de energia em famílias de baixa renda, chegando a representar 50% do total da fatura de uma família da classe C2 (Tabela 12). Esta relação pode ser comprovada na Tabela 1 (PROCEL / ELETROBRAS, 2019) adaptada pelo autor.

Tabela 1: Média do Consumo Mensal de Energia Elétrica do Domicílio, em kWh – BRASIL - Julho de 2018 a Abril de 2019.

Consumo Mensal Médio (kWh) por Classe Econômica						
	A	B1	B2	C1	C2	D/E
janeiro	315,65	293,00	227,00	190,58	148,32	107,81
fevereiro	328,34	295,27	236,65	186,93	153,68	110,27
março	326,44	291,62	233,25	189,00	155,66	110,57
abril	306,82	301,50	222,06	185,26	153,42	110,33
maio	319,11	288,75	228,58	186,88	153,86	110,85
junho	319,26	299,84	232,00	189,78	155,29	111,42
julho	296,21	310,36	220,86	183,28	151,49	107,89
agosto	322,05	303,60	233,63	190,29	154,96	110,80
setembro	346,08	302,66	235,14	190,22	158,34	111,27
outubro	319,09	291,72	237,08	188,41	154,86	112,08
novembro	340,83	298,60	237,50	188,93	161,34	115,47
dezembro	352,53	296,37	238,16	191,85	161,24	114,04
Média	324,37	297,77	231,83	188,45	155,21	111,07

Fonte: Pesquisa de Posse e Hábito de uso – Eletrobras 2019. Adaptada pelo autor

As condições de vida das classes mais baixas tendem a melhorar gradativamente levando-as a adquirir mais eletrodomésticos e conseqüentemente, consumindo mais energia elétrica. Esse comportamento é o grande responsável pelo aumento do consumo médio das residências nos próximos anos. É preciso compreender que a mudança desse hábito, deve ir muito além do que a busca por soluções tecnológicas, é preciso entender que conservar energia não se resume a diminuir os ganhos de eficiência energética (RIBEIRO, 2010). Neste mesmo sentido, Cardoso (2009) destaca a propaganda máxima: que a energia economizada é muito mais barata que qualquer energia produzida.

Observando pelo lado das empresas fornecedoras de energia, uma das dificuldades é garantir o abastecimento de energia nos horários de pico da demanda. Para isso toda a estrutura de geração e de transmissão de energia deve estar preparada para o fornecimento, principalmente, nestes horários. Se a estrutura for suficiente para garantir o fornecimento nos horários de maior demanda, então nos demais horários haverá uma ociosidade na estrutura instalada.

Mesmo assim, há o risco de sobrecarga no sistema com a conseqüente queda de energia e diminuição dos padrões de qualidade de fornecimento (PASSOS, 2011). O principal causador deste Stress no sistema é o chuveiro elétrico, que devido o seu baixo custo, sua instalação simples e até mesmo um fator cultural fazem com que esta situação não mude nos próximos anos.

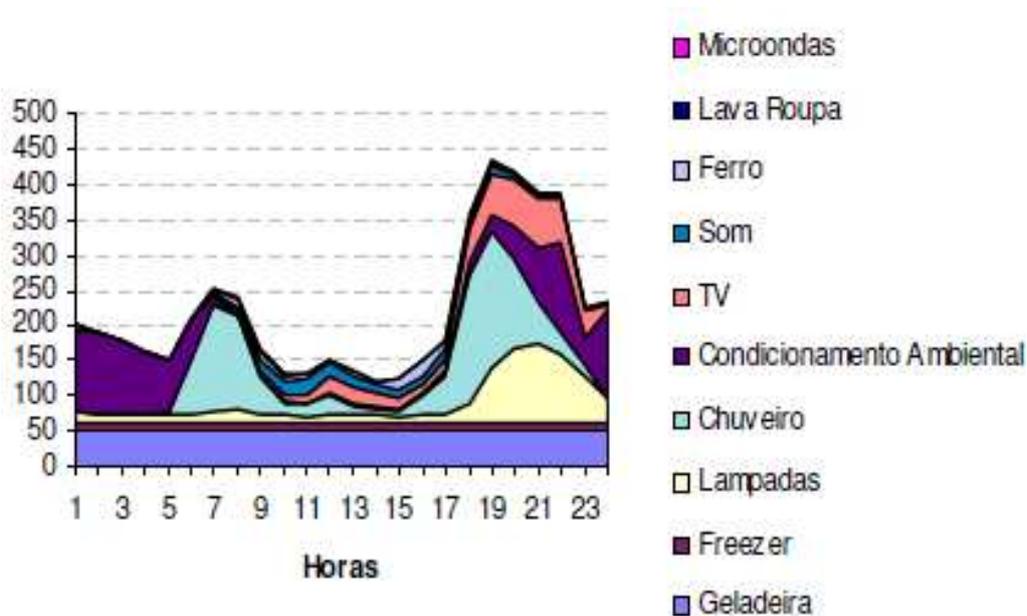
2.2 O CHUVEIRO ELÉTRICO

Apesar da grande quantidade e da boa distribuição de irradiação solar ao longo do ano, o aquecimento da água para banhos, na maioria das residências brasileiras (90%) ainda é feito pelo chuveiro elétrico (ABREU, 2008). Equipamento este que costuma ser o de maior potência em uma residência (BELINAZZO, 2004). Isso acaba gerando maiores despesas à economia doméstica (chegando a 50% do valor da conta em famílias de baixa renda) e do país devido a concentração de uso em determinado horário (SALAZAR, 2004).

Os horários de pico da demanda ou simplesmente “horários de pico”, para fornecimento de energia residencial, costumeiramente são dois: Um no início da manhã e o outro no final da tarde. Nestes horários há uma concentração de uso de equipamentos elétricos, gerando um aumento de consumo dentro de um curto período de tempo. A sobrecarga pontual de consumo gerada nestes horários obriga as concessionárias de energia a terem toda a sua malha planejada e preparada para atender a demanda nestes horários.

A Pesquisa de Posse de Equipamento e Hábitos de Uso (PROCEL / ELETROBRAS, 2007) afirma que 24% da energia elétrica do Brasil consumida pelo setor residencial foi utilizada pelo chuveiro elétrico (Figura 4). É possível observar também a influência deste equipamento nos dois horários de pico ao longo do dia e a influência de quase 45% no pico da tarde.

Figura 4: Curva de carga diária média (Wh) por habitante (hab) no Brasil



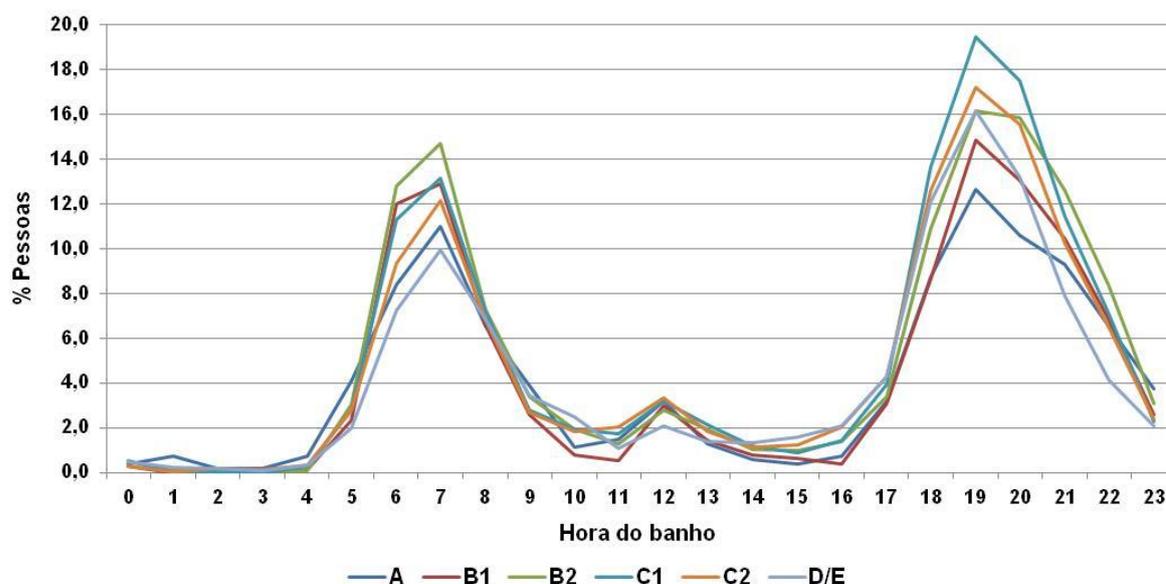
Fonte: Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso classe residencial - relatório Brasil Procel 2007. Adaptado pelo autor.

Infelizmente, a última pesquisa de Posse e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos na Classe Residencial (PROCEL / ELETROBRAS, 2019), não disponibiliza o gráfico de carga diária média de consumo no Brasil.

Entretanto, desde 2007, a potência dos chuveiros não foi alterada, bem como o horário dos banhos. Como pode ser verificado no gráfico da Figura 5. Isso permite afirmar que o cenário mostrado na Figura 4 não foi alterado significativamente.

O gráfico da Figura 4 mostra que um dos causadores para gerar esta sobrecarga nos horários de pico é o chuveiro elétrico. Para Salazar (2004) isso o torna importante para as políticas de conservação de energia e faz com que uma das formas para controle de sobrecarga no sistema seja o uso da energia solar para o aquecimento de água para banho. O gráfico da Figura 5, mostra que os horários dos banhos não foram alterados e que, além disso o comportamento é similar para toda a população, independente da classe social.

Figura 5: Horário de banho por classe econômica no Brasil



Fonte: Pesquisa de Posse e Hábito de uso – Eletrobras 2019 - Adaptado pelo autor

O Anuário Estatístico de Energia Elétrica da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2018), declara que a classe residencial detém 28,8% do mercado de energia elétrica, com consumo de 134.368 GWh no ano de 2017 e o chuveiro elétrico é ainda o principal meio de aquecimento de água para o banho e responde pela maior parcela de consumo de energia elétrica residencial que gira em torno de 20% do total gasto (TOMÉ, 2014).

A aplicação de uma proteção térmica nos reservatórios dos CSBC como os propostos neste trabalho visa obviamente à manutenção do calor nos reservatórios para proporcionar água aquecida no período sem incidência solar, principalmente pela manhã. Portanto, a influência da proteção térmica aplicada nos reservatórios de água no consumo de energia além do pico da tarde, também impacta no pico da manhã, apesar de não ser o mais crítico para o fornecimento de energia como visto na Figura 4.

A Pesquisa de Posse e Hábitos de Uso de Equipamento Elétricos na Classe Residencial Procel / Eletrobras (2019) mostra também que 40% das residências utilizam energia elétrica para aquecimento de água. Se forem consideradas somente as residências que possuem algum tipo de aquecimento, este percentual aumenta para quase 95% (Tabela 2).

Tabela 2: Formas de aquecimento de água por região – julho de 2018 a abril de 2019

Especificação	REGIÃO										BRASIL	
	Norte		Nordeste		Centro-Oeste		Sudeste		Sul		Abs	%
	Abs	%	Abs	%	Abs	%	Abs	%	Abs	%		
Energia elétrica	148	3,38	560	9,18	1.951	78,04	3.214	81,89	1.806	96,32	7.679	40,90
Gás	0	0,00	0	0,00	0	0,00	74	1,89	21	1,12	95	0,51
Energia solar	69	1,58	1	0,02	49	1,96	47	1,20	15	0,80	181	0,96
Lenha / carvão	0	0,00	0	0,00	0	0,00	4	0,10	2	0,11	6	0,03
Outra forma	4	0,09	4	0,07	1	0,04	1	0,03	1	0,05	11	0,06
Não possui água aquecida	4.081	93,28	5.527	90,61	502	20,08	588	14,98	1	0,05	10.699	56,99
Não sabe/não respondeu	74	1,69	11	0,18	2	0,08	15	0,38	42	2,24	144	0,77
Total	4.375	-	6.100	-	2.500	-	3.925	100,00	1.875	-	18.775	-

Fonte: Pesquisa de Posse e Hábito de uso – Eletrobras 2019

Esta mesma pesquisa, mostra que entre as classes “B” e “C” existem em média 3,5 moradores por residência no Brasil (PROCEL / ELETROBRAS, 2019) e que quase a metade dos brasileiros (45%) leva de 06 a 10 minutos em um banho e que esta média independe da classe social (PROCEL / ELETROBRAS, 2019). Tabelas 3 e 4.

Tabela 3: Número médio de pessoas por residências, por classe econômica – Brasil – Julho de 2018 a abril de 2019.

Especificação	Medidas	CLASSE ECONÔMICA						BRASIL
		A	B1	B2	C1	C2	D/E	
Moradores habituais	Média	4,21	3,88	3,62	3,46	3,42	3,26	3,45
	Mediana	4,00	4,00	4,00	3,00	3,00	3,00	3,00
	Moda	4,00	4,00	3,00	3,00	3,00	2,00	3,00
	Desvio Padrão	1,67	1,59	1,50	1,55	1,63	1,79	1,66
	CV ₁ (%)	39,67	40,92	41,29	44,90	47,54	54,74	48,12
	CV ₂ (%)	41,71	39,68	37,41	51,74	54,25	59,52	55,29
	N	466	804	2.897	3.693	4.744	6.171	18.775
Moradores ocasionais	Média	0,07	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04
	Mediana	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Moda	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Desvio Padrão	0,44	0,30	0,36	0,28	0,29	0,30	0,31
	CV ₁ (%)	608,05	590,89	686,71	617,60	657,50	794,95	692,06
	CV ₂ (%)	-	-	-	-	-	-	-
	N	466	804	2.897	3.693	4.744	6.171	18.775
Total de Moradores (habituais e ocasionais)	Média	4,28	3,93	3,68	3,50	3,47	3,30	3,49
	Mediana	4,00	4,00	4,00	3,00	3,00	3,00	3,00
	Moda	4,00	4,00	3,00	3,00	3,00	2,00	3,00
	Desvio Padrão	1,68	1,60	1,51	1,56	1,64	1,80	1,67
	CV ₁ (%)	39,31	40,59	41,09	44,64	47,23	54,55	47,89
	CV ₂ (%)	42,05	39,89	37,76	52,12	54,60	59,99	55,73
	N	466	804	2.897	3.693	4.744	6.171	18.775

Fonte: PPH 2019 pg16

Tabela 4: Tempo médio do banho por classe econômica – Brasil – Julho de 2018 a abril de 2019.

Especificação	CLASSE ECONÔMICA												BRASIL	
	A		B1		B2		C1		C2		D/E		Abs	%
	Abs	%	Abs	%	Abs	%	Abs	%	Abs	%	Abs	%		
Até 5 minutos	167	31,04	233	30,06	731	33,18	741	33,53	729	38,37	502	41,28	3.103	35,09
De 6 a 10 minutos	246	45,73	354	45,68	997	45,25	1.017	46,01	871	45,85	546	44,90	4.031	45,59
De 11 a 20 minutos	91	16,91	143	18,45	357	16,21	354	16,02	222	11,68	121	9,95	1.288	14,57
Acima de 20 minutos	12	2,23	15	1,94	35	1,59	41	1,86	35	1,84	17	1,40	155	1,75
Não sabe/não respondeu	22	4,09	30	3,87	83	3,77	57	2,58	43	2,26	30	2,47	265	3,00
Total	538	100,00	775	100,00	2.203	100,00	2.210	100,00	1.900	100,00	1.216	100,00	8.842	100,00

Fonte: PPH 2019 pg.334 Nota: percentual calculado em relação ao total de chuveiro elétrico.

Para avaliar o impacto financeiro de um chuveiro elétrico em uma família simples, considere uma residência com quatro moradores, uma média 1,2 banhos por dia com duração de 6 min cada, com um dos chuveiros mais simples disponíveis no mercado e com potência de 5.500 W.

Neste caso, somente o chuveiro seria responsável por quase 80 kWh no custo da energia elétrica da casa ou cerca de R\$ 50,00 na conta de energia. Na Tabela 5 é possível visualizar esta simulação. Importante destacar que os

valores assumidos nesta simulação consideram uma situação bem conservadora para análise de um caso “crítico”.

Tabela 5: Simulação da influência de chuveiro elétrico em uma conta de energia.

Simulação de consumo de um chuveiro		
Fator	Unidade	Valor
Moradores		4
Banhos por pessoa		1,2
Tempo de banho (uso efetivo do chuveiro = 6 min)	h	0,1
Potência do chuveiro	kW	5,5
Fator de custo (com impostos)*	R\$/kWh	0,68089286
Dias no mês	Dias	30
Consumo mensal	kWh	79,20
Total de gastos mensais	R\$	53,93

* Fator de custo considerado da cidade de Taubaté, SP.
Fonte: Autor, 2019

De acordo com a região e com a renda familiar, o consumo elétrico da residência se altera devido à temperatura ambiente e pelo uso de outros equipamentos (freezer, lâmpadas, ar condicionado, ventiladores etc.). Entretanto, via de regra, quanto menor for a renda familiar, maior será o impacto do chuveiro elétrico na conta destas famílias. Esta influência será ainda maior se o período de consumo coincidir com o período de bandeira vermelha das empresas fornecedoras de energia elétrica.

Uma das alternativas para diminuir o consumo de energia elétrica é popularizar o uso de energia solar para o aquecimento de água. Apesar de vantajosa, muitos motivos dificultam a difusão do uso deste equipamento, entre eles pode-se destacar o desconhecimento, a maior complexidade na construção e o baixo custo do sistema de aquecimento elétrico. Todos estes motivos aliados ao alto preço de um sistema completo de aquecimento solar de água convencional impedem que o mesmo seja transformado em uma *commodity* do ramo dos materiais de construção.

Esta situação, entretanto, tende a melhorar. Algumas concessionárias de energia elétrica do país, como a CEMIG, já possui programas com incentivo de aquecimento solar de água para edificações residenciais multifamiliares. Desde 2017, a companhia EDP Bandeirantes de energia também oferece para seus clientes a instalação de painéis solares para geração de energia fotovoltaica, entre várias outras empresas de maior ou menor porte.

Da mesma maneira, alguns órgãos governamentais já dispõem de grandes projetos como o PROINFA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica que visa incrementar a geração de energias com fontes alternativas. Esses programas, somados a vários trabalhos de pesquisa envolvendo este tema, confirmam que o uso do aquecimento da água pela energia solar, por meio de um coletor ou aquecedor solar, apresenta condições de ser amplamente aplicado em um futuro próximo.

2.3 ENERGIA SOLAR

Devido ao custo relativamente baixo da geração ou até mesmo pela comodidade, o fato é que, com o passar do tempo, o mundo sentiu os efeitos da poluição gerada pela queima dos combustíveis fósseis e o impacto ambiental causado pelas hidrelétricas. Assim, cientistas passaram a buscar e desenvolver fontes de energia limpa e renovável como a energia solar e a eólica dentre outras.

A tendência da humanidade é conviver com problemas ambientais, desde mudanças climáticas, aumento da poluição, instabilidade no suprimento de água, comida e energia. O MEC / MMA (2005) no Manual de Educação para o Consumo Sustentável diz que o impacto do homem sobre o meio ambiente foi significativamente maior após o século XX devido o aumento da população e do consumo pessoal.

Apresentando custos cada vez mais competitivos quando comparados às fontes convencionais de energia elétrica e baseada em um potencial tecnológico já existente e disponível. Apesar de suas limitações como região

geográfica e climática, hoje o país mais avançado no desenvolvimento de células solares é a Alemanha, graças a um programa de incentivo do governo que tornou a energia solar a mais estudada e difundida no mundo inteiro (MACHADO, 2014)

Apesar de se ter algumas opções energéticas como a eólica e a biomassa, por ser abundante em toda a terra, a energia solar tem despertado interesse no mundo todo. Esta forma de geração é limpa, renovável a cada dia, gratuita, não polui e nem prejudica o ecossistema durante sua geração (BENTIVENHA, 2005). No Brasil, especificamente, é uma forma de energia abundante e permanente alcançando uma média anual de 280 dias de sol (RODRIGUES & MATAJS, 2005) e devido a sua extensão territorial e por estar situado próximo à linha do equador, possui alto potencial para geração de energia solar (COSTA, 2002).

Essa posição geográfica no globo permite ao Brasil receber uma boa radiação solar, independente do mês, inclusive durante os meses de inverno (DADALTO, 2008). Isso torna a energia solar a solução ideal para áreas com bons índices de insolação e que ainda não foram eletrificadas. A grande vantagem da energia solar é não precisar de gerador para produção de energia elétrica e rede de distribuição, além de não ser poluente e não influir no efeito estufa (na sua geração). Essa condição torna-se mais importante quando observado que as regiões mais equatorianas no Brasil, ou seja, as regiões mais expostas à radiação solar estão mais longe das fontes geradoras tradicionais.

A fonte solar atua como forma alternativa de geração de energia tanto para aquecimento como pelo aproveitamento energético através de células fotovoltaicas, que apesar de ainda não apresentarem bom rendimento, vêm se tornando cada dia mais comum. Para ilustrar este potencial, Zuffo (2015) afirma que a energia que chega do sol na alta atmosfera terrestre é equivalente a dez bilhões de vezes a potência de Itaipu. O foco do presente trabalho, obviamente, está no aproveitamento térmico da energia solar.

Atualmente, a energia solar, vem sendo aproveitada em maior escala. Além da importante tarefa de conscientização ambiental e social pelo uso de uma

energia limpa e gratuita, a economia de energia convencional, causada pela utilização da fonte solar, evita grande desperdício, tanto para a sociedade como para o meio ambiente.

A energia solar apresenta vantagens quando comparada a outras fontes de energia, principalmente ser uma das que menos polui enquanto está em uso, pela praticidade para a instalação em região remota e/ou longe de rede elétrica e com baixa manutenção. O inconveniente é que além de ainda não ter um rendimento bom, tem a produção instável porque além de estar disponível somente durante o dia, mesmo assim, sua eficiência pode oscilar em função da época do ano, meteorologia no dia, sombra, além da dificuldade de armazenamento. No caso específico dos sistemas “*Offgrid*”, ou seja, não ligados à rede elétrica, a necessidade de uso de baterias aumenta a quantidade de resíduo pois o ciclo de vida de uma bateria (cerca de 5 anos) é menor que a do painel solar que só de garantia do fabricante tem 25 anos.

Para Treis (1991), a melhor forma de promover a utilização da energia solar, não é discutir suas vantagens e desvantagens, mas seguir com o trabalho de pesquisa e desenvolvimento de novas técnicas e materiais, melhorando os sistemas e equipamentos que já existem.

O sistema energético brasileiro, por estar baseado na geração através de hidrelétricas, fica susceptível à oscilação em função do uso, nos “horários de pico” de consumo. Segundo Jardim (2007), o período mais crítico é entre as 18 h e 21 horas, justamente em função do pico de consumo. O problema é que todo o sistema elétrico do país deve estar equacionado para atender esta concentração de uso.

Depois de anos de discussão no Congresso Nacional, finalmente em abril de 2012 foi promulgada pela ANEEL a Resolução Normativa N^o 482, que permite aos usuários brasileiros a geração e venda de energia excedente para as empresas distribuidoras. Esta lei beneficia tanto os usuários, que podem receber pela energia colocada no sistema, como também toda a população, pois contribuem para a diminuição da dependência energética das hidrelétricas.

O aproveitamento térmico da energia solar no Brasil possibilitará uma redução no consumo de energia elétrica anual entre 65% e 80% na geração de água quente dependendo da região do país (ISMANHOTO, 2004). Por isso a popularização dos sistemas de aquecimento de água por meio da energia solar vem se difundindo e esse crescimento provocou grande aumento de aplicação, qualidade e tipos de coletores solares disponíveis no mercado.

2.4 COLETOR SOLAR / AQUECEDOR SOLAR

Para entender melhor a capacidade do sol em aquecer a água, Sprenger (2007), relata que após expor uma caixa de madeira revestida de cortiça preta, Horace de Saussure comprovou em 1767 que era possível capturar a energia solar e armazená-la por um período de tempo.

Mas, foi o americano William Bailey que obteve em 1910 o registro de patente da sua invenção com aquecedores solares planos, "Solar Heater", baseado no princípio de funcionamento por termo-sifão, utilizado ainda hoje no mundo inteiro (BAILEY, 1910). No Brasil, o comércio de aquecimento solar iniciou-se na década de 70 e só veio a se desenvolver na década seguinte, graças às primeiras normas brasileiras de ensaios específicas para o setor (RIBEIRO, 2010).

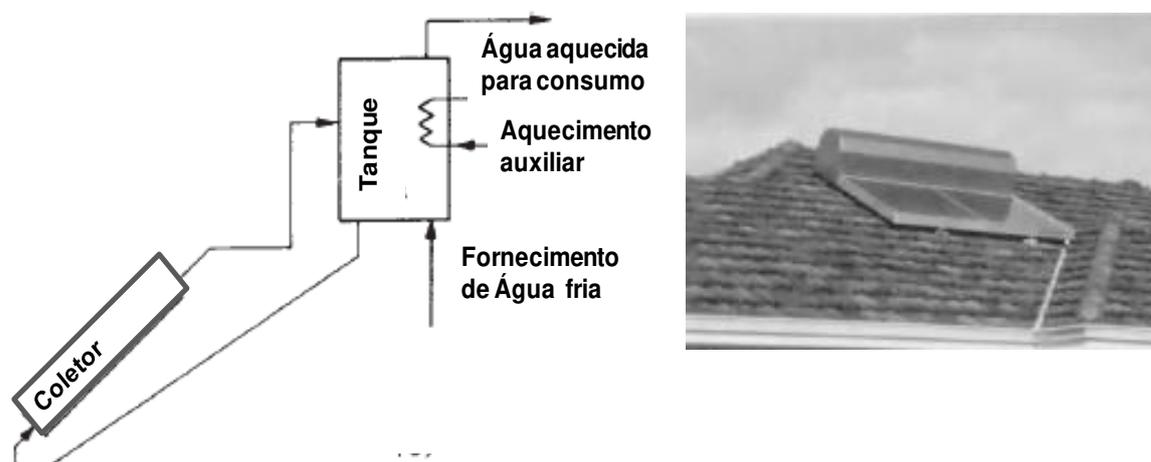
O processo de aquecimento da água é simples e consiste em absorver a radiação solar e em seguida transportar esta água aquecida para um reservatório para posterior uso (RÍSPOLI, 2001). Em outras palavras, o sistema tem por base uma placa cuja função é a captação da radiação solar, gerando calor que é transportado por condução para a água que será direcionada, ativa ou passivamente, para um reservatório.

Na maioria das vezes não há compatibilidade entre os horários de demanda de uso e de disponibilidade da fonte energética. Em residências, por exemplo, o maior consumo está entre as 18 h e as 20 h, mas a geração de água

quente está disponível durante o dia. Por isso a necessidade de um reservatório para armazenamento (LIMA, 2003).

Para a absorção do calor, utiliza-se uma placa geralmente de cobre pintada na cor preta por onde passa água, coberta hermeticamente com vidro para melhorar o aproveitamento da energia solar pelo efeito estufa. Em seguida, a água aquecida é transferida para um reservatório protegido termicamente, denominado “*boiler*” para depois seguir para o ponto de consumo (Figuras 6a e 6b).

Figura 6: a) Esquema de funcionamento de um coletor solar por Termo-sifão e b) Exemplo de Conjunto Completo de Coletor Solar com Reservatório Térmico (“*Boiler*”)



Fonte: Duffie e Beckman (2013) adaptado pelo autor

Para permitir que os aquecedores solares alcancem o adequado sucesso e resultados favoráveis em termos de economia de energia, os sistemas precisam atender às exigências técnicas e as normas de construção o que acaba gerando aumento nos custos de fabricação.

Para garantir o melhor rendimento do sistema é necessário que vários fatores sejam observados: a posição da(s) placa(s) em relação ao sol, a distância entre a placa e o reservatório e entre o reservatório e o ponto de consumo, presença de sombra, posição geográfica local (latitude), entre outros fatores (MORRISON, 2001). Por isso é importante o planejamento bem feito antes da

instalação do sistema, melhorando o rendimento e diminuindo o tempo de amortização de investimento.

O aquecimento solar de água além de ser um dispositivo caro para a maioria dos brasileiros, ainda é desconhecido para quase metade da população, o que pode ser evidenciado na Tabela 6.

Tabela 6: Conhecimento sobre aquecimento solar de água por classe econômica

Especificação	CLASSE ECONÔMICA												BRASIL	
	A		B1		B2		C1		C2		D/E		Abs	%
	Abs	%	Abs	%	Abs	%	Abs	%	Abs	%	Abs	%		
Conhece e utiliza	18	3,86	10	1,24	28	0,97	19	0,51	44	0,93	62	1,00	181	0,96
Conhece	339	72,75	584	72,65	1.974	68,14	2.277	61,66	2.399	50,57	2.216	35,91	9.789	52,14
Não conhece	99	21,24	193	24,00	833	28,75	1.319	35,72	2.228	46,96	3.810	61,74	8.482	45,18
Não sabe/não respondeu	10	2,15	17	2,11	62	2,14	78	2,11	73	1,54	83	1,35	323	1,72
Total	466	100,00	804	100,00	2.897	100,00	3.693	100,00	4.744	100,00	6.171	100,00	18.775	100,00

Fonte: Pesquisa de Posse e Hábito 2019 pg328

O desconhecimento aliado ao custo elevado destes aquecedores faz com que eles sejam adquiridos por uma parcela da população de maior poder aquisitivo. Com isso, o impacto do aquecimento solar de água no pico de consumo gerado nos horários de maior concentração de uso ainda não é muito significativo. Isso mostra a necessidade de se pensar numa forma de tornar essa tecnologia acessível para população mais carente.

A proposta de difusão de um coletor solar de baixo custo para família de baixa renda causaria um impacto maior no pico de consumo, ajudando com isso as concessionárias de energia no seu planejamento e dimensionamento da rede (COLLE et al, 2004). Uma opção, já bastante estudada é utilizar energia solar para o aquecimento de água por meio de um aquecedor solar de água de baixo custo, cujo desenvolvimento vem crescendo ao longo dos anos.

Construídos com materiais mais econômicos, mais leves e duráveis, os coletores solares de baixo custo, buscam alternativas de otimização em equipamentos já em uso, como adesivos, tintas ou revestimentos seletivos para melhorias na absorção da radiação solar, e isolamento térmico.

2.5 COLETOR SOLAR DE BAIXO CUSTO OU AQUECEDOR SOLAR DE BAIXO CUSTO

O Coletor Solar de Baixo Custo (CSBC) mantém o mesmo princípio de funcionamento de um coletor solar normal, utilizando, porém uma placa coletora mais simples, geralmente de material polimérico (PVC), sem cobertura de vidro e utilizando uma caixa-d'água normal como reservatório de água quente (não térmico). A simplicidade da construção do CSBC consiste no fato de não possuir cobertura de vidro na placa de absorção de calor, e nem reservatório térmico para armazenamento da água quente. Por trabalhar com uma temperatura máxima mais baixa (em torno de 50°C), estes coletores permitem também utilizar tubos de PVC na construção do sistema, simplificando e reduzindo o custo de sua instalação.

Coletores Solares de Baixo Custo vêm sendo estudados e utilizados há dezenas de anos no aquecimento de água para uso em chuveiro, com resultados satisfatórios. Todavia, devido à sua construção ser basicamente de materiais poliméricos, algumas considerações importantes são feitas quanto à sua utilização em regiões de baixa temperatura onde há o risco de congelamento da água no interior da placa.

Isto porque o coeficiente de expansão linear do PVC é 3 vezes maior do que o Cobre e 6 vezes maior do que o vidro (tipo janela). Portanto, as tensões geradas, por dilatação do material, nas junções entre a placa do forro e os tubos de PVC, dos coletores CSBC, são mais intensas do que nos tubos de cobre, no caso de um coletor tradicional. Assim, alguns cuidados podem ser considerados para os CSBC, como isolar termicamente os tubos de PVC desde a instalação e, nos períodos de geadas, cobrir temporariamente as placas do forro de PVC com uma manta térmica (como a usada nos reservatórios). Alternativamente, pode-se fechar a válvula de entrada de água fria no sistema e esvaziar toda a água das placas abrindo-se uma outra válvula de drenagem (RODRIGUES, 2010)

Contudo a opção de cobrir as placas com a manta térmica não é uma solução simples, pois nessas circunstâncias o usuário deve subir no telhado para cobrir e descobrir a placa. O mesmo inconveniente pode ocorrer no procedimento de fechar e abrir as válvulas, caso estas não forem instaladas com fácil acesso; isto é, de modo que não seja necessário subir no telhado.

A associação entre os CSBC e o chuveiro elétrico também permite poupar energia até nos dias mais frios das estações mais frias, pois, mesmo que a água não atinja uma temperatura suficiente para um banho confortável, é possível utilizar o chuveiro elétrico com a chave seletora a meia potência, aquecendo somente a água que será efetivamente utilizada, com conseqüente diminuição de custo de energia para a família. A temperatura da água do banho é específica de cada pessoa, portanto, não é possível afirmar qual a temperatura ideal para o banho. Mas uma referência possível é utilizar a temperatura corporal $\sim 36^{\circ}\text{C}$ como medida de uma temperatura de água confortável.

O aquecimento feito pelo chuveiro elétrico no ponto de uso possibilita ainda uma economia no consumo de água, por permitir o aproveitamento da água fria que estava parada na tubulação até a chegada da água quente proveniente do reservatório de água quente, principalmente nos casos em que o reservatório esteja longe do local onde está o chuveiro. Para uma instalação com a tubulação de 25 mm a cada 3,5 m de tubulação perde-se 1 ℓ de água, para instalação com tubulação de 32 mm a relação é de 1 ℓ para cada 1,5 m de distância.

Os CSBC utilizados neste trabalho foram baseados nos trabalhos realizados no Centro Incubador de Empresas Tecnológicas (CIETEC/IPEN) em 2000, que com apoio do programa PIPE (Pesquisa Inovativa em Pequenas Empresas) - Fapesp, Bartoli e colaboradores (1999) realizaram um estudo de viabilidade técnico-econômica para desenvolvimento de coletores solares fabricados com materiais termoplásticos.

Os protótipos de aquecedores solares de baixo custo seriam opções factíveis como coletores solares passivos, ou seja, que operam por diferença de

densidade dispensando assim o uso de bomba elétrica para forçar o fluxo de água, isso torna possível atender a grande maioria de famílias de baixa renda, uma vez que poderiam ser construídos pelo método “faça você mesmo”.

Seguiram-se estudos de eficiência térmica e confiabilidade destes protótipos, agora denominados de CSBC, na Faculdade de Engenharia Química (FEQ) da Unicamp, Campinas, (BARTOLI et al., 2004; PEREIRA et al. 2005; PEREIRA et al, 2006; BARTOLI et al., 2011). As atividades de pesquisa contaram com a participação de alunos de graduação, pós-graduação e empresa júnior Propeq/FEQ/Unicamp, em projetos sociais de extensão universitária, oferecendo cursos gratuitos, elaborando manual do CSBC, denominado “Sole mio” (Figura 7a) e ensinando a construção e instalação dos CSBC em comunidades e instituições assistenciais na região de Campinas (Figura 7b). O manual foi didaticamente preparado para facilitar o entendimento de todos os aspectos construtivos das placas e tubos do CSBC, do reservatório com seus pontos de entrada da água da rede de abastecimento e de saída da água quente para uso doméstico (chuveiro), bem como na instalação do CSBC para o seu melhor rendimento. Uma cópia do Manual do CSBC é apresentada no anexo 4.

Figura 7: a) Manual para construção de Coletor Solar de Baixo Custo. b) Sistema CSBC e reservatórios montados em casa de repouso na região de Campinas



Fonte: Projeto “Sole Mio” Coletor solar de baixo custo / Renato César Pereira, Julio Roberto Bartoli, Samuel Ferreira Mello

Os CSBC tornaram-se assim, uma fonte de renda adicional às famílias de operários, pedreiros, encanadores, dentre outros, que além de construírem os seus coletores solares, passaram a oferecer também serviços de montagem e instalação destes sistemas em residências e para aquecimento de água de piscinas.

A ONG, denominada Sociedade do Sol, foi constituída em São Paulo logo após o encerramento do projeto PIPE/Fapesp (2000), sem envolvimento deste grupo (FEQ/Unicamp). Mais tarde, em 2005, uma empresa do ramo de chuveiros elétricos, em colaboração com essa ONG, fabricava *kits* para montagem destes tipos de aquecedores solares de baixo custo, comercializados em todo o território nacional até 2013, quando a empresa foi adquirida por um grande grupo empresarial.

As características técnicas do CSBC apresentam o mesmo conceito de um coletor solar convencional, passivo, para aquecimento de água: o efeito termossifão, porém sem a cobertura de vidro (efeito estufa) de modo a prevenir o aquecimento demasiado da água, preservando a integridade dos componentes de PVC rígido comum. A temperatura máxima de uso contínuo do PVC homopolímero é de 65 °C; isto é, abaixo da sua temperatura de transição vítrea (T_g) 80 – 84 °C (RODOLFO Jr. et al, 2006). A placa coletora é construída de forma simples com forros modulares de material termoplástico (PVC), cujo custo é reduzido por ser produzido em alta escala industrial para a construção civil.

A eficiência térmica dos CSBC foi avaliada nos laboratórios de simulação solar da instituição certificadora Green PUC-Minas, tendo sido determinada, de acordo com a norma ABNT – NBR 10.184, uma eficiência máxima de 67%, em condições climáticas sem vento, muito próximas aos coletores comerciais de 75% (PEREIRA et al, 2006). Porém, a partir de 2009, essa norma foi substituída pela ABNT-NBR-15.747-1: 2009.

A favorável eficiência térmica dos CSBCs se deve à adequada transferência de calor da superfície absorvedora do coletor para a água que circula pelas canaletas internas da placa coletora, uma vez que praticamente toda

a área da placa está em contato com a água. As dimensões de uma placa de forro de PVC, com espessura de 1 mm, são 625 mm x 1.250 mm resultando uma área total de 0,78 m². Desconsiderando as 40 aletas de 1 mm de espessura, a área de troca de calor entre água e placa reduz para 0,73 m². Perfazendo, portanto uma relação de superfície de água sobre a superfície de coletor igual a 0,94.

Esse efeito não ocorre em coletores convencionais com tubos de cobre ou alumínio. Um modelo bem atual como o RSC-1000T de um conhecido fabricante, por exemplo, possui uma placa de 948 mm x 1.007 mm, com uma área total de 0,95 m², com 8 tubos internos de 9,52 mm de diâmetro. Considerando somente a metade da lateral do tubo que está efetivamente exposta à radiação, este coletor apresenta uma área efetivamente em contato com a água de 0,12 m². Assim, a relação de superfície de água sobre a superfície de coletor ficou igual a 0,13.

Valores de razão bem parecidos com um modelo proposto por Bezerra (1990) que apresenta uma placa de 800 mm x 1.900 mm, perfazendo uma área total de 1,52 m², porém com 5 tubos internos de diâmetro igual a 12,7 mm. Fazendo os mesmos cálculos de área para este modelo de coletor, esta placa apresenta uma área efetivamente em contato com a água de 0,19 m². Neste exemplo, a relação de superfícies também foi de 0,13, a mesma razão encontrada no modelo convencional atual, apesar da significativa diferença dimensional dos modelos.

A durabilidade dos CSBC foi estudada em outros trabalhos deste grupo onde se verificou o bom desempenho dos coletores após 5 anos de uso contínuo, instalados no recinto de testes FEQ/Unicamp (Figura 8) e em entidades assistenciais, para aquecimento de água do banho, na região de Campinas/SP (PRADO, 2010; BARTOLI et al., 2011). Nesse período não houve comprometimento mecânico das placas dos coletores, requerendo apenas retoque da pintura preta da superfície absorvedora. Nestes estudos foram utilizados dois reservatórios distintos, uma caixa de água e um tambor, ambos de polietileno, como depósito de água quente.

Figura 8: Exemplo de Aquecedor Solar de Baixo Custo.



Fonte: Conjunto montado no recinto de teste da FEQ-Unicamp

Nesse estudo, também foi analisada a correlação entre estrutura química e propriedades mecânicas do PVC rígido, com amostras retiradas das placas após três anos em condições de envelhecimento natural, foto-termo-oxidativo. Observou-se uma redução de 7% na Tensão de Ruptura (sob tensão), não significativa, medindo-se $41,4 \pm 7$ MPa e $38,7 \pm 8$ MPa em amostras originais e após 36 meses, respectivamente; valores estes considerados de referência para o PVC rígido (RODOLFO Jr. et al, 2006).

A aplicação da energia solar no aquecimento de água para o consumo das famílias e de certas indústrias é um assunto que precisa ser avaliado com cuidado, uma vez que o Brasil não está livre de crises de energia e novos apagões acontecerão se o país não progredir na oferta de energia.

Por ser uma tecnologia que acarreta benefícios econômicos, ambientais e sociais, a energia solar deveria ser mais incentivada para ocupar um lugar de destaque no panorama energético brasileiro. Por isso, fez-se necessário pensar em formas de trazer mais conhecimento sobre esta tecnologia, permitindo assim, que o sistema seja mais acessível, o que tornaria a energia mais em conta para população carente. Surgiram então, vários estudos e trabalhos de dissertações e teses. Alguns exemplos destes estudos realizados com

aquecedores de água que usam energia solar em diversos trabalhos mostram que o tema foi e ainda é bastante explorado por cientistas, estudiosos e alunos em diversas publicações ao longo dos anos, como pode ser visto a seguir.

Alencar (1999) utilizou em sua experiência a telha de fibrocimento como parte integrante do coletor solar, com registro de temperatura (entrada e saída) em termopares posicionados em uma placa de aquisição de dados ligados a um computador dedicado a esta finalidade.

A Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL) criou o projeto “Pré-aquecedor solar de água para chuveiros elétricos de potência reduzida”, auxiliado por um aquecedor solar de baixo custo, projetado para fornecer com menor investimento, água preaquecida para suporte para os chuveiros elétricos.

Em 2000, a empresa Sunpower, sob a direção de Woelz, desenvolveu projeto com a intenção de abordar problemas energéticos brasileiros e questões sobre energia solar no Centro Incubador de Empresas Tecnológicas (CIETEC) da Universidade de São Paulo (USP). O projeto contou com o apoio e financiamento da FAPESP, programa PIPE – Pesquisa Inovativa em Pequenas Empresas (1999/06335-5), sob a coordenação de Bartoli.

Bartoli et al (2011) apresentaram no Congresso Europeu de Polímeros o estudo sobre envelhecimento natural do PVC das placas coletoras dos CSBC até 48 meses de operação. Foram caracterizadas as propriedades mecânicas e físico-químicas do material PVC retirado das placas destes coletores solares, através de curvas de tensão *versus* deformação e FTIR.

Os resultados obtidos demonstraram que mesmo mantendo o aquecimento da água a 50 °C e sem vazamentos, as propriedades mecânicas do PVC nas placas do CSBC apresentaram alterações significativas nas suas propriedades mecânicas, com redução em torno de 20% no Módulo de Young. Observou-se também que houve início de um processo de fotodegradação do PVC na superfície que ficou exposta diretamente ao sol.

Um Coletor Solar de Baixo Custo teve sua eficiência térmica determinada em 67% no Laboratório Green Solar da Universidade Federal de Minas Gerais. Este trabalho foi coordenado por Bartoli e apresentado por Pereira et al no 17º CBECIMat Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais de 15 a 19 novembro de 2006 em Foz do Iguaçu, no Paraná.

Desenvolvido na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) “Eficiência térmica de coletor solar de baixo custo” (COIMBRA et al. 2008) apresenta a caracterização de um coletor solar de baixo custo, confeccionado com garrafas pet e caixas de leite tetrapak buscando a medida da eficiência térmica. O resultado obtido foi pouco satisfatório, com eficiência média do sistema em apenas 11%.

Mendes (2009), em um trabalho desenvolvido na Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia faz uma comparação de desempenho entre um aquecedor solar de baixo custo (ASBC) e seu similar convencional. Ambos os aquecedores (convencional e de baixo custo) foram sujeitos ao escoamento do tipo termossifão, em que foram analisadas a eficiência, a distribuição de temperaturas e o tempo de resposta para se alcançar as melhores condições de consumo.

Apesar da eficiência de aquecimento do ASBC ser geralmente menor quando comparada a de um sistema convencional, é também possível obter temperaturas do fluido em níveis que garantam um banho confortável aos seus usuários. Conclui-se, portanto, que o ASBC é tecnicamente viável para o aquecimento doméstico de água por apresentar menores custos de construção e instalação quando comparado ao similar convencional.

No trabalho: “Aplicação do sistema fechado do aquecedor solar de água de baixo custo para reservatórios residenciais isolados termicamente: concepção e comissionamento de um sistema piloto de testes”, entregue à Universidade Federal do Paraná/Curitiba, Sprenger (2007) entende que dos sistemas de aquecimento de água utilizados no Brasil, os chuveiros elétricos são

considerados os mais populares e os que apresentam menores dificuldades de instalação.

Sprenger (2007) ao fazer comparação entre um coletor convencional e o alternativo verificou que no início do dia a temperatura da água no interior do reservatório térmico do coletor solar alternativo encontrava-se em equilíbrio com a temperatura do meio ambiente. Isso acontecia porque o isolamento térmico não era suficiente para minimizar as perdas do calor durante a noite. Esse fato não ocorria no coletor convencional, que mostrava às 10 h uma diferença de temperatura de 12 °C chegando ao máximo de 24 °C às 14 h. Para o coletor alternativo, o gradiente de temperatura inicia-se às 10 h, e vai aumentando até atingir o ponto máximo de 12,5 °C por volta das 14 h.

Ríspoli (2001) em seu texto – “Estudo do aproveitamento da energia solar para aquecimento de água em edificações familiares de baixa renda”, refere-se também à importância do aproveitamento de radiação solar em coletor térmico que captura calor para aquecer água para consumo doméstico, comercial e industrial. Enfim, pode ser usado em qualquer ambiente que seja necessário transferir o calor do sol para o interior de uma edificação, podendo inclusive servir para climatizar piscinas garantindo o aproveitamento da mesma durante todo o ano e não apenas no verão.

O mesmo trabalho aborda a durabilidade dos materiais empregados e a avaliação das resistências elétricas de alguns chuveiros comercializados no Brasil, com o intuito de classificar e especificar o de menor potência, para a complementação do sistema solar.

Em 2010, Napolini e Rütther avaliaram o potencial da agregação da energia solar térmica em núcleos habitacionais de baixa renda na cidade de Florianópolis e comprovaram que mesmo com a condição geográfica desfavorável, o sistema proporcionou ganhos significativos em economia de energia elétrica e na redução da demanda no horário de ponta do sistema.

Em 2011, a mesma dupla Napolini e R  ther estudou o impacto na redu  o da demanda no horário de ponta proporcionada pelo preaquecimento solar da água para banho e comprovaram que este preaquecimento proporciona uma redu  o significativa da demanda no horário de ponta solicitada    concessionária de energia elétrica.

Essa pesquisa usa a própria caixa-d'água para reservar a água quente e a água fria em um reservatório   nico. Utiliza o isolamento térmico ao redor do reservatório e mostra dispositivos que facilitam a montagem do sistema pelo usuário, buscando a concep  o de um protótipo do tipo "faça você mesmo seu coletor solar" e aproximando o reservatório ao que seria um "Boiler" em um coletor convencional.

2.6 RESERVATÓRIO DE ÁGUA ("BOILER")

O reservatório de água em conjunto com a placa são as principais peças do Coletor Solar. Sua importância aumenta quanto mais se consegue conservar, em seu interior, água com temperatura elevada, transformando o reservatório de água em reservatório térmico, diminuindo assim as perdas naturais de energia.

O armazenamento da energia acumulada ao longo do dia    imprescindível, uma vez que permite o aproveitamento da água aquecida nos momentos em que não há radia  o ou quando a intensidade da radia  o não é significativa (LOURENÇO Jr. 2000).

Dependendo do projeto, os reservatórios podem ser horizontais ou verticais e segundo Prado et al. (2007), nos reservatórios horizontais, o espaço entre a temperatura máxima e a mínima    menor, diminuindo o rendimento do conjunto. Morrison (2001), estudou esta rela  o e afirma que a eficiência de um tanque horizontal de 400 mm de diâmetro fica em torno de 8-10% menor do que um tanque vertical de 1,5 m. Por isso a importância da determina  o experimental do coeficiente de transmissão térmica que se estabelece entre uma superfície sólida (parede do reservatório) e o fluido (  gua).

Existem reservatórios térmicos convencionais e alternativos. O térmico convencional ou “*boiler*”, de forma horizontal ou vertical, normalmente é construído em material que suporta temperaturas mais elevadas como aço inoxidável e cobre e são revestidos externamente com materiais de baixo coeficiente de transmissão térmica, como lã de vidro. O reservatório térmico possui ainda um sistema de aquecimento complementar de água (normalmente, uma resistência elétrica ligada a um termopar que é acionado quando a temperatura da água atinge um valor mínimo). O reservatório alternativo é confeccionado em plástico rígido ou em fibra de vidro.

No sistema alternativo, normalmente utiliza-se a própria caixa d’água como depósito de água quente, portanto, não apresenta isolamento térmico e não possui aquecimento complementar.

Deve ser montado com o objetivo de minimizar as perdas de calor devido ao fluxo reverso durante a noite. Para isso, recomenda-se uma distância de 200 a 2000 mm entre o coletor e o tanque, entretanto, quanto mais próximos eles estiverem, melhor será o sistema (NORTON E PROBERT, 1983, apud MORRISON, 2001).

Cada reservatório de água de um Coletor Solar (“*Boiler*”) tem sua proteção térmica própria feita por meio de isolantes térmicos. Dependendo do modelo, os “*boilers*” são feitos com lã de vidro, lã de rocha, espuma de polietileno, poliuretano, poliestireno e poliestireno expandido, materiais muito usados em construção civil, em indústrias, usinas e em alguns equipamentos e outras áreas de aplicação dependendo das suas características técnicas.

A aplicação de isolante térmico no coletor solar diminui sensivelmente a perda de calor para o meio, reduzindo ao máximo possível essas perdas tanto das tubulações como no reservatório, protegendo-os por meio de materiais que são maus condutores de calor.

Nos coletores convencionais o “*boiler*” é preparado para suportar temperaturas mais elevadas, além do revestimento térmico que o protege das mudanças de temperatura diária. Este estudo busca exatamente uma maneira de proteger o reservatório de água dos coletores solares de baixo custo, aproximando-o ao que seria um “*boiler*” de um aquecedor convencional.

2.7 FUNDAMENTOS FÍSICOS ENVOLVIDOS

Calor pode ser transferido e esse fenômeno acontece sempre que ocorrer uma diferença de temperatura entre dois ou mais meios. O calor é, portanto um fenômeno transitório, que cessa quando não existe mais uma diferença de temperatura (SEARS e ZEMANSKI, 1989).

Temperatura

Dentre as várias formas de definir temperatura, Smith e Van Ness (1980) conceituam temperatura como sendo “a força motriz da transferência de energia” e ainda afirmam que a transferência de calor de um corpo para o outro será mais rápida, quanto maior for a diferença de temperatura entre os dois e que se não há diferença de temperatura, não há transferência de calor.

Calor

Quando dois corpos não estão em equilíbrio térmico, ou seja, quando um dos corpos tem a temperatura maior que o outro e são colocados em contato, suas temperaturas variam até que atinjam o equilíbrio térmico.

É importante observar que, o calor não está nunca armazenado dentro do corpo. Assim como o trabalho, o calor só existe na forma de energia em trânsito, de um corpo para outro ou entre um sistema e suas vizinhanças (SMITH e VAN NESS, 1980). Essa transferência de calor ocorre sempre do corpo mais quente para o corpo mais frio. Esse processo chama-se fluxo de calor ou simplesmente, calor.

Mecanismo de transferência de calor

São os mecanismos físicos que permitem a transferência de calor de modo a poder quantificar a energia transferida por unidade de tempo. Consideram-se como mecanismos de transferência de calor, o fenômeno da condução, da convecção e da radiação.

Radiação

Há transmissão de calor entre dois corpos separados no espaço, mesmo que exista vácuo entre eles. Essa transmissão ocorre através de ondas eletromagnéticas que saem do corpo de maior temperatura para o corpo de menor temperatura.

Convecção

Transmissão de calor entre dois fluidos. Essa transmissão ocorre quando as moléculas do fluido de maior temperatura chocam-se com as moléculas do fluido de menor temperatura transferindo assim sua energia (calor) para o fluido de temperatura mais baixa.

Condução

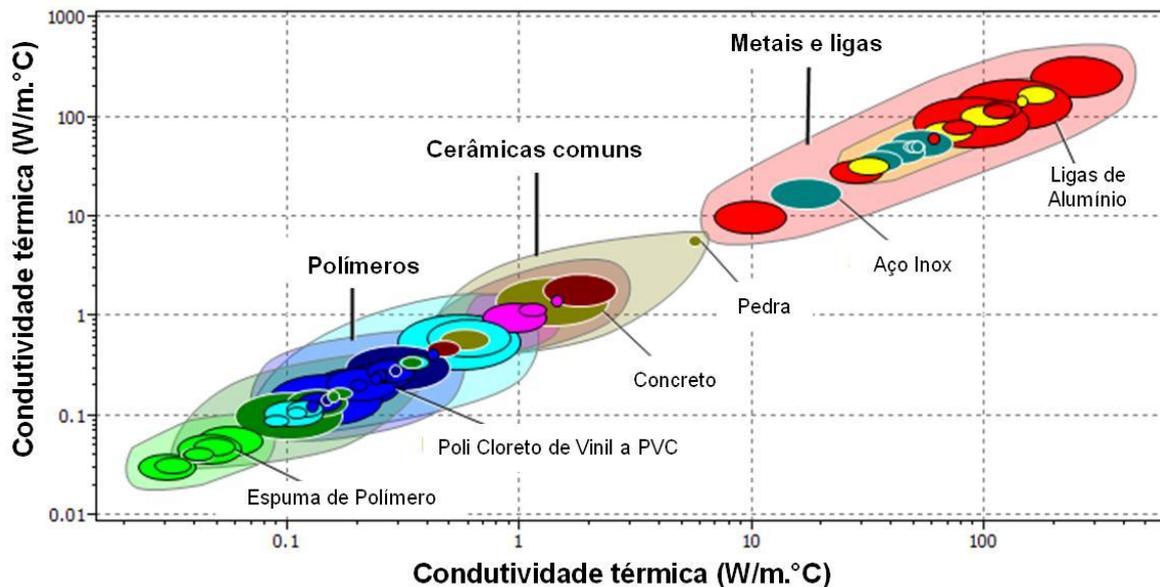
É o mecanismo de transferência de calor entre dois corpos. Quando estes são colocados em contato direto há a transferência de energia das partículas mais energéticas para partículas menos energéticas. A diferença em relação à convecção é que a energia do movimento térmico passa de uma molécula para outra, sem alterar sua posição original.

Condutividade Térmica

É a capacidade de cada material em conduzir calor em maior ou menor velocidade. Para Sears, Zemansky e Young (1984), a condutividade térmica é “uma constante, cujo valor numérico depende do material”.

No gráfico representado na Figura 9 estão representadas a condutividade térmica de algumas famílias de materiais, com destaque para alguns específicos somente para referência.

Figura 9: Diagrama de Ashby para Condutividade térmica de alguns materiais e suas famílias



Fonte: ASHBY & GRANTA, 2011. Tradução livre do autor.

Para garantir o suprimento de água quente, tanto à noite como nos dias nublados, a água previamente aquecida no reservatório deve estar termicamente protegida por um adequado isolante, diminuindo assim a perda de calor e a consequente diminuição da temperatura da água.

Com base nas definições citadas acima e aplicadas no reservatório de água de um coletor solar, entende-se que as três formas de transferência de calor estão presentes nos reservatórios, da seguinte forma:

Convecção: Entre a água quente e a fria dentro do reservatório visto que elas não são isoladas uma da outra. Este fenômeno vai causar a diferença de densidade dos fluidos e o consequente fenômeno do termossifão.

Radiação: Entre a superfície da água no reservatório e o meio ambiente visto que o reservatório não é isolado e também não está completamente cheio.

Condução: Entre a água e a parede do reservatório. Esta é a principal fonte de troca de calor no reservatório devido a grande área de contato entre a água e o reservatório (cerca de $0,7 \text{ m}^2$ nos reservatórios de 100 litros estudados).

Devido a essa grande área de contato entre a água e a parede do reservatório, o foco da proteção térmica deve ser a transmissão de calor por condução, portanto a proteção do reservatório.

Jean Baptista Joseph Fourier em 1822 propôs a equação básica para transmissão de calor por condução (OLIVEIRA Jr. et al., 1986), onde a taxa de transferência de calor é dado por:

$$\dot{Q} = -k.A.\frac{dt}{dx} \quad (2.1)$$

Separando as variáveis:

$$\dot{Q}.dx = -k.A.dt \quad (2.2)$$

Integrando:

$$\dot{Q} \int_{x_1}^{x_2} dx = -k.A. \int_{t_1}^{t_2} dt \quad (2.3)$$

Invertendo a integral para eliminar o sinal negativo:

$$\dot{Q} \int_{x_1}^{x_2} dx = k.A. \int_{t_2}^{t_1} dt \quad (2.4)$$

Resolvendo as integrais:

$$\dot{Q}.(x_2 - x_1) = k.A.(t_1 - t_2) \quad (2.5)$$

Observando o esquema representado na figura 10, percebe-se que $(x_2 - x_1)$, na verdade é a espessura do material, portanto:

$$\dot{Q} = \frac{k.A.\Delta T}{e} \quad (2.6)$$

Onde:

\dot{Q} : Taxa de transferência de calor por condução (kcal / h)

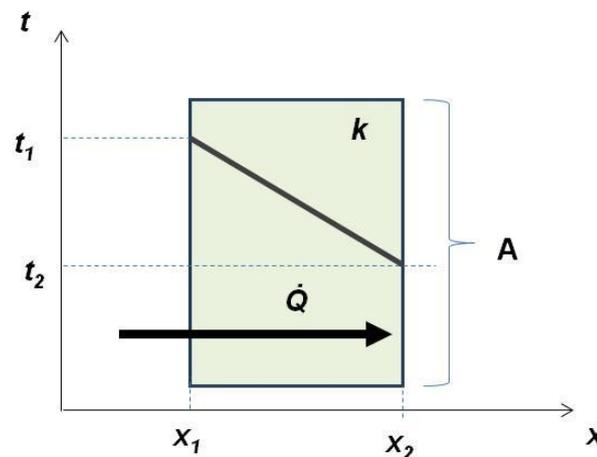
k: Coeficiente de transmissão térmica do material (kcal / (h.m.°C))

A: Área (m²)

ΔT : Diferença de temperatura entre os meios (°C)

e: Espessura (m)

Figura 10: Esquema representativo da taxa de transferência de calor



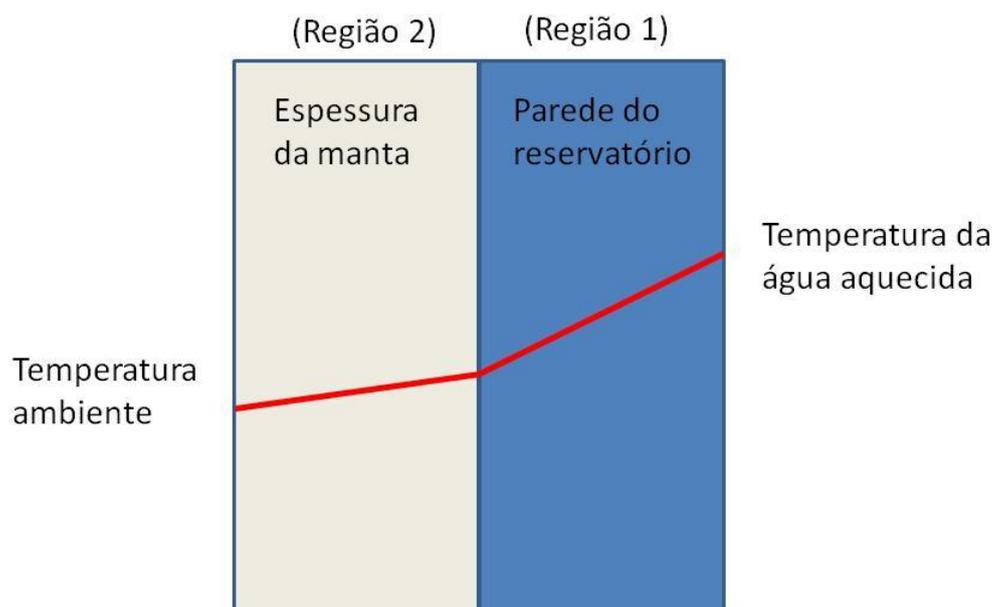
Analisando a equação 2.2, é possível perceber a importância e a relação direta da condutividade térmica, a área e a diferença de temperatura entre os meios. Também é possível notar a importância e a relação, agora inversa, da espessura do material isolante.

A área de contato entre a água e a parede do reservatório é característica do formato do reservatório escolhido, portanto constante. A diferença de temperatura é uma característica física intrínseca do processo, e depende da temperatura ambiente, portanto sem controle.

Nos reservatórios de água com proteção térmica, o processo de transferência de calor por condução ocorre em duas regiões distintas Figura 11: A primeira (Região 1), entre a temperatura interna do reservatório (temperatura da água quente) e a temperatura externa da caixa de água com a condutividade térmica do Polietileno de Média Densidade usado na fabricação da caixa d'água (PEMD) e a espessura da parede do reservatório e a segunda (Região 2), entre a

temperatura externa do reservatório (interna do isolador) e a temperatura externa do isolador (temperatura ambiente), usando o coeficiente de transmissão térmica e a espessura do isolador.

Figura 11: Esquema representativo das duas regiões distintas de troca de calor por condução em um CSBC



3 METODOLOGIA

O plano de trabalho foi dividido em três etapas. A primeira, após seleção de fontes e informações, abordou o estado da arte sobre coletores solares planos, reservatórios ou “*boilers*” de água quente, como visto no capítulo 1.

A segunda etapa abordou uma pesquisa para definição de materiais isolantes térmicos, transferência de calor e eficiência térmica adequada, aliada à proposta do projeto de baixo custo e fácil aplicabilidade para montagem dos protótipos e instrumentação para a terceira etapa.

Nesta etapa também foi utilizado o programa Armwin® Professional Insulation Thickness Calculator, que permite determinar a espessura adequada de um determinado material específico para isolamento térmico de um reservatório contendo um determinado fluido, disponibilizado pela empresa *Armacell*, fabricante da manta térmica polimérica selecionada neste estudo. Além disso, este programa pode ser utilizado na simulação numérica da variação de temperatura da água nos reservatórios em estudo. Isto é, permite estimar os valores de temperatura após um determinado período, em especial no período noturno, condição crítica para o sistema de aquecimento de água por energia solar.

A terceira e última etapa do projeto foi a montagem e instrumentação dos protótipos para coleta de dados e análise dos resultados. Os protótipos foram montados na área experimental da Faculdade de Engenharia Química da Unicamp. Importante observar que em função da capacidade física da área e do equipamento, a coleta de dados ocorreu em duas etapas, sempre comparando dois protótipos, montados lado a lado, e instrumentados para coleta de temperaturas e posterior comparação.

No primeiro par foi feito um comparativo entre duas mantas, uma de 10 mm e outra de 15 mm de espessura. No segundo par, um reservatório sem proteção térmica (para referência) e o outro com a manta de 10 mm, porém,

montado dentro de outro reservatório maior, simulando um confinamento, minimizando assim a troca de calor com o ambiente.

Os modelos, a partir de agora denominados “protótipos” foram montados e avaliados em períodos distintos do ano conforme Tabela 7.

Tabela 7: Protótipos montados e época do ano em que foram avaliados

Protótipo	Período avaliado	Construção do reservatório	Revestimento com manta (espessura)
#1	Verão	Caixa-d'água (100 ℓ) revestida externamente	10 mm
#2	Verão	Caixa-d'água (100 ℓ) revestida externamente	15 mm
#3	Inverno	Caixa-d'água (100 ℓ) sem revestimento	-
#4	Inverno	Caixa-d'água (100 ℓ) revestida externamente dentro de caixa sem revestimento de 150 ℓ	10 mm

Por uma questão de padronização de estudo, nos protótipos estudados, optou-se por não utilizar ponto de consumo para a água quente como seria no uso normal do coletor. Portanto, o processo estudado é fechado para entrada de água fria e saída de água quente para consumo, ou seja, o sistema é fechado em termos de circulação de água, mas não pelas definições da Termodinâmica. Isso não representa o uso pelo cliente, que obviamente precisa de um ponto de uso. Entretanto, para estudo comparativo, é melhor, pois elimina variáveis importantes e de difícil controle como o horário e o volume de água retirada além do volume e temperatura da água que entra no reservatório.

Outro ponto importante a ser destacado é que não há resfriamento ao final de cada ciclo diário forçando uma isonomia entre os protótipos, isso por que o objetivo do trabalho é estudar o decaimento da temperatura e não o rendimento do sistema como um todo. Esse fato além de melhorar a assertividade dos dados

coletados, facilita a comparação entre os tipos de proteção utilizada, principalmente por terem sido testados em épocas diferentes.

Como poderá ser visto na Figura 28 do capítulo de Resultados deste trabalho, a maior variação média de temperatura em um horário foi encontrada no Protótipo #3 às 15 h. Para o cálculo da quantidade mínima de amostra, foi adotada a temperatura média neste horário, por ser o mais crítico para este tipo de análise. Assim, se a quantidade de amostra neste horário for suficiente, todos os outros protótipos também o serão em qualquer horário que for avaliado.

Como a temperatura ambiente é uma função de vários fatores não controláveis, algumas medidas estatísticas como desvio padrão precisam ser avaliadas com cuidado. Devido esta variação natural, para o cálculo da quantidade mínima da Amostra foi adotado o período de uma estação climática do ano (90 dias) como o período máximo para amostragem (Universo de medidas). Como o desvio padrão foi calculado a partir de 37 observações, o valor de t é o correspondente a 36 (NETO, 2003). Este e os demais fatores adotados no cálculo podem ser visto na Tabela 8.

Tabela 8: Critérios adotados para cálculo de tamanho de amostra

Característica	Símbolo	Valor	Comentário
Universo amostral	N	90	Dias de uma estação
Amostra necessária	n	?	Valor a ser medido
Amostra utilizada	n'	37	Dias de medida de temperatura
Erro aceitável	ϵ (°C)	1,5	Bom senso
Graus de liberdade	N-1	89	Universo menos 1
t student	Tabelado	2,029	Literatura estatística
T _{méd}	°C	41,8	
Somatório x^2		65627,4	
Somatório x		1545,7	
Variância amostral S^2_x		29,3	

Para a determinação do tamanho da amostra, foi utilizado a equação para determinação de amostra para uma população finita (SILVA et al, 1995).

$$n = \frac{t_{\text{student}}^2 \cdot S^2_x \cdot N}{\varepsilon^2 \cdot (N-1) + t_{\text{student}}^2 \cdot S^2_x} \quad (3.1)$$

$$n = \frac{2,029^2 \cdot 29,3 \cdot 90}{1,5^2 \cdot 89 + 2,029^2 \cdot 29,3} \quad (3.2)$$

$$n = 33,84 \quad (3.3)$$

Como o valor encontrado é menor que o total de amostras avaliadas, é possível afirmar, portanto, que a amostra representa o universo nos 90 dias de duração de uma estação com 95% de certeza para um erro estimado de 1,5 °C.

4 MATERIAIS

Para construção dos protótipos, buscaram-se materiais de baixo custo, que fossem fáceis de serem encontrados seja em lojas de material de construção, seja em lojas especializadas e que fossem de fácil manuseio pelo usuário mantendo assim o conceito do “faça você mesmo”, possibilitando ainda mais o barateamento do conjunto montado.

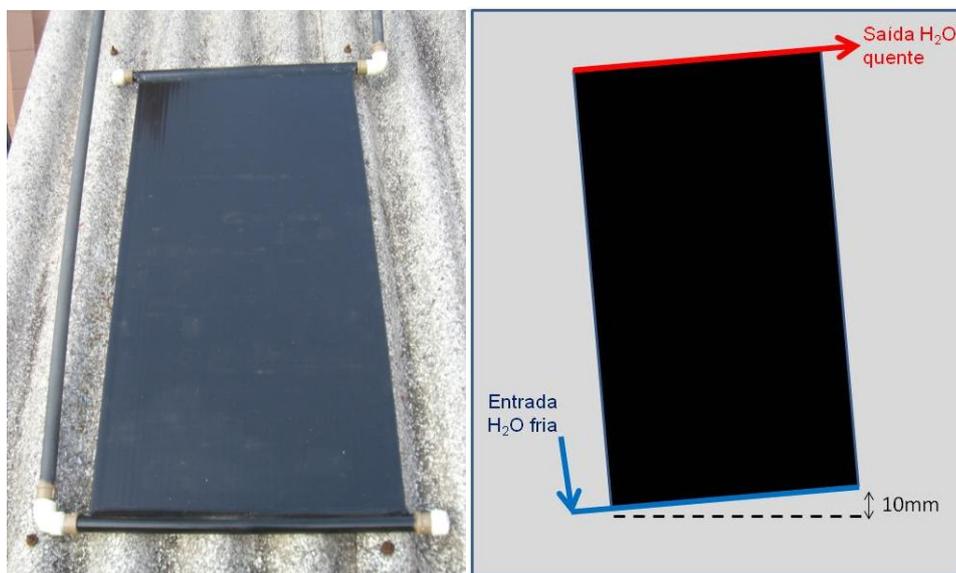
4.1 PLACA PVC PARA COLETOR SOLAR

Para construção dos protótipos, utilizou-se placa de PVC comumente aplicada na construção civil na montagem de forros de teto. A escolha do fornecedor não tem razão técnica. A única observação comercial a respeito desta peça é que ela é normalmente vendida em caixas fechadas com algumas peças. Entretanto, é possível encontrar peças vendidas avulsas em lojas especializadas.

A placa possui tamanho de 625 mm x 1250 mm x 10 mm e uma espessura de parede de 1 mm, possui, portanto uma área de captação de 0,8 m². Muitos autores, inclusive Lafay (2005) recomenda que a área da placa seja proporcional ao volume do reservatório. A orientação é que a relação seja de 50 ℓ a 100 ℓ por metro quadrado de placa. O volume dos reservatórios adotados foi de 100 ℓ. Na montagem dos conjuntos, foi utilizada uma única placa por protótipo. Esta relação permite afirmar que estes protótipos representam uma condição bem conservadora para o aquecimento da água.

As placas foram pintadas com rolo de pintura comum e tinta fosca preta “Coralit” a base de resinas alquídicas e negro de fumo, produzindo-se uma superfície absorvedora seletiva para diminuir a reflexão dos raios de sol, aumentando assim a absorção do calor e conseqüentemente, melhorando o rendimento do coletor (Figura 12a).

Figura 12: a) Placa forro PVC pintada e montada no recinto de teste da Unicamp e b) Representação do ângulo de montagem da placa nos protótipos do CSBC utilizados neste trabalho



Para eliminar possíveis bolhas no sistema o que prejudicaria o fluxo de água quente, as placas foram instaladas com uma inclinação de 1 cm no lado da saída de água quente (Figura 12 b)

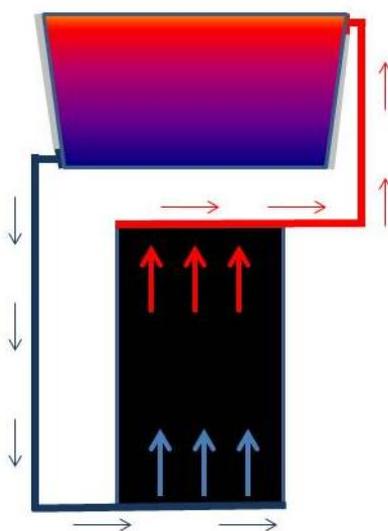
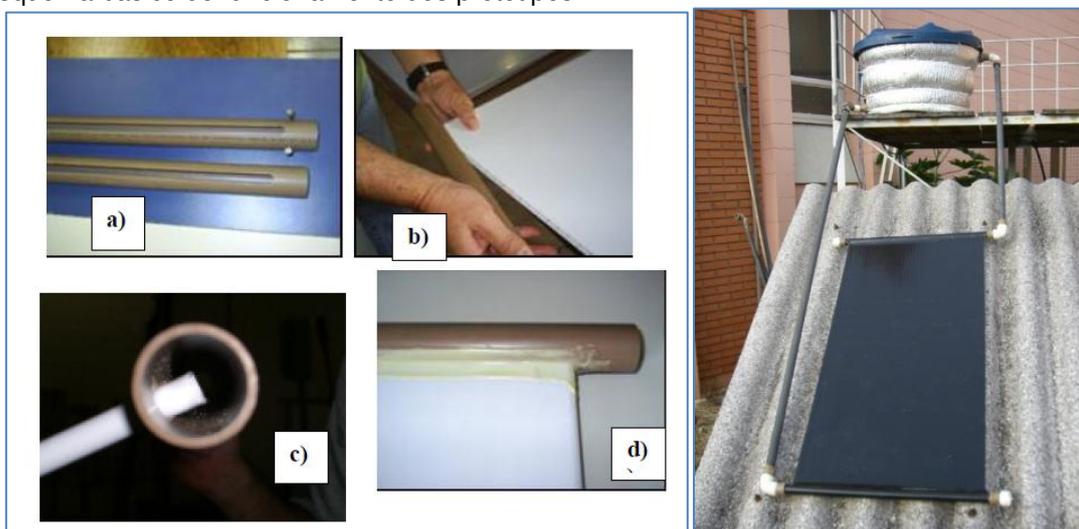
Todos os protótipos foram construídos conforme descrito em publicações prévias (BARTOLI et al., 2004; PEREIRA et al. 2005) e montadas no suporte sobre telhas que simulam o telhado de uma residência. Seguindo as instruções do Manual para construção de Coletor Solar de Baixo Custo “Sole Mio” (Figura 13 a-d). As placas não possuem cobertura transparente, portanto, não contam com o efeito estufa para suporte ao aquecimento. Os coletores solares usados neste trabalho são do tipo passivo e por este motivo, contam somente com a diferença de densidade entre a água quente e a água fria para fazê-la circular pela placa, aquecê-la e armazená-la no reservatório (Figura 13 f).

Os sistemas em estudo foram instalados no recinto de testes da Faculdade de Engenharia Química da Unicamp, com as placas coletoras inclinadas a 33° (latitude de Campinas + 10°) (SPRENGER, 2007) e observando-se os requisitos da ABNT NBR.15.747-2:2009 (Figura 13 e).

Interessante observar que vários trabalhos publicados, como Sprenger (2007), Siqueira (2009) e Widdersky (2002), referem-se ao uso da latitude local + 10° como referência de inclinação para melhor rendimento do sistema no período de inverno, cuja incidência solar é menor, priorizando assim o período mais crítico para o uso.

Figura 13: Aspectos da montagem do coletor solar CSBC:

- a) tubos de PVC cortados;
- b) encaixe dos tubos nas placas de forro de PVC;
- c) e d) detalhe dos tubos colados na placa;
- e) protótipo montado no recinto de testes, de um coletor CSBC (revestido com esmalte preto) acoplado ao reservatório para armazenamento de água isolado com manta térmica e
- f) esquema básico de funcionamento dos protótipos.



Fonte: a),b),c) e d) PEREIRA, BARTOLI & MELLO (2008)

4.2 ISOLAMENTO TÉRMICO DO RESERVATÓRIO DE ÁGUA

O isolante térmico tem a função de diminuir a transmissão do calor e a sua aplicação no Coletor Solar de Baixo Custo diminui sensivelmente a perda de calor para o meio, reduzindo ao máximo possível as perdas que acontecem no reservatório, protegendo-os por meio de materiais que são maus condutores de calor.

Portanto, para garantir o suprimento de água quente, tanto à noite como nos dias nublados, a água previamente aquecida no reservatório deve estar termicamente protegida por um adequado isolante, diminuindo assim a perda de calor e a consequente diminuição da temperatura da água.

A escolha do material isolante seguiu critérios técnicos e mercadológicos. Quanto maior for o valor da condutividade térmica, melhor será a transmissão de calor desse material. Como o plano de trabalho dessa pesquisa visa à retenção de calor da água no reservatório, foi preciso buscar os materiais com menores valores de condutividade térmica possíveis.

Entretanto, é necessário ainda que o material escolhido seja de fácil manuseio e que seja moldável para permitir a montagem e a instalação pelo usuário, e ainda, que seja facilmente encontrado no mercado, seja em lojas de materiais de construção, seja em lojas especializadas.

Alguns isolantes térmicos como lã de vidro, lã de rocha e poliestireno expandido, são usados em construção civil, indústrias, usinas, equipamentos e outras áreas de aplicação devido a suas características técnicas e por isso mesmo são facilmente encontrados no mercado. Porém, não possuem um manuseio amigável para o usuário (no caso das lãs). Outra possibilidade bastante econômica e fácil de ser encontrada seria o poliestireno expandido, mas este material não possui boa moldabilidade.

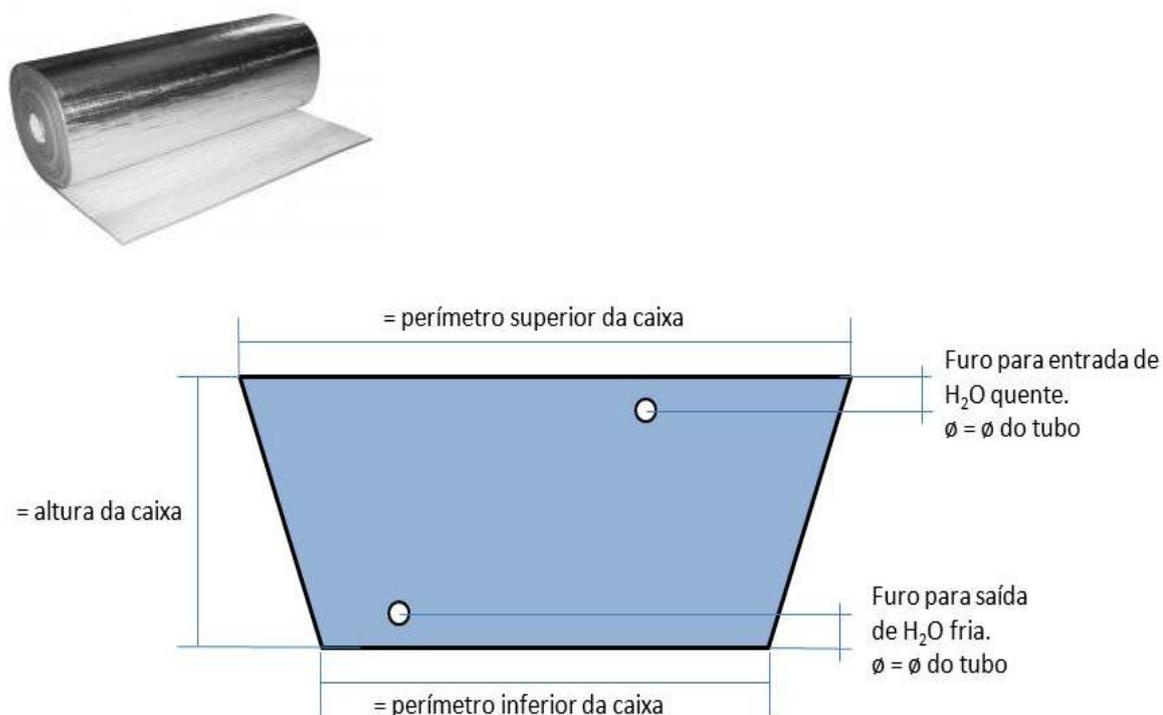
Diante deste cenário e por uma questão mercadológica (facilidade de ser encontrada), optou-se por utilizar uma manta flexível e que fosse insensível às

intempéries, para melhorar a vida útil do conjunto montado. A opção escolhida foi o produto comercial Armaduct®, isolante térmico e acústico fabricado em borracha nitrílica expandida com células fechadas e desenvolvido especialmente para o revestimento térmico de dutos metálicos pela empresa Armacell (Anexo 1). Este produto encontra-se disponível em mantas (rolos padronizados e autoadesivos), disponível com película metalizada externa, e largura de 1 m. Sua flexibilidade facilita a adaptabilidade aos reservatórios cilíndricos, típicos para um sistema de CSBC. É encontrado no mercado, em lojas especializadas e disponível em espessuras variadas o que facilita seu uso em qualquer tipo de instalação. Diferentemente ao que acontece com as placas de forro de PVC, não foi encontrada venda da manta no modo “a granel”.

As mantas foram empregadas no revestimento externo lateral dos reservatórios, (Figura 13 e), utilizadas em duas espessuras de 10 e 15 mm, sendo fixas com fitas plásticas e/ou adesivo especial para manta Armaduct®. Essas mantas se caracterizam por seu baixo coeficiente de condutividade térmica: $0,037 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ a 10°C , resistência à difusão de vapor de água e estanqueidade por ter células fechadas. A superfície externa das mantas é revestida com uma película aluminizada com espessura de $12 \mu\text{m}$, resistente a intempéries, raios UV e impactos (Anexo 1). Estes são materiais específicos para isolamento térmico de sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado para conforto térmico de ambientes, tem como características, um bom custo benefício, facilidade de aplicação além de não desprender fibras ou partículas.

Para a montagem dos protótipos revestidos com manta térmica, estas tiveram que ser cortadas para modelarem a superfície lateral externa das caixas, permitindo a passagem dos tubos nos flanges. A preparação das mantas seguiu conforme esquema representado na Figura 14, a etapa seguinte foi revestir as caixas com as mantas previamente cortadas e fixá-las na caixa.

Figura 14: a) Manta Armaduct usada na montagem dos protótipos b) Corte da manta térmica para permitir revestir na caixa-d'água



Fonte a: Foto divulgação fabricante Armacell

Esta manta térmica é comumente utilizada para isolamento térmico de dutos de ar condicionado (interno nas edificações), minimizando a troca de calor do fluido resfriado circulante (ar refrigerado) com o meio ambiente; a manta é instalada com o lado da película aluminizada exposto. Esta película aluminizada da manta térmica é útil, também, nas aplicações em reservatórios de água quente instalados em ambientes externos, como neste estudo. Isto é, com o lado aluminizado da manta exposto às intempéries podem ser minimizados os efeitos de fotodegradação da borracha nitrílica expandida (lado não-aluminizado em contato com o reservatório).

Poder-se-ia optar por uma configuração de isolamento térmico com duas mantas envolvendo o reservatório; uma disposta com seu lado aluminizado em contato com o reservatório e a outra, sobreposta, com o lado metalizado exposto ao ambiente. Contudo, como a manta é uma das peças de maior custo do sistema (ver tópico 5.1), e sendo o objetivo do trabalho sistemas de baixo custo, apenas uma manta foi utilizada. A seleção deste material isolante não é

exclusiva deste material e outros produtos similares existentes no mercado de isolantes térmicos devem ser avaliados.

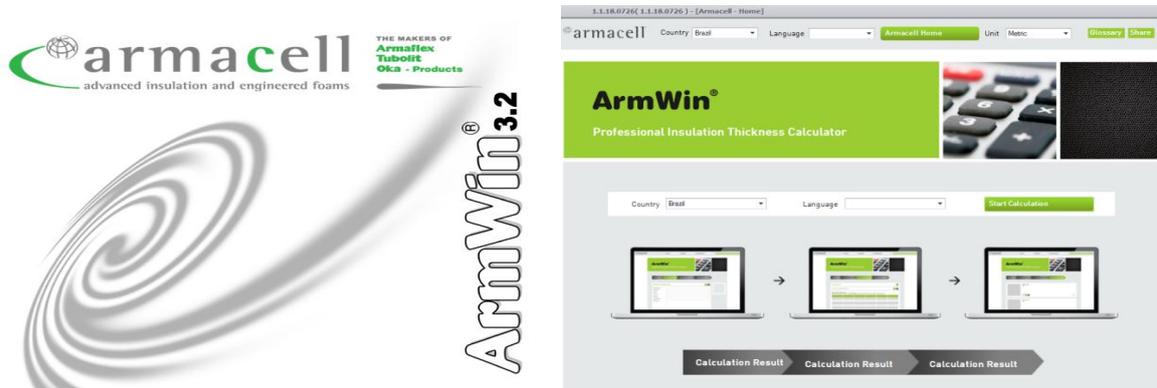
4.3 PROGRAMA SIMULAÇÃO ARMWIN®

A empresa Amacell fabricante da manta Armaduct® escolhida neste projeto disponibiliza em seu site um software para o cálculo da determinação de espessura de isolamento (ARMACELL, 2020). O software ArmWin® é um programa computacional para auxiliar o profissional na determinação do isolamento ideal de acordo com as necessidades (variáveis) de cada projeto. O programa permite alguns tipos de cálculos, possibilitando ao usuário calcular a temperatura final da água após um período de tempo (variáveis de saída), assumindo uma temperatura inicial do líquido (variável de entrada) armazenada dentro de um reservatório e revestido com determinado material isolante (outras variáveis de entrada).

Apesar de toda a flexibilidade de cálculos que o programa oferece, alguns parâmetros são bloqueados para alteração do usuário como o valor da condutividade térmica que depende da escolha do material isolante. Por este motivo, não foi possível fazer a simulação do protótipo #4.

Este também foi o motivo pelo qual se fez a opção pelo uso da versão 3.2 do Software (Figura 15 a), em detrimento da versão atual disponível (Figura 15 b), isso por que na versão anterior, é possível alterar a espessura do material isolante de acordo com o desejo do usuário. Isso possibilitou a simulação do protótipo de referência sem isolamento adotando um valor de espessura igual a zero.

Figura 15: a) Software ArmWin utilizado nas simulações deste trabalho e b) Software ArmWin na versão atual



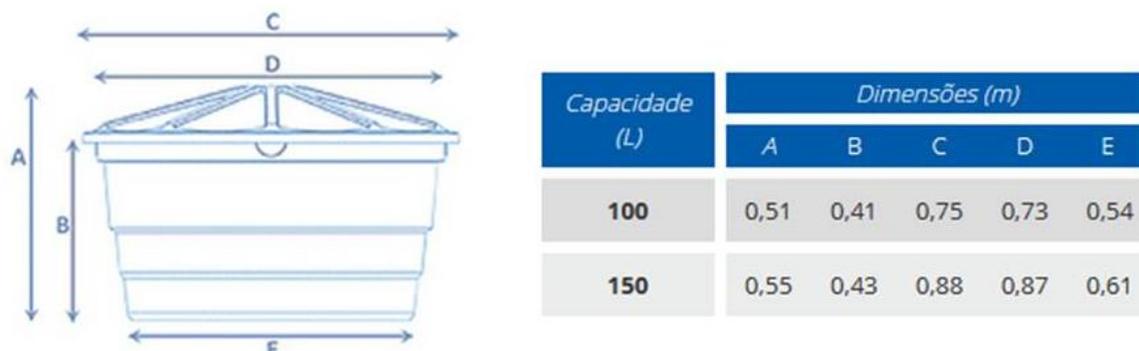
Fonte: Armacell

4.4 RESERVATÓRIO DE ÁGUA

Na construção dos protótipos foram utilizadas caixa-d'água de polietileno de média densidade, com capacidade de 100 ℓ e 150 ℓ. A escolha da marca se deu pela disponibilidade das caixas nos tamanhos e volumes desejados. Assim como na escolha da manta, para a definição da caixa d'água não há qualquer indicação quanto à marca utilizada. Somente os critérios técnicos (formato de tronco de cone) e comerciais (disponibilidade em lojas).

Tecnicamente 2 fatores são importantes de se observar para a escolha do modelo, o primeiro é o formato do reservatório que deve ser de tronco de cone para permitir montagem do protótipo da caixa de 100 ℓ dentro da caixa de 150 ℓ (Figura 16), o outro fator é a presença de aba na tampa, essa proteção lateral evita a entrada de água na lateral da manta e entre ela e a parede externa do reservatório o que poderia comprometer a eficiência do sistema por alterar o coeficiente de transmissão térmica da manta, mesmo ela tendo células fechadas. Quanto ao fator comercial, basicamente o que importa é a disponibilidade em lojas.

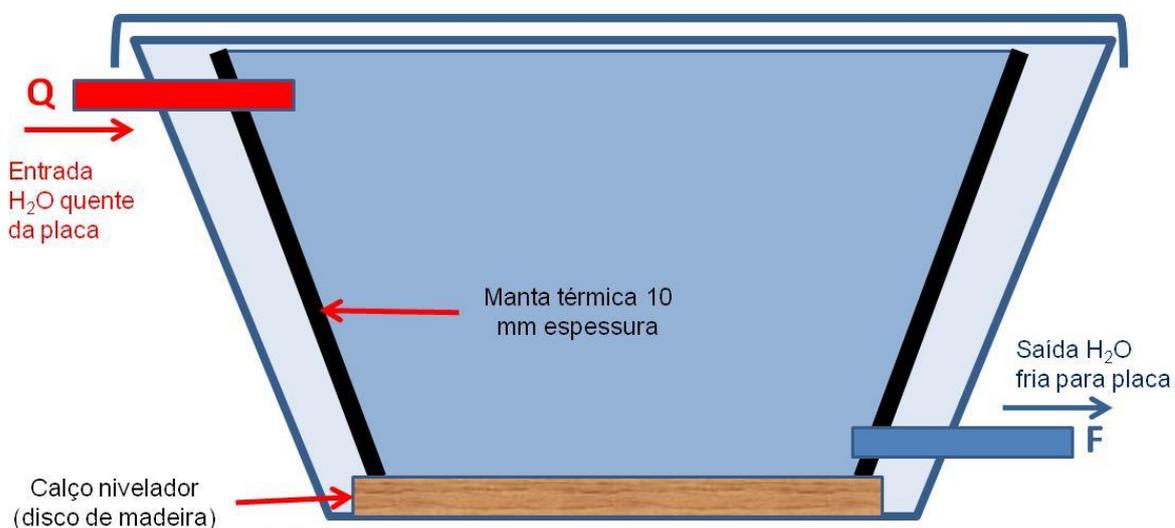
Figura 16: Desenho da caixa-d'água com as respectivas cotas utilizadas neste trabalho



Fonte: Fabricante, 2019

Para a montagem do protótipo “caixa dentro da caixa + manta 10 mm” foi necessário calçar a caixa de 100 l dentro da caixa de 150 l para que os rebaxos laterais ficassem coincidentes nas alturas, permitindo assim a montagem dos flanges e dos tubos. A montagem deste protótipo foi feita de acordo com o esquema mostrado na Figura 17.

Figura 17: Representação da montagem do protótipo caixa dentro de caixa com revestimento de 10 mm espessura na caixa interna



A Figura 18 mostra como os protótipos foram dispostos de dois em dois na plataforma de teste para coleta de dados em duas etapas (períodos do ano) conforme mostrado na Tabela 7.

Figura 18: Foto do segundo par formado pelo protótipo de referência (esquerda) e o protótipo caixa revestida com manta de 10 mm embutido na caixa de 150 l.

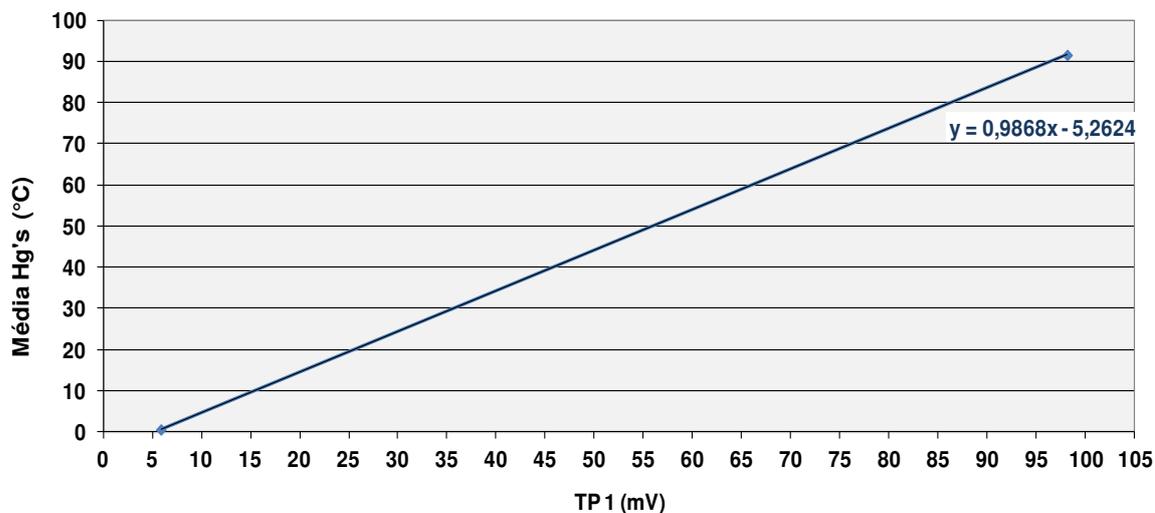


4.5 INSTRUMENTAÇÃO E COLETA DE DADOS

Para a calibração dos termopares, foram usados dois termômetros de mercúrio com escala de 0 °C a 100 °C com precisão de 1 °C para referência, sendo usada como valor de referência a média entre eles. Os dois termômetros de mercúrio e os 7 termopares tipo T, foram acondicionados em Becker de vidro, tomando o cuidado de não deixá-los em contato entre si e sem contato também com a parede do Becker.

Os valores de referência para calibração foram medidos na temperatura de congelamento e de ebulição da água em Campinas. Após estabilização, foram obtidas 10 medidas em cada ponto, e as temperaturas tomadas de 5 em 5 min. Os valores obtidos permitiram gerar uma curva de calibração para cada um dos 7 Termopares. Esta relação é importante, pois possibilita transformar os valores lidos em mV para °C como no exemplo do Termopar 1 mostrado na Figura 19.

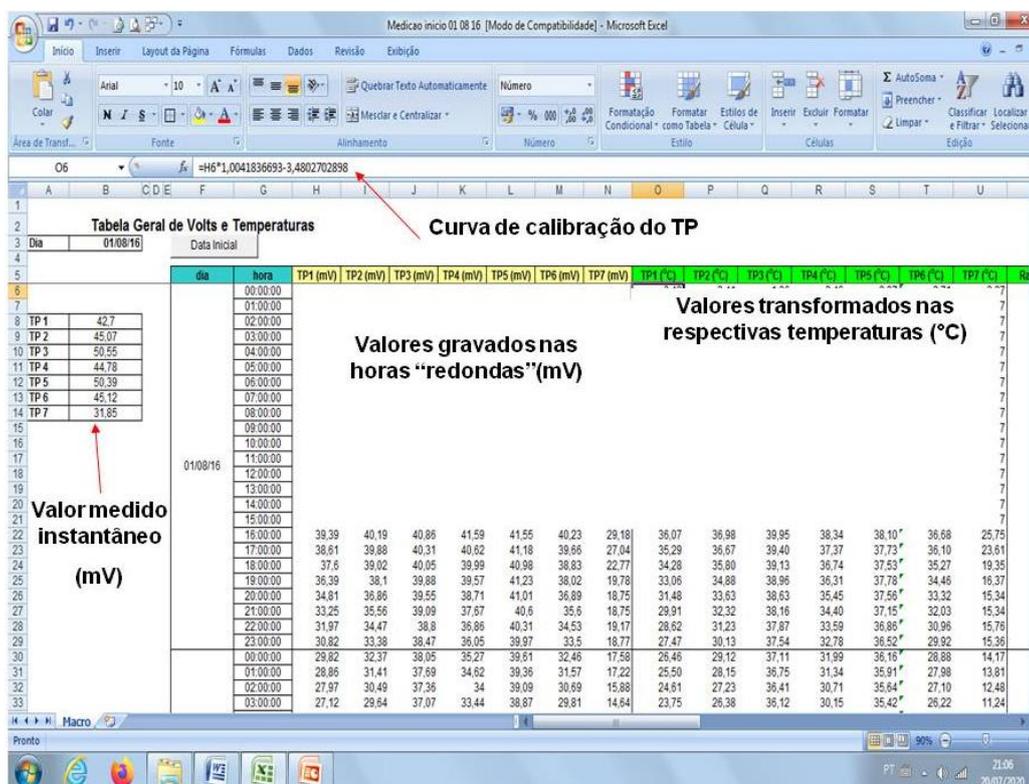
Figura 19: Curva de calibração do Termopar 1 com destaque para equação de correlação mV x °C



Para coleta de temperaturas nos protótipos foi utilizado o equipamento NAP-7000D – ICP COM (SDC Engenharia) ligado a sete termopares do tipo “T” acoplados a um microcomputador da marca Hewlett-Packard (Figura 20 a) que coleta a temperatura dos 7 termopares simultaneamente, tomando o cuidado de se usar no recinto de testes a mesma porta de acesso do aparelho que foi usada na calibração feita em laboratório.

Para automatização do sistema e gravação dos valores medidos ao longo dos dias, uma macro foi desenvolvida no Excel de modo que os valores medidos sejam gravados a cada hora “redonda” e pela curva de calibração, cada termopar tem sua leitura em mV transformada automaticamente em temperatura (°C). Possibilitando analisar ao longo dos dias a variação da temperatura do ambiente e da água reservada nas caixas sempre nas posições superior, central e inferior da caixa ao longo do dia (Figura 20 b).

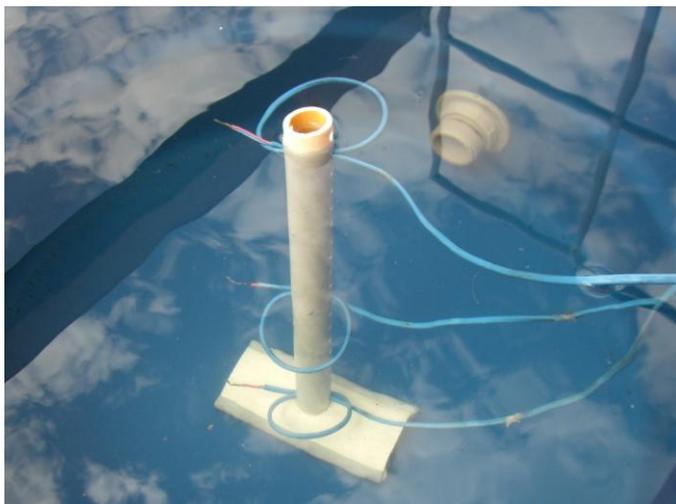
Figura 20: a) Equipamento utilizado para aquisição de dados de temperatura, com destaque para o NAP7000D. b) Planilha Excel para gravação das leituras



A temperatura de maior interesse a ser analisada é a temperatura da água quente que está na parte superior do reservatório em função do uso. Entretanto, a temperatura da água fria que está na região inferior também é importante para análise do fluxo de água gerado pelo efeito Termossifão.

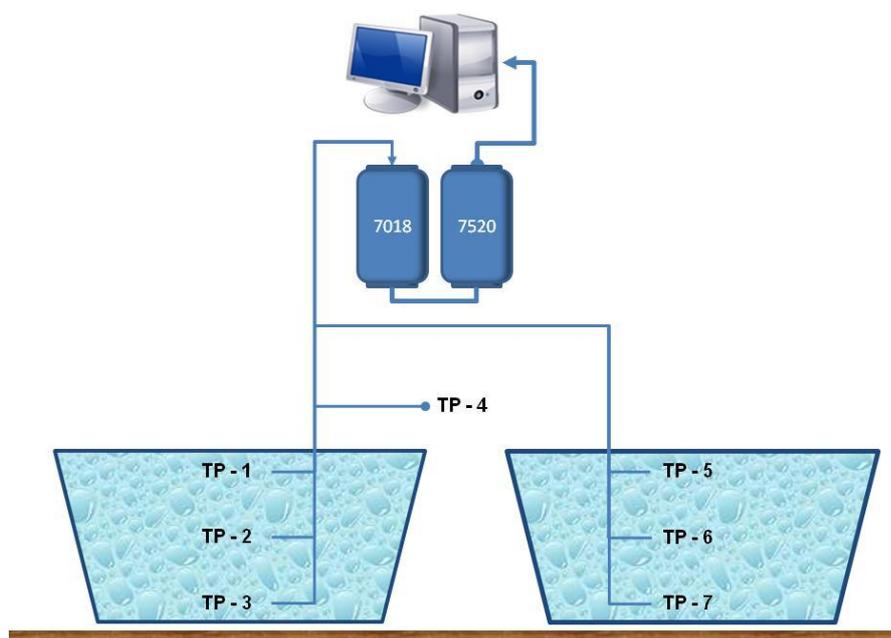
Para que estas temperaturas sejam medidas e para garantir o mesmo posicionamento dos Termopares nos dois protótipos, foi desenvolvido um suporte feito com o próprio cano de PVC (Figura 21) com furos a cada 10 mm.

Figura 21: Suporte de Termopares montado dentro de um dos protótipos



Após a calibração, os Termopares (TPs) foram instalados nos protótipos de modo que os TP 1 e 5 ficassem posicionados no alto do reservatório para captação da temperatura da água quente, posicionados a 1 cm abaixo da superfície da água, os TP 2 e 6 no centro a 19 cm do fundo e os TP 3 e 7 posicionados na região inferior, foram colocados a 1 cm do fundo do reservatório. Além dos 3 Termopares em cada protótipo, um sensor (TP-4) também foi colocado externamente para medição da temperatura ambiente conforme esquema mostrado na Figura 22.

Figura 22: Esquema representativo da localização dos termopares nos reservatórios, interligados ao equipamento de coleta de dados.



Finalmente, após a montagem dos protótipos, calibração dos Termopares, e a instalação do sistema no recinto de testes da FEQ/Unicamp, iniciaram-se as medições e coleta de dados automatizada para posterior análise.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste trabalho foram desenvolvidos reservatórios térmicos a base de PEMD para armazenamento de água aquecida por coletores solares de baixo custo (CSBC), sistemas inteiramente construídos em materiais termoplásticos oriundos de indústria da construção civil.

Estudou-se caixa-d'água ou reservatório comum de PEMD com volume de 100 ℓ em escala de laboratório, e em circuito fechado, produzindo-se quatro protótipos com características diferentes de isolamento térmico. Caixa-d'água revestida com manta térmica de 10 mm de espessura, com manta de 15 mm, com manta de 10 mm e inserida no interior de outra caixa d'água (150 ℓ) e caixa-d'água sem isolamento térmico, como referência.

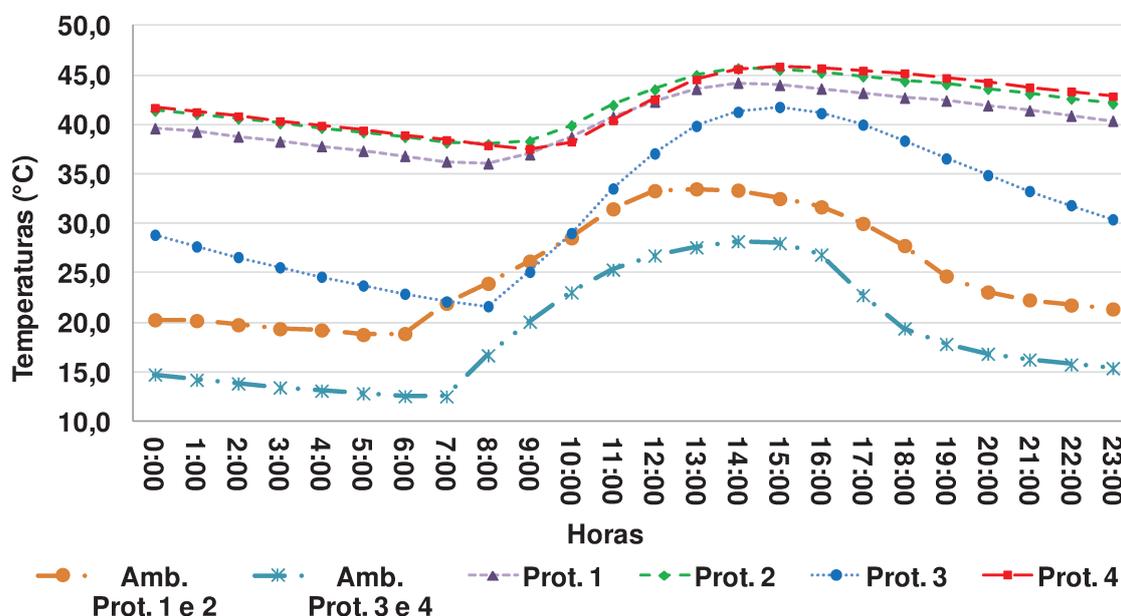
As temperaturas médias (mensal) da água nos reservatórios dos quatro tipos de protótipos em estudo foram medidas de hora em hora ao longo de 24 h (Figura 23). As temperaturas médias do ambiente (ar) no período invernal e no verão foram medidas ao longo do período dos ensaios realizados. Os resultados demonstraram ser significativo utilizar qualquer um dos sistemas de isolamento térmica nos reservatórios para minimizar a perda de calor da água no período noturno. Ainda que os experimentos com os protótipos tenham sido realizados em estações diferentes do ano, no verão: protótipo #1 (isolamento de 10 mm) e protótipo #2 (isolamento de 15 mm); e no inverno: protótipo #3 (referência, sem isolamento) e protótipo #4 (isolamento de 10 mm e duplo reservatório)

Observa-se (Figura 23) que os padrões de variação de temperatura média da água quente nos protótipos #2 e #4, em 24 horas, apresentaram-se muito próximos, ainda que em condições climáticas distintas, com similaridades nas amplitudes e declividades das curvas nos períodos diurno e noturno. Provavelmente condição de melhor isolamento térmico do protótipo #4 em relação ao protótipo #2, tenha favorecido seu desempenho mesmo no período invernal. Os padrões de variação da temperatura da água nos protótipos #1 e #2, nas mesmas condições climáticas, apresentaram declividades semelhantes e uma

diferença de apenas 3 °C, a mais para o protótipo #2 (manta térmica de maior espessura).

Na ausência de isolamento térmico no reservatório, protótipo #3, observa-se um padrão de variação da temperatura da água distinto em relação aos protótipos com isolamento (#1, #2 e #4), apresentando declividades mais intensas das curvas, porém com amplitude semelhante à variação da temperatura ambiente do ar. Estudos realizados sobre as variações térmicas da água em relação ao ar por Angelocci e Villa Nova (1995) mostraram que as flutuações térmicas na água foram pequenas ao longo de um dia, independente das amplitudes térmicas do ar ambiente serem ou não elevadas. Em dias de alta irradiância a temperatura da água aproximou-se à do ar, e com baixa irradiância a temperatura da água foi superior à do ar. Concluiu-se, também, que a temperatura mínima média da água permanece sempre acima da temperatura média do ar em qualquer época do ano.

Figura 23: Temperatura média posição superior a cada hora ao longo de 24 horas para os experimentos com os 4 protótipos



No início do período noturno, às 18 h, a temperatura ambiente média do ar era de ≈ 28 °C e a temperatura média da água quente no reservatório do protótipo #1 (isolamento de 10 mm) era ≈ 42 °C e no reservatório do protótipo #2

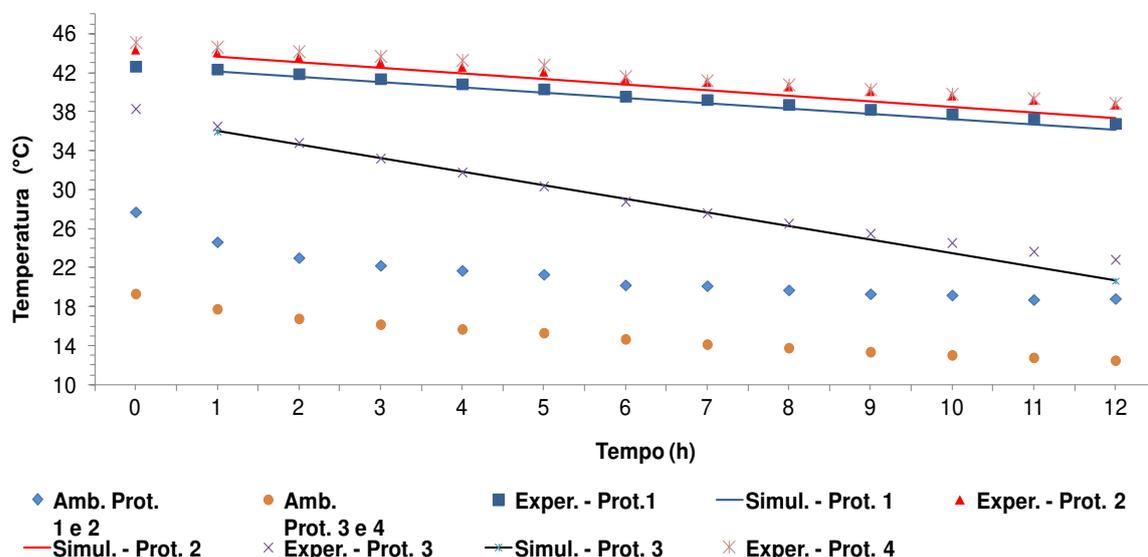
(isolamento de 15 mm) era ≈ 44 °C. Do mesmo modo, nos protótipos #3 e #4 às 18 h, com uma temperatura ambiente média de ≈ 19 °C, a temperatura média da água quente no reservatório do protótipo #3 (referência, sem isolamento) era ≈ 28 °C e no reservatório do protótipo #4 (isolamento de 10 mm e duplo reservatório) era ≈ 45 °C. Recordando que as temperaturas são médias de medidas horárias durante cerca de 30 dias de ensaios. Às 06 h da manhã do dia seguinte, com uma temperatura ambiente média de ≈ 19 °C, os protótipos #1 e #2 apresentaram ≈ 37 °C e ≈ 39 °C, respectivamente. Da mesma forma, às 06 h da manhã, com temperatura ambiente média de $\approx 12,5$ °C, a temperatura média da água quente nos protótipos #3 e #4 foi de ≈ 23 °C e ≈ 39 °C, respectivamente. Portanto, é muito significativo o efeito favorável dos distintos isolamentos térmicos de baixo custo utilizados nos três protótipos (#1, #2 e #4).

As medidas de temperatura da água quente às 18 h foram empregadas como temperatura inicial no programa ArmWin, na simulação numérica da transferência de calor nos protótipos #1, #2 e #3. O programa permite estimar a temperatura da água quente às 06 h da manhã; isto é, após um período de 12 h (Figura 24). Observa-se, nesse período noturno, uma diferença de cerca de 17 °C entre a temperatura da água quente dos reservatórios e o ambiente (ar), seja nos dados experimentais como nas simulações numéricas. O programa ArmWin demonstrou ser uma ferramenta muito adequada e eficaz na simulação numérica da variação da temperatura da água, considerando as condutividades térmicas dos materiais isolantes empregados (borracha nitrílica expandida).

Considerando-se os ensaios dos protótipos #1 e #2, verificou-se uma diminuição de ≈ 9 °C na temperatura ambiente do ar em 12 h (entre 18 h e 06 h no verão), por sua vez a diminuição na temperatura da água dos reservatórios foi de ≈ 5 °C, tanto na simulação como nos experimentos.

A simulação para o protótipo #4 não foi realizada porque o programa não permite alterar o coeficiente de transferência de calor para a simulação com a configuração deste protótipo (caixa dentro de caixa). Para a simulação do protótipo #3 (sem isolamento térmico), assumiu-se espessura zero para a manta térmica. Esta possibilidade só é permitida na versão 3.2 utilizada neste trabalho.

Figura 24: Temperatura da água posição superior e do ambiente (ar) no período (entre 18 h e 06 h) para os dados experimentais e da simulação numérica nos quatro tipos de protótipos



Observa-se nos dados experimentais para o período noturno de 12 h (Figura 24) um comportamento similar na variação da temperatura da água quente entre os três protótipos isolados termicamente (#1, #2 e #4); bem como, quanto é significativa a proteção térmica em relação ao protótipo #3 sem isolamento térmico. Por sua vez, as simulações numéricas da variação temporal da temperatura para os protótipos #1, #2 e #3 apresentaram um bom ajuste com os dados experimentais utilizando o modelo de regressão exponencial (Tabela 9). A perda de calor da água nos reservatórios está associada a fenômenos físicos de transferência de calor por condução e convecção, seguindo um decaimento exponencial de acordo com a lei de resfriamento de Newton.

Tabela 9: Regressão exponencial na análise dos dados experimentais para a variação temporal da temperatura da água nos protótipos e na temperatura ambiente (ar)

Protótipo	Modelo de regressão exponencial	Correlação (R ²)
#1	$T = 43,470.e^{-0,013.t}$	0,998
#2	$T = 45,086.e^{-0,012.t}$	0,998
#3	$T = 39,631.e^{-0,043.t}$	0,997
#4	$T = 45,942.e^{-0,013.t}$	0,993
T _{amb} p/ Prot. 1 e 2	$T = 25,7672.e^{-0,028.t}$	0,878
T _{amb} p/ Prot. 3 e 4	$T = 18,951.e^{-0,034.t}$	0,973

Os modelos matemáticos obtidos permitem estimar a temperatura da água após um determinado tempo (Tabela 10). Deste modo, foram estimadas as temperaturas da água nos reservatórios dos quatro protótipos em situação hipotética e crítica para o sistema, em que não há irradiação solar suficiente ao longo do dia, como em um dia nublado ou chuvoso e frio (protótipos #3 e #4, no inverno).

Tabela 10: Estimativas das temperaturas da água para cada protótipo após 24 h e 36 h sem irradiação solar.

Protótipo	Modelo exponencial	Após 24 h = 18h00		Após 36 h = 06h00	
		T (°C)	ΔT amb (°C)	T (°C)	ΔT amb (°C)
#1	$T = 43,470.e^{-0,013.t}$	31,8	12,9	27,2	8,3
#2	$T = 45,086.e^{-0,012.t}$	33,8	14,9	29,3	10,4
#3	$T = 39,631.e^{-0,043.t}$	14,1	1,6	=T _{amb}	0,00
#4	$T = 45,942.e^{-0,013.t}$	33,6	21,1	28,8	16,3

Embora as temperaturas finais dos protótipos #2 e #4 sejam muito próximas (Tabela 10), as diferenças em relação às respectivas temperaturas ambientes são bem distintas, isto se explica por que o protótipo #4 foi ensaiado no inverno, com temperatura ambiente inferior aos protótipos #1 e #2 ensaiados no verão.

Assim, a proteção térmica do protótipo #4, reservatório com isolamento no interior de outro reservatório, parece demonstrar melhor desempenho considerando que os ensaios foram realizados no inverno a uma temperatura ambiente cerca de 33% inferior. Estimou-se após 24 h e 36 h sem irradiância que o protótipo #4 (no inverno) manteria aproximadamente a mesma temperatura do protótipo #2 e cerca de 2 °C acima da temperatura do protótipo #1 (no verão), conforme Tabela 10. Assumindo-se a temperatura corporal de 36 °C, como referência para um banho confortável, os protótipos #2 e #4, estão próximos deste valor, mesmo após 24 h sem sol para aquecimento da água pelo sistema.

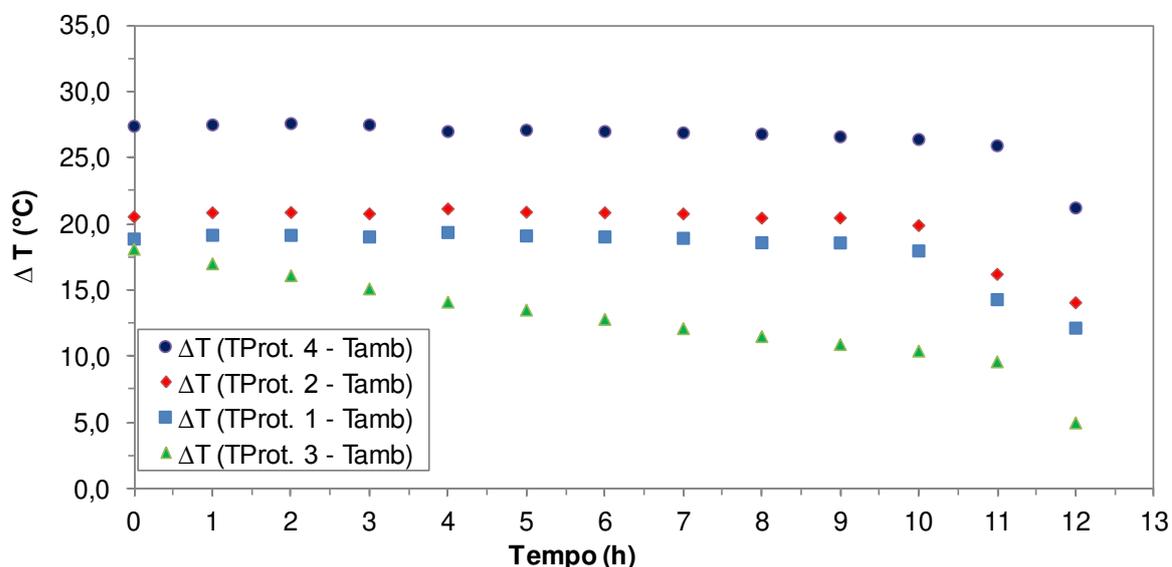
Se não houver irradiância solar após 36 h, é possível estimar uma temperatura da água próxima de 30 °C (Tabela 10), e eventualmente para um banho confortável usar o chuveiro elétrico na menor potência. Salienta-se que nessas estimativas a água armazenada nos reservatórios não deve ter refluxo para os coletores solares, Este fenômeno pode ser evitado aplicando-se ao sistema uma válvula de retenção ou de sentido único (DUFFIE & BECKMAN, 2013), ou melhor, prever um sifão de calor na saída do reservatório para a placa, evitando assim que as placas dos coletores solares atuem como radiadores, perdendo-se calor no período sem insolação. Importante destacar que os protótipos ensaiados não contam com qualquer tipo de válvula de retenção.

Os experimentos com os protótipos em diferentes condições climáticas foram normalizados em termos das diferenças de temperatura da água e da temperatura ambiente do ar ($\Delta T = T_{\text{água no protótipo}} - T_{\text{ambiente}}$) e apresentados nas Figuras 25 a 28.

Nas discussões dos resultados apresentados no gráfico da Figura 24 destacou-se o período entre 18 h e 06 h para as temperaturas da água no nível

superior do reservatório. Isto é, período crítico para o sistema após o pôr do sol; ainda que, após o horário das 16 h e antes das 08 h a irradiância solar não é significativa para aquecimento da água, devido à inclinação do sol no horizonte. Por sua vez, na Figura 25 a análise dos resultados é realizada no período entre 20 h e 08 h no cálculo das diferenças de temperatura (valores médios de várias semanas de medidas). Isto porque até as 08 h da manhã não há aquecimento significativo da água pelos coletores solares.

Figura 25: Diferenças de temperatura média da água na posição superior armazenada nos reservatórios e a temperatura ambiente para os 4 protótipos no período noturno (entre 20 h e 08 h).



Observa-se (Figura 25) um período de 10 a 11 horas um comportamento estável nas diferenças de temperaturas da água em relação ao ambiente (ΔT) nos três reservatórios dos protótipos isolados termicamente. Isto não é observado no protótipo de referência (sem isolamento), em que ΔT diminui ao longo do período de 12 horas. O ΔT diminui significativamente, para todos os protótipos, a partir das 07 h da manhã com o aumento a temperatura ambiente.

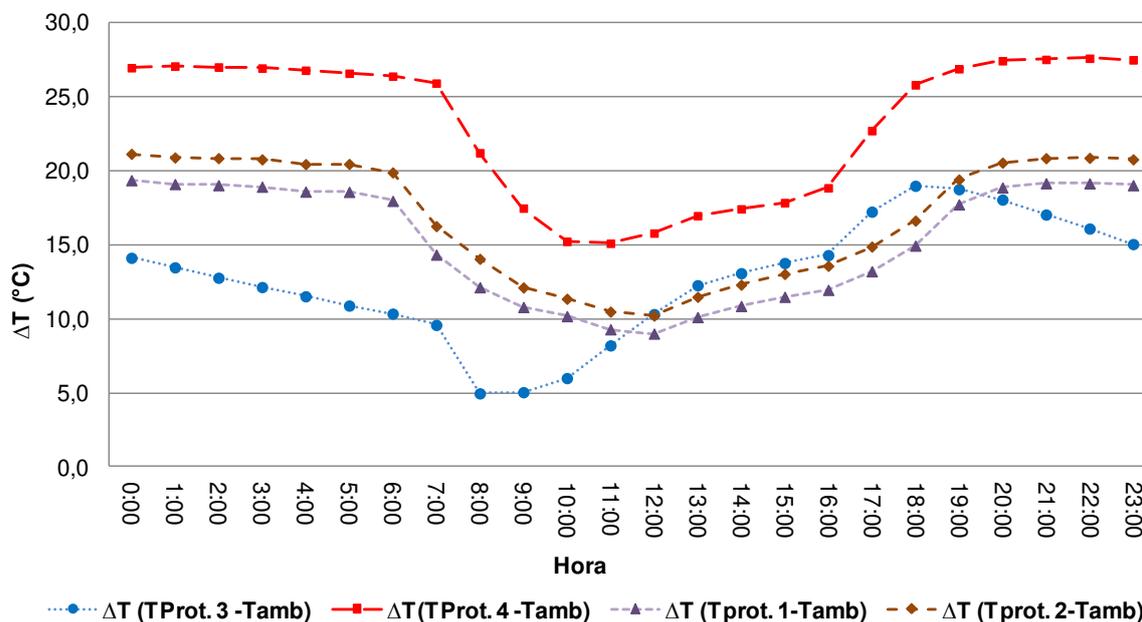
Observa-se no horário das 06 h (crítico pela perda de calor na madrugada), uma temperatura média da água acima da temperatura ambiente de: 10,4 °C; 18,0 °C; 19,9 °C e 26,4 °C, respectivamente sem isolamento térmico, com manta de 10 mm, de 15 mm e caixa com manta de 10 mm embutida em outra caixa.

Em relação ao sistema não isolado termicamente (protótipo #3), os sistemas com isolamento térmica dos reservatórios em estudo apresentaram melhor ΔT , sendo de 8 °C; 10 °C e 16 °C, protótipos #1, #2 e #4, respectivamente. Salienta-se que a condutividade térmica do polietileno (0,33 - 0,42 W/m.K), material das caixas-d'água, é uma ordem de grandeza superior à da manta térmica utilizada (0,037 W/m.K).

O melhor rendimento de isolamento térmica é obtido com o protótipo #4: reservatório ou caixa-d'água isolada, com manta de 10 mm, instalada dentro da outra caixa-d'água. Nessa configuração desejou-se manter um espaço entre as paredes das duas caixas d'água, esta camada de ar confinado deve favorecer o isolamento (condutividade térmica do ar $\approx 0,025$ W/m.K). Porém, possíveis correntes de convecção do ar tendem a reduzir o seu efeito de isolamento térmica, deste modo esse espaço foi relativamente reduzido com a camada (10 mm) da manta térmica, revestindo a caixa-d'água interna (100 ℓ).

O gráfico da Figura 26 apresenta padrões das variações dos valores médios de ΔT (semanas de coletas diárias), entre a água no nível superior do reservatório em relação à temperatura ambiente, para todos os protótipos ao longo de 24 horas. Observa-se que a ΔT do protótipo #3, sem isolamento térmica, teve seu menor valor de 5 °C às 08 h. Por sua vez os protótipos #1, #2 e #4, com isolamento térmica, apresentaram os menores valores de ΔT entre 09 °C e 15 °C. Verifica-se, ainda, às 11 h uma defasagem de 3 h nos padrões de variação térmica dos protótipos isolados em relação ao protótipo não-isolado, bem como um menor transiente térmico. Isto é, nesse horário a irradiância solar torna-se significativa para o aquecimento da água pelos coletores solares.

Figura 26: Padrões das “diferenças de temperatura da água na posição superior dos reservatórios em relação à temperatura ambiente” no período de 24 horas



O diagrama de box-plot (Figura 27) foi utilizado para analisar a variação horária dos dados de ΔT , ao longo do período de interesse de 24 horas, para todos os quatro protótipos. Verifica-se que as flutuações periódicas dos dados de ΔT entre os protótipos #1 e #2 não são estatisticamente significativas observadas as dispersões e medianas representadas pelos diagramas box-plot.

Deste modo, o uso de uma manta de espuma de borracha NBR com 10 mm de espessura para isolamento térmica do reservatório (protótipo #1) pode ser uma escolha econômica adequada quando comparada a uma manta de 15 mm de espessura (protótipo #2)

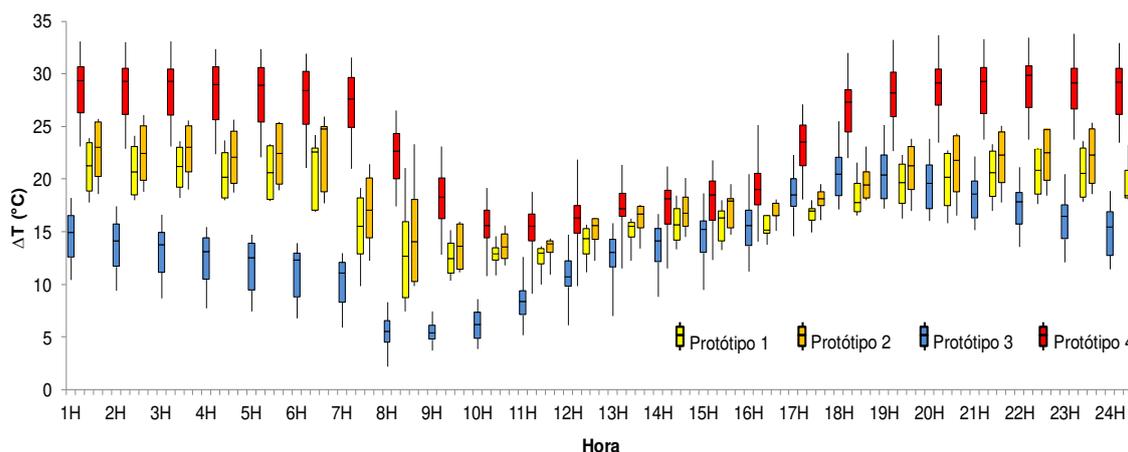
Por outro lado, o protótipo #4, apresenta significativo aumento no padrão de variação horária de ΔT em todo o período noturno. Isto é, as flutuações de ΔT indicadas pela mediana e pelos primeiro e terceiro quartis dos diagramas de box-plot apresentam-se cerca de 5 °C acima dos protótipos #1 e #2 (Figura 24), e 15 °C acima de um sistema não isolado termicamente.

Esta configuração do protótipo #4 é uma opção favorável para um sistema de isolamento térmica de custo relativamente muito baixo comparado aos

“boilers” ou reservatórios térmicos convencionais (conforme análise de custos apresentado na seção 5.1). Ainda que possa parecer inusitado adquirir duas caixas d’água de volumes distintos e usar, efetivamente, apenas a de menor volume para armazenar água quente.

No período diurno, os protótipos com isolações térmicas (#1, #2 e #4) não apresentam diferenças significativas nas flutuações de ΔT e seus valores são mínimos (Figura 27). Isto porque os coletores solares estão expostos ao período de máxima irradiância solar, com alta vazão de água quente para os reservatórios térmicos e aumento da temperatura ambiente nesse período.

Figura 27: Gráfico Box-Plot das diferenças de temperatura da água na posição superior dos reservatórios em relação à temperatura ambiente.



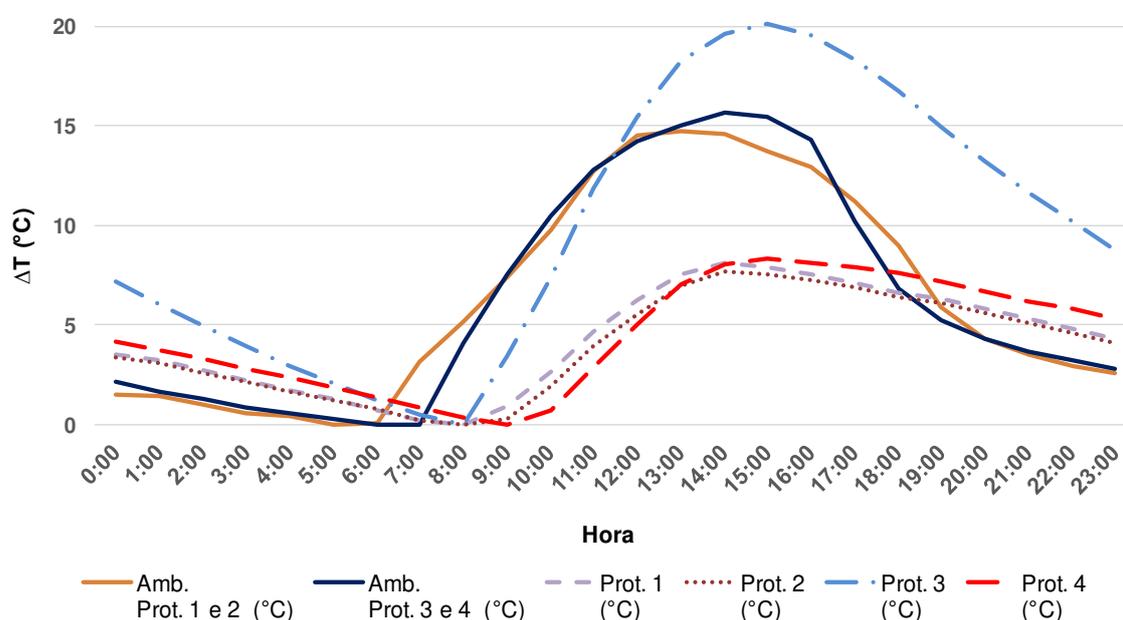
O gráfico da Figura 28 apresenta os padrões das variações senoidais diárias das diferenças da temperatura média da água em relação à temperatura mínima da água nos reservatórios (protótipos #1, #2, #3 e #4). Assim como, é apresentada a diferença entre a temperatura média do ambiente em cada horário em relação à temperatura mínima do dia (os valores são médios de várias semanas de medidas).

Observa-se a maior variação das diferenças de temperatura, ou amplitude térmica, no reservatório de água sem isolamento térmica (protótipo #3) de

aproximadamente 20 °C ao longo do dia, seguindo o mesmo padrão de amplitude da variação da temperatura ambiente.

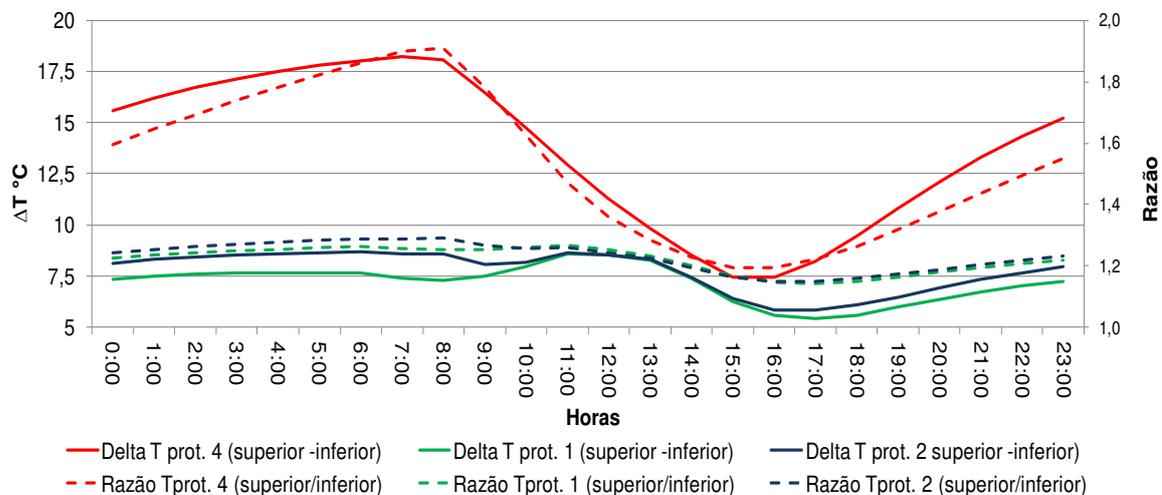
Os reservatórios com isolamento térmica (protótipos #1, #2 e #4), como esperado, apresentam menores amplitudes das curvas, aproximadamente 8 °C; isto é, menor variação nas diferenças de temperatura média da água a cada hora em relação à sua temperatura mínima.

Figura 28: Curvas para as amplitudes térmicas no período de 24 horas.



O fluxo da água aquecida pelas placas do coletor solar (CSBC) para o reservatório ocorre pelo fenômeno de termossifão; ou seja, devido à diferença de densidades entre a água fria e quente. Deste modo, é interessante conhecer a diferença de temperatura da água no interior do reservatório, ao longo do período de 24 h. Na Figura 29 são apresentadas as diferenças entre as temperaturas da água no nível superior e inferior do reservatório (ΔT) dos protótipos com isolamento térmica (#1, #2 e #4), em que a menor temperatura é medida no nível inferior. O protótipo #3 não está representado no gráfico, devido a falha no termopar da posição inferior.

Figura 29: Diferenças de temperatura da água em relação a maior e menor temperatura no interior de cada protótipo.



A Figura 29 apresenta também os valores encontrados para as razões entre as temperaturas superior e inferior dentro dos protótipos, Todos os protótipos mostraram a maior razão no horário das 08 h. A partir deste horário inicia-se a circulação efetiva da água e a diferença de temperatura diminui durante o dia, reduzindo-se também as respectivas razões.

Tomando-se por base a temperatura da água no nível inferior dos protótipos, às 08 h, a razão chega a ser quase duas vezes maior no protótipo #4 com uma diferença de 18 °C entre a temperatura na superfície e o fundo do reservatório neste experimento (realizado no inverno). Isto é, 19 °C foi a temperatura da água medida no nível inferior, apenas 2 °C acima do ambiente. Nesse horário, 37 °C era a temperatura da água no nível superior. Nos protótipos com manta de 10 mm e 15 mm, a temperatura ficou em torno de 1,3 vezes acima.

Considerando o reservatório de 100 ℓ do protótipo #4 e assumindo que o volume de água para o banho de um usuário é de cerca 50 ℓ tem-se a seguinte análise de consumo nas condições inverniais. Estimou-se de modo aproximado que a temperatura no nível intermediário do reservatório é de 28,6 °C às 08h. Valor obtido a partir da média entre as temperaturas no nível superior de 37,5 °C (Figura 23) e no inferior de 19,8 °C, inferida pelo ΔT de 16,5 °C (Figura 29). A água saindo para o primeiro consumo, sem considerar a água residual dentro da

tubulação, iria apresentar uma temperatura entre 28,6 °C e 37 °C. Um segundo usuário para o banho, iria ter o volume final da água desse reservatório disponível nas temperaturas entre 19,8 °C e 28,6 °C, necessitando do apoio do chuveiro elétrico para o conforto térmico.

Observa-se, portanto, uma diferença significativa no padrão da variação de ΔT (Figura 29) dos protótipos #1 e #2, experimentos realizados no verão, quando comparado ao protótipo #4, no inverno. Ainda que, as temperaturas da água, medidas no nível superior do protótipo #4 (Figura 22), tenham apresentado padrões de variação com valores bem próximos aos dos protótipos #1 e #2.

5.1 ANÁLISE DOS CUSTOS

Uma estimativa dos preços (Tabela 11) foi realizada para os materiais empregados na construção dos sistemas de baixo custo para aquecimento de água por energia solar, constituídos dos coletores CSBC e as quatro opções de protótipos de reservatórios estudadas.

Nessa análise, aumentou-se o volume útil dos reservatórios para 250 ℓ e optou-se por duas placas de coletores solares CSBC (total 1,5 m²). Esta escala maior, em todos os componentes, possibilita comparações com os sistemas convencionais de 200 a 250 ℓ (coletores e reservatórios térmicos), mais comuns no comércio.

A isolamento térmica do reservatório de água com a manta de espuma de menor espessura (10 mm) aumenta os custos em R\$ 182,68 (cerca de 30 %), em relação a um reservatório sem isolamento; ou em R\$ 77,78 (13%) se for usada cinta plástica para fixar a manta em vez de adesivo específico (ambos foram avaliados satisfatoriamente). O custo-benefício é favorável ao uso de uma manta de 10 mm, protótipo #1 (R\$ 777,49) em relação à manta de 15 mm, protótipo #2 (R\$ 844,34), considerando-se os resultados experimentais no período noturno ($\Delta T \approx 2$ °C entre os dois tipos de mantas).

Um investimento adicional de R\$ 236,62 no protótipo #4 (custo da segunda caixa-d'água de 310 ℓ), em relação ao protótipo #1, pode ser aceitável considerando o melhor desempenho nos estudos de isolamento térmica dos reservatórios.

Por outro lado, R\$ 2.600 é o preço médio para um sistema de aquecimento solar (2 placas, 200 ℓ, tipo termossifão), comercializado por quatro fabricantes, construídos em cobre e/ou alumínio, vidro e reservatórios isolados. Comparado com os sistemas convencionais, os sistemas de baixo custo estudados custam apenas 40% na opção do protótipo #4 e pouco mais de 20% para o protótipo #1, para um volume de 250 ℓ de água aquecida.

Tabela 11: Custos estimados para construção dos sistemas de aquecimento de água (reservatórios e coletores CSBC) coletados na cidade de Taubaté e região em dezembro de 2019

Valor total por modelo							
Protótipo	Modelo	Custo total (R\$)	Custo total (US\$)	ΔCusto com ref. (R\$)	% em relação à referência	ΔT* (°C)	ΔCusto / ΔT (R\$ / °C)
#3	Referência (sem proteção)	594,81	108,54			5,00	
#1	Com manta de 10mm	777,49	141,88	182,68	30,71	12,10	25,73
#2	Com manta de 15mm	844,34	154,08	249,53	41,95	14,10	27,42
#4	Com manta de 10mm e cx dentro da cx	1.014,11	185,06	419,30	70,49	21,20	25,88

Para a Tabela 11, foram consideradas as seguintes premissas:

- 1,5 m² de manta por caixa de 250 ℓ;
- Manta de 10 mm: vendida em rolos de 20 m linear x 1 m de largura;
- Manta de 15 mm: vendida em rolos de 12 m linear x 1 m de largura;
- Taxa de conversão Real x Dólar: 5,48 (17/09/20);
- Reservatório: 250 ℓ e 310 ℓ (para caixa dentro de caixa);
- Considerado 2 placas por protótipo;
- ΔT se refere a diferença entre a Temperatura da água quente e o ambiente às 08 h.

A relação da diferença de custo (ΔCusto) pela diferença de temperatura (ΔT) atingida às 08 h da manhã permite uma comparação direta entre o investimento aplicado em cada protótipo e o ganho de temperatura que ele proporciona no horário com a temperatura da água mais baixa ao longo do dia. Observa-se na Tabela 11 que os protótipos #1 e #4 apresentam valores em torno de R\$ 26,00 para cada °C adicionado à água às 08 h. Valores aparentemente altos, porém que são facilmente recuperados quando lembramos que para cada grau a mais na temperatura da água, menor será o uso do chuveiro elétrico. Importante reforçar também que apesar da coincidência de valores, o protótipo #4, apresenta a melhor retenção do calor, visto que apresentou o mesmo $\Delta\text{Custo} / \Delta T$, apesar de ter sido avaliado em condições ambientais menos favoráveis ao aquecimento.

5.2 ANÁLISE RETORNO DE INVESTIMENTO

Muitos fatores afetam a análise do retorno do investimento, alguns de forma mais direta, como quantidade de moradores da residência e uso por dia e outros fatores em que o usuário não pode influenciar como a temperatura ambiente e a temperatura da água do banho do usuário que é pessoal e pode variar muito dentro de uma mesma casa.

De forma genérica, o cálculo do tempo de amortização (ou “*pay-back*”) simples para o investimento poderá ser feito conforme a equação abaixo (CAPITAL NOW, 2021)

$$\text{Tempo de amortização} = \frac{\text{Custo do modelo escolhido}}{a*b*c*d*e*f} \quad (5.1)$$

A Tabela 12 mostra os fatores definidos como exemplo para análise de amortização de investimento apresentado no gráfico da Figura 30.

Tabela 12: Exemplo de valores para cálculo do tempo de amortização

Exemplo de Cálculo de Amortização			
Variável	Fator	Unidade	Valor
a	Moradores por residência*		3,38
b	Banhos por pessoa		1,2
c	Tempo de banho (em horas)	h	0,1
d	Potência do chuveiro**	kW	5,5
e	Fator de custo ***	R\$/kWh	0,68089286
f	Dias no mês		30

Fonte: * Censo Demográfico de 2010 IBGE, ** Potência de um chuveiro elétrico simples comumente utilizado no mercado, *** fonte: EDP Bandeirante

No exemplo mostrado, para uma média de 3,38 moradores por residência (média excetuando-se apartamentos), o tempo de amortização simples para os protótipos #3, #1, #2 e #4 seria de 12, 15, 16 e 19 meses respectivamente. Para este tipo de amortização simples (“*payback*”), o modelo convencional, precisou de 49 meses para se pagar.

O cálculo de amortização simples (ou “*payback*” simples), apesar da facilidade do cálculo e de oferecer uma boa referência, não é o mais preciso, pois não leva em conta a desvalorização da moeda durante o período de pagamento. Neste caso, a melhor opção a se considerar é utilizar o cálculo de amortização por “*payback*” descontado. Esse método leva em conta a taxa de juros no período. Para este caso, o tempo para retorno do investimento para os protótipos #3, #1, #2, #4 e convencional seria de 12, 15, 16, 20 e 50 meses respectivamente.

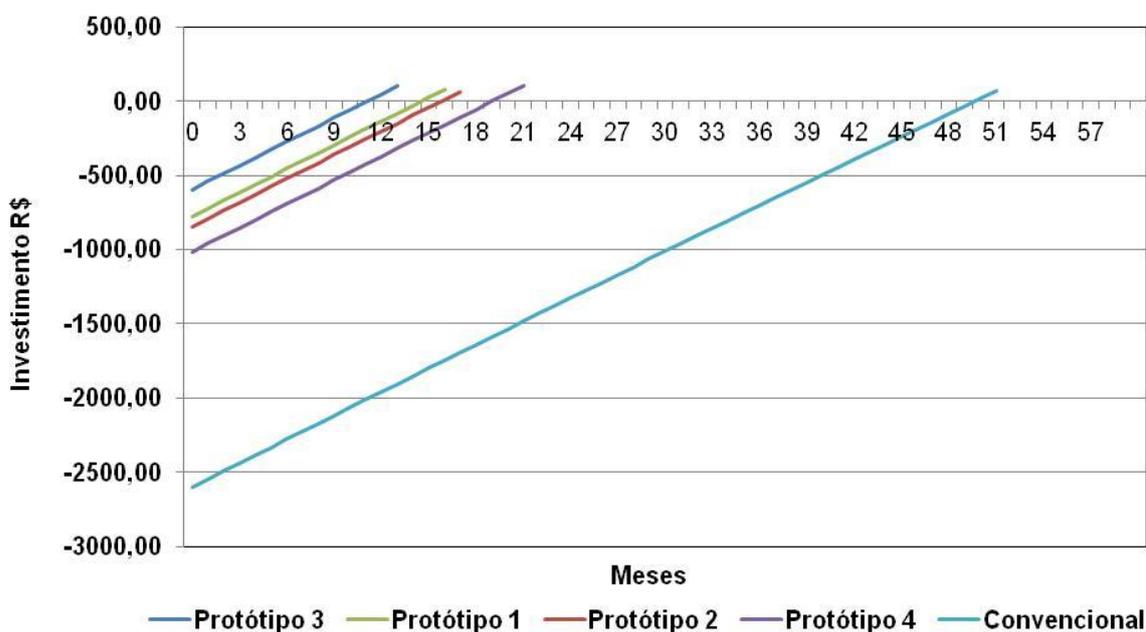
Ainda que o tempo de amortização seja maior, o sistema de caixa dentro da caixa torna-se mais atrativo financeiramente quanto maior for o uso. Isto é, quanto maior o número de pessoas na família ou quanto maior a quantidade de

banhos, menor será a necessidade de uso do chuveiro elétrico e conseqüentemente, mais rápido o retorno do investimento.

A maior temperatura da água atingida pela manhã graças aos reservatórios protegidos faz com que aumente a necessidade de se misturar a água quente com a água fria. Conseqüentemente economizando água quente, permitindo o uso por mais pessoas o que também diminui o tempo de amortização.

Apesar dos fatores citados acima e baseado nos dados da Tabela 12, o gráfico da Figura 30 foi plotado para um período de 2 anos a título de comparação, considerando a amortização do investimento com “payback” descontado para mostrar os tempos para que cada um dos protótipos #1, #2, #3 e #4 se pague.

Figura 30: Exemplo de tempo de amortização para os protótipos, considerando as variáveis citadas na Tabela 12



Por outro lado, a análise da influência do chuveiro elétrico no consumo mensal médio de energia elétrica por classes sociais (Tabela 13) demonstra o seu alto percentual de impacto (71,3%) nas classes sociais mais baixas D e E (cerca de 30% da população brasileira de acordo com o IBGE).

Tabela 13: Influência de chuveiro elétrico em uma conta de energia por classe econômica social

Classe Econômica Social						
	A	B1	B2	C1	C2	D/E
Consumo Mensal médio (kWh)	324,37	297,77	231,83	188,45	155,21	111,07
Percentual de impacto* (%)	24,4	26,6	34,2	42,0	51,0	71,3

* Percentual de impacto = consumo mensal médio por classe econômica / consumo mensal médio simulado x 100% (Tabela 5).

Fonte: Pesquisa de Posse e Hábito de uso – Eletrobras 2019. Adaptada pelo autor

Sabe-se que não é possível se instalar um coletor solar em todas as casas, por vários fatores como espaço, direcionamento do telhado, presença de sombra, entre vários outros fatores, mas apenas para que se tenha uma ideia do montante de energia envolvido e da economia gerada com o uso de um CSBC, em um caso hipotético em que todas as 51.082.264 de habitações (sem considerar prédios) tenham aplicado o sistema de aquecimento solar de água para banho, seguindo-se o mesmo raciocínio do parágrafo anterior, obtém-se um impacto de cerca de 114 GW por dia de economia para o país

6 CONCLUSÕES

Uma menor amplitude térmica (em torno de 8 °C) foi observada nas diferenças de temperatura da água aquecida e a temperatura ambiente (ar) nos protótipos isolados termicamente, o que permite afirmar que há disponibilidade de água aquecida em qualquer hora do dia.

Às 06 h da manhã, a temperatura média da água no ponto onde estaria a captação para o uso foi de 10,4 °C, 20,7 °C, 22,5 °C e 26,4 °C acima da temperatura média do ambiente para os protótipos de reservatórios: de referência, com manta de 10 mm, manta de 15 mm e caixa com manta de 10 mm dentro de outra caixa, respectivamente.

No caso hipotético de 24 h seguidas sem irradiância solar suficiente para aquecer a água, ainda é possível dispor água aquecida em torno de 33 °C e no caso de 36 h sem aquecimento tem-se água a 29 °C, resultados interessantes para um sistema de baixo-custo (considerando-se que não houve consumo).

As diferenças de temperatura ΔT entre a água quente no nível superior do reservatório e a temperatura ambiente (ar) não foram significativas para os protótipos isolados com mantas térmicas de 10 mm e 15 mm. Indicando, assim, um custo-benefício melhor para uso da manta de 10 mm quando comparadas estas duas opções.

Na configuração caixa-dentro-caixa, os ΔT foram significativos no período noturno, cerca de 5 °C acima da água armazenada nos protótipos isolados apenas com mantas térmicas e às 06 h da manhã foram medidas temperaturas da água até 16 °C acima da medida em reservatório sem isolamento térmica. Um $\Delta T = 22$ °C acima da temperatura ambiente, dispondo água aquecida para banhos matinais.

Esta configuração, ainda que de maior custo, é uma opção favorável quanto ao custo-benefício custando apenas 40% do preço dos sistemas convencionais (200 €), possibilita uma amortização completa em menos de 2 anos.

Para o sistema com manta térmica de 10 mm, o investimento fica até um terço do valor do sistema convencional.

Os resultados obtidos nas medições de temperatura, associados aos custos citados acima, comprovam viabilidade técnico-econômica destes simples sistemas térmicos para armazenamento de água quente combinados com coletores solares de baixo custo (CSBC).

Conclui-se, portanto, que todas as questões técnicas, comerciais e econômicas na construção e desenvolvimento de um sistema para se conservar o calor da água durante os períodos sem exposição à radiação solar tiveram resultado positivo, em todos os protótipos estudados. Ficando a cargo do usuário a escolha que melhor atender às suas necessidades de uso e disponibilidade de investimento.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

PROPOSTA 7.1 ANÁLISE DE RISCO DA BACTÉRIA LEGIONELLA NOS RESERVATÓRIOS TÉRMICOS DE BAIXO-CUSTO

A infecção com a bactéria Legionella é uma importante causa de pneumonia, também conhecida como doença dos Legionários, devido a um surto de pneumonia envolvendo participantes de uma convenção da Legião Americana, na Philadelphia, em 1976 (WARMERDAN & LEUN, 1998; RÍSPOLI, 2001). Esta bactéria é encontrada em organismos aquáticos, necessariamente aeróbicos, podendo sobreviver em diversas condições ambientais, lagos, rios, solos úmidos; sendo a temperatura o fator crítico determinante para a proliferação da bactéria. A doença do Legionário é adquirida através da inalação e/ou aspiração de aerossóis que se formam em fontes de água contaminada, como em: banheiras de hidromassagem, chuveiros convencionais, torres e dutos de ar condicionado.

Sabe-se que nos reservatórios ou tanques de água quente há riscos de contaminação da água pela bactéria Legionella pneumophila (YANG et al., 2016). Portanto, é necessário que seja realizado um estudo para análise do risco de crescimento da bactéria Legionella na água quente armazenada nos reservatórios termoplásticos de PEMD já que a colonização desta bactéria é favorecida entre 25° e 50°C, principalmente em reservatórios verticais e com mais de 5 anos de uso (LIN et al, 1998). Mesmo não tendo sido encontradas evidências de aumento da colonização em água a apenas 3 °C menor (47 °C versus 50 °C), (MATHYS et al., 2008). De qualquer forma, é preciso entender para poder prevenir e proteger a todos os envolvidos (CASINI et al.; 2018).

PROPOSTA 7.2 EFEITO DA PROTEÇÃO TÉRMICA NA TAMPA DO RESERVATÓRIO

Neste trabalho optou-se por não utilizar proteção na tampa do reservatório, devido à distância entre a tampa e a superfície da água e ao

confinamento do ar na região, foi considerada pouco efetiva na temperatura da água em relação ao custo da manta.

Entretanto, Ríspoli (2008) realizou experimentos utilizando esferas de poliestireno expandido na superfície da água em reservatório de baixo custo com resultados bem significativos na temperatura da água. Embora a proteção na superfície da água seja significativa e uma boa opção para uso industrial, o uso de proteção térmica com poliestireno em água para uso humano não é recomendado devido à possível presença de micro partículas de poliestireno desprendidas na água. Mesmo sendo para uso industrial, entende-se também importante, avaliar a formação de micro-organismos na superfície das esferas de poliestireno (ou qualquer outro material que se proponha) por estarem expostos a um ambiente propício a formação de micro-organismos devido à temperatura e umidade (ver proposta 7.1).

A proposta é utilizar os protótipos desenvolvidos neste estudo, porém com proteção térmica também na tampa do reservatório e/ou na superfície da água. Confirmando a relevância desta proteção térmica demonstrada por Ríspoli e comparando com os resultados térmicos e financeiros deste trabalho.

PROPOSTA 7.3 CONJUNTO MONTADO COM RESERVATÓRIO DENTRO DE OUTRO SEM MANTA TÉRMICA.

Como visto neste trabalho, o melhor resultado de proteção térmica foi encontrado no protótipo do reservatório isolado com manta de 10 mm e inserido dentro de outro reservatório. O objetivo era produzir neste protótipo efeitos de isolamento térmica devido à alta resistividade térmica do ar confinado entre as paredes dos reservatórios, minimizando a perda de calor por convecção e condução. A proposta alternativa é realizar esta experiência de duplo reservatório, mas sem a manta térmica isolando o reservatório interno.

Produzindo-se uma boa vedação nas coberturas dos reservatórios (tampas) espera-se que a maior camada de ar entre as paredes permita um

isolamento térmico adequado, mesmo prescindindo da manta térmica, uma vez que a condutividade térmica do ar é menor (0,023 W/mK) do que a da manta (0,037 W/mK). Deste modo, a opção de isolamento térmico sem a manta permitiria reduzir os custos, se os resultados forem ao menos similares aos obtidos no presente estudo.

PROPOSTA 7.4 CSBC E RESERVATÓRIOS TÉRMICOS COM MATERIAIS DE CLASSE TÉRMICA SUPERIOR.

Materiais poliméricos de classe térmica superior aos materiais utilizados podem ser investigados para sistemas de aquecimento de água até 70°C, em geral essa é a temperatura máxima nos coletores solares convencionais com tubos de cobre e cobertura de vidro.

A proposta é realizar um estudo da viabilidade técnica-econômica na construção de coletores solares com cobertura transparente (efeito estufa) utilizando apenas materiais termoplásticos com temperatura de serviço contínuo de pelo menos 90°C. O menor peso destes sistemas comparado aos coletores solares convencionais possibilitaria reduzir custos de transporte e de instalação, painéis modulares de polipropileno (PP), com perfil de canaletas internas como os forros de PVC, podem ser empregados nas placas coletoras solares, chapas transparentes de Polimetacrilato de Metila (PMMA) na cobertura dos coletores, tubos e conexões de PP, reservatórios rotomoldados de PP e manta térmica de borracha de Etileno-Propileno-Dieno (EPDM).

A empresa Armacell fabricante do produto Armaduct estudado neste trabalho, oferece alternativas com uma classe térmica superior, como a manta HT/Armaflex® ou o UT SolarFlex®, este último desenvolvido especialmente para proteção térmica em aplicações solares.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, S. L. (2008). Introdução ao Aquecimento Solar. *II Fórum Pró-Sustentabilidade*. São José.
- ALENCAR, F. d., & SAGLIETTI, J. R. (1999). Análise de Viabilidade de uma Telha Coletora de Energia Solar de Cimento Amianto. *Revista Energia na Agricultura*, 14, 37-47.
- ANGELOCCI, L. R., & VILLA NOVA, N. A. (1995). Variações de Temperatura de um Pequeno Lago Artificial ao Longo de um Ano em Piracicaba.
- ARMACELL. (s.d.). *www.armacell.com*. Acesso em 08/11/2020 de novembro de 2020, disponível em <http://armwin.armacell.com/>
- ASHBY, M., & GRANTA, D. (2011). CES EduPack 2011. Cambridge, Cambridgeshire, Inglaterra.
- BAILEY, W. J. (2 de Aug de 1910). *Patente Nº 966,070*. USA / California.
- BARTOLI, J. R., CHIRINOS, H. D., ANDRADE, A. M., & WOELTZ, A. (2001). Desenvolvimento de Aquecedor Solar de Água Utilizando Materiais Termoplásticos. *Anais do 6º Congresso Brasileiro de Polímeros / IX International Macromolecular Colloquium*, (p. 4). Gramado, RS.
- BARTOLI, J. R., CHIRINOS, H. D., ANDRADE, A. M., & WOELZ, A. (2004). Development of Low Cost Solar Water Heater Using Thermoplastic Materials. *Renewable Resources And Renewable Energy A Global Challenge - ICS-UNIDO International Conference*, (p. 2). Trieste, Italy.
- BARTOLI, J. R., PRADO, B. R., & PEREIRA, R. C. (2011). Study of Natural Aging of PVC Flat-plate Absorber Used for Low Cost Solar Collectors. *European Polymer Congress - XII GEP Congress*, (pp. T4-362). Granada, Spain.
- BELINAZO, M. L., & BELINAZO, H. J. (janeiro / junho de 2004). Parâmetros do Aquecimento de Água em Chuveiros: Conforto e Energia. *VIDYA*, 175.
- BENTIVENHA, L. C. (2005). *Determinação da Eficiência de um Coletor Solar Plano com Aletas de Vidro*. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho", Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu.
- BEZERRA, A. M. (1990). *Aplicações Práticas da Energia Solar*. São Paulo, São Paulo, Brasil: Nobel.

- CAPITALNOW. (2021). *Capital now por onze*. Acesso em 06 de março de 2021, disponível em Site da Capital now: <https://www.capitalresearch.com.br/blog/investimentos/payback-simples/>
- CARDOSO, Â. (07 de Abril de 2009). Novo Paradigma de Consumo de Eletricidade. *Gazeta Mercantil*, p. 2.
- CASINI, L., MARINELLI, L., SERNIA, S., RAPITI, E., & PERCIAVALLE, R. F. (apr de 2018). Legionellosi Cos'è e como difendeersi. *Materiali e documenti*.
- COELHO, D. M. (2011). *Identificação de Variáveis Críticas e Simulação do Uso de coletores Solares em Prédios Residenciais*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós Graduação, Rio de Janeiro.
- COHEN, C. A. (2002). *Padrões de Consumo: Desenvolvimento, Meio-Ambiente e Energia no Brasil*. Tese de Doutorado, UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, RJ.
- COIMBRA, N., AZAMBUJA, C., DALMAS, T., & COELHO, L. (2008). *Eficiência Térmica de Coletor Solar de Baixo Custo*. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Engenharia Mecânica, Porto Alegre.
- COLLE, S., ABREU, S. L., SALAZAR, J. P., & REGUSE, W. (2004). Impacto da Energia Solar Sobre o Pico de Demanda de Energia de Chuveiros Elétricos de Famílias de Baixa Renda no Brasil. *XII Congreso Ibérico y VII Congreso Íbero Americano de Energia Solar*. Vigo.
- COPEL. (15 de 04 de 2008). *Copel Pura Energia*. Acesso em 25 de 02 de 2021, disponível em Copel: <https://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2F0%2F7507b0aba2e082ff0325740f00649745>
- COSTA, E. R. (2002). *Limitações no Uso de Coletores Solares Sem Cobertura para Sistemas Domésticos de Aquecimento de Água*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Engenharia Mecânica, Porto Alegre, RS.
- DADALTO, E. A. (2008). *Utilização da Energia Solar para Aquecimento de Água pela População de Baixa Renda Domiciliar em Habitações Populares*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Engenharia de Materiais e Construção, Vitória.

- DILAY, E. (2008). *Modelagem, Simulação e Otimização de uma Unidade de Aquecimento de Água e Refrigeração por Absorção de Alimentação Híbrida a Coletor Solar e Gás Combustível*. Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- DUFFIE, J. A., & BECKMAN, W. A. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes* (4 ed.). Hoboken, New Jersey, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- EPE - Empresa de Pesquisa Energética / MME - Ministério de Minas e Energia. (2018). *Anuário Estatístico de Energia Elétrica*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- EPE - Empresa de Pesquisa Energética / MME - Ministério de Minas e Energia. (2020). *Anuário Estatístico de Energia Elétrica*. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.
- EPE - Empresa de Pesquisa Energética. (s.d.). *EPE - Empresa de Pesquisa Energética*. Acesso em 08 de março de 2021, disponível em BEN Balanço Energético Nacional: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-145/topico-515/Cap%C3%ADtulo%207%20\(Energia%20e%20Socioeconomia\)%201970-2019.xls](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-145/topico-515/Cap%C3%ADtulo%207%20(Energia%20e%20Socioeconomia)%201970-2019.xls)
- EPE. (s.d.). *EPE - Empresa de Pesquisa Energética*. Acesso em 08 de mar de 2021, disponível em www.epe.gov.br: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-145/topico-515/Cap%C3%ADtulo%207%20\(Energia%20e%20Socioeconomia\)%201970-2019.xls](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-145/topico-515/Cap%C3%ADtulo%207%20(Energia%20e%20Socioeconomia)%201970-2019.xls)
- EPE. (s.d.). *EPE - Empresa de Pesquisa Energética*. Acesso em 25 de 02 de 2021, disponível em [epe.gov.br](http://www.epe.gov.br): www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/fontes-de-energia
- FANTINELLI, J. T. (2002). *Tecnologia Solar de Interesse Social e Baixo Custo Para Aquecimento de Água na Moradia*. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas - Unicamp, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas.
- FANTINELLI, J. T. (2006). *Análise da Evolução de Ações na Difusão do Aquecimento Solar de Água Para Habitações Populares. Estudo de Caso em Contagem - MG*. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas - Unicamp, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas.

- GIMENES, A., SAIDEL, M. A., UDAETA, M. E., & GALVÃO, L. C. (jan de 2007). Energia da Biomassa Através da Gaseificação Visando o Atendimento a Comunidades Isoladas. *ResearchGate*, p. 15.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2010). *Censo demográfico : 2010 : características da população e dos domicílios : resultados do universo*. (IBGE, Ed.) Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil: IBGE.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (s.d.). *Sidra - Sistema IBGE de Recuperação Automática*. Acesso em 08 de março de 2021, disponível em Tabela 6784 - Produto Interno Bruto, Produto Interno Bruto per capita, População residente e Deflator: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6784#resultado>
- IBGE. (16 de dez de 2020). *IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*. Acesso em 08 de mar de 2021, disponível em [ibge.gov.br: https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6784#resultado](https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6784#resultado)
- IBGE. (s.d.). *IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*. (IBGE) Acesso em 01 de Fevereiro de 2021, disponível em Site do IBGE: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6784#resultado>
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, CCST - Centro de Ciência do Sistema Terrestre, LABREN - Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia. (2017). *Atlas Brasileiro de Energia Solar*. São José dos Campos, São Paulo, Brasil.
- ISMANHOTO, W. A. (2004). *Análise Comparativa da Viabilidade Econômica da Utilização de Coletores Solar Para Aquecimento de Água*. Dissertação de Mestrado, UNESP - Campus de Botucatu, Faculdade de Ciências Agrônômica, Botucatu.
- JARDIM, C. d. (2007). *A Inserção da Geração Solar Fotovoltaica em Alimentadores Urbanos Enfocando a Redução do Pico de Demanda Diurno*. Dissertação de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Engenharia Civil, Florianópolis.
- LAFAY, J.-M. S. (2005). *Análise Energética de Sistemas de Aquecimento de Água com Energi Solar e Gás*. Dissertação de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Engenharia Mecânica, Porto Alegre, RS.
- LIMA, J. B. (2003). *Otimização de Sistema de Aquecimento Solar de Água em Edificações Residenciais Unifamiliares Utilizando o Programa TRNSYS*.

- Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Engenharia Civil, São Paulo.
- LIN, Y. S., STOUT, J. E., YU, V. L., & VIDIC, R. D. (1998). Disinfection of water distribution systems for Legionella.
- LOURENÇO Jr, I. (2000). *Estudo de um sistema de Aquecimento de Água Híbrido Gás-solar*. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Engenharia Mecânica, Porto Alegre, RS.
- MACHADO, C. T., & MIRANDA, F. S. (14 de Outubro de 2014). Energia Solar Fotovoltaica: Uma Breve Revisão. *Revista Virtual de Química*, 7, 18.
- MATHYS, W., STANKE, J., HARMUTH, M., & JUNGE-MATHYS, E. (2008). Occurrence of Legionella in hot water systems of single-family residences in suburbs of two German cities with special reference to solar and district heating,.
- MEC / MMA - Governo Federal. (2005). *Consumo Sustentável - Manual de Educação*. Brasília, DF, Brasil.
- MENDES, A. C., & VIEIRA, L. G. (s.d.). *Comparação de Desempenho Entre um Aquecedor Solar de Baixo Custo (ASBC) e seu Similar convencional*. Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Química, Uberlândia, MG.
- MORRISON, G. L. (2001). *Solar Energy - The State of the Art - Ises Position Papers*. London, UK: James & James.
- NASPOLINI, H. F., & RÜTHER, R. (2 de Dezembro de 2011). Redução da Demanda no Horário de Ponta Proporcionada Pelo Preaquecimento Solar da Água Para o Banho. *Revista Brasileira de Energia Solar*, II(2), 138-148.
- NASPOLINI, H. F., MILITÃO, H. S., CORDINI, J., & RÜTHER, R. (2 de Setembro de 2010). Avaliação do Potencial da Agregação da Energia Solar Térmica Para Fins de Aquecimento de Água Para o Banho Humano em Núcleos Habitacionais de Baixa Renda. *Revista Brasileira de energia Solar*, 1, 100 - 107.
- NETO, B. d., SCARMINIO, I. S., & BRUNS, R. E. (2003). *Como Fazer Experimentos*. Campinas, São Paulo, Brasil: Unicamp.
- OLIVEIRA Jr., D. P., CARVALHO, P. S., TERASSOVICH, R. L., & AFONSO, R. M. (1986). *Transmissão de Calor Básica*. Brasil.

- OLIVEIRA, N. M., DAMASCENO, J. J., & VIEIRA, L. G. (s.d.). *APRIMORAMENTO DE AQUECEDORES SOLARES DE BAIXO CUSTO*. Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Química, Uberlândia, MG.
- OLIVESKI, R. d. (2000). *Análise Numérica e Experimental dos Campos de Temperatura e Velocidade em Armazenadores Térmicos*. Tese de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Engenharia Mecânica, Porto Alegre.
- PASSOS, L. A. (2011). *Cenário de Impactos da Energia Solar para Aquecimento de água Doméstico no Contexto de Usuários de Chuveiros Elétricos no Brasil*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Engenharia Mecânica, Florianópolis.
- PEREIRA, R. C., BARTOLI, J. R., & MELLO, S. F. (2008). *Manual para Construção "Sole Mio!" Coletor Solar de Baixo Custo*. Campinas, São Paulo, Brasil: Ed. do Autor.
- PEREIRA, R. C., NETZEL, M. A., ASSIS Jr., V., VIZINTIM, J. S., CAMPOS, J. S., & BARTOLI, J. R. (2005). Construção e Teste de Coletores Solares de Baixo Custo a base de PVC. *Anais do 8º Congresso Brasileiro de Polímeros*. Águas de Lindóia, SP.
- PEREIRA, R. C., NETZEL, M. A., ASSIS Jr., V., VIZINTIM, J. S., CAMPOS, J. S., & BARTOLI, J. R. (2005). Construção e Teste de coletores Solares de Baixo Custo a base de PVC. *Anais do 8º Congresso Brasileiro de Polímeros*. Águas de Lindóia.
- PEREIRA, R. C., SHIOTA, R. T., MELLO, S. F., ASSIS JR., V., & BARTOLI, J. R. (2006). Eficiência Térmica de Coletores Solares de Baixo Custo - CSBC. *17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais*, (p. 11). Foz do Iguaçu, PR.
- Portal Solar. (s.d.). *portalsolar.com.br*. Acesso em 25 de Fevereiro de 2021, disponível em portalsolar: www.portalsolar.com.br/fontes-de-energia-conheca-origem-da-energia
- PRADO, B. R. (2010). *Características físico-químicas e propriedades mecânicas dos materiais a base de PVC dos Coletores Solares de Baixo Custo (CSBC) até 4 anos de uso*. Unicamp, Faculdade de Engenharia Química, Campinas, SP.

- PRADO, B. R., & BARTOLI, J. R. (2010). *Características Físico-Químicas e Propriedades Mecânicas dos Materiais a base de PVC dos Coletores Solares de Baixo Custo (CSBC) até 4 anos de uso*. Relatório de Iniciação Científica, Unicamp, Faculdade de Engenharia Química, Campinas.
- PRADO, R. T., ARRUDA, L. B., BARROS FILHO, A. M., TABORIANSKI, V. M., KAWAKITA, C. Y., & ARANTES, L. O. (2007). Levantamento do Estado da Arte: Energia Solar. In: F. 2386/04, *Tecnologias para Construção Habitacional mais Sustentável* (pp. 18-19). São Paulo, SP, Brasil.
- PROCEL / ELETROBRAS. (2007). *Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Gráfica da Eletrobrás - DAAG.
- PROCEL / ELETROBRAS. (2012). *Energia Solar para Aquecimento de Água no Brasil*. (J. SANTOS, Ed.) Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.
- PROCEL / ELETROBRAS. (2019). *Pesquisa de Posse e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos na Classe Residencial*.
- RIBEIRO, M. F. (2010). *Inclusão Social dos Usuários de Baixa Renda por Meio do Sistema de Aquecimento Solar*. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas.
- RINNAI Brasil Tecnologia de Aquecimento Ltda. (s.d.). RINNAI SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR (SAS). *Manual de Instruções (Instalação e Utilização)*, 27. Mogi das Cruzes, São Paulo, Brasil.
- RÍSPOLI, Í. A. (2001). *Estudo do Aproveitamento da Energia Solar para Aquecimento de Água em Edificações Unifamiliares de Baixa Renda*. Dissertação de Mestrado, Unicamp - Universidade Estadual de Campinas, Engenharia Civil, Campinas.
- RÍSPOLI, I. A. (2008). *O Aquecedor Solar Brasileiro - Teoria e Prática em Prol de uma Transferência de Tecnologia Sustentável*. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas - Unicamp, Faculdade de Engenharia Civil, Campinas, SP.
- RODOLFO Jr., A., NUNES, L. R., & ORMANJI, W. (2006). *Tecnologia do PVC* (2ª edição ed.). São Paulo, São Paulo, Brasil.
- RODRIGUES, D. (Ago de 2010). *Introdução ao Sistema de Aquecimento Solar*. Acesso em 02 de jan de 2021, disponível em edisciplinas.usp.br:

https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/60551/mod_resource/content/1/Apostila_Aquecimento_Solar.pdf

- RODRIGUES, D., & MATAJS, R. (2005). *Um Banho de Sol para o Brasil - O que os aquecedores solares*. São Lourenço da Serra, SP, Brasil: Vitae Civilis.
- SABADY, P. R. (1979). *A Energia Solar na Habitação* (06 ed.). (T. L. CASTRO, Ed., & D. MENDONÇA, Trad.) Lisboa, Portugal.
- SALAZAR, J. P. (2004). *Economia de Energia e Redução do Pico da Curva de Demanda para Consumidores de Baixa Renda por Agregação de Energia Solar Térmica*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Engenharia Mecânica, Florianópolis.
- SEARS, F., ZEMANSKY, M. W., & YOUNG, H. D. (1989). *Mecânica dos Fluidos, Calor e Movimento Ondulatório* (Segunda ed., Vol. 2). (J. P. VON DER WELD, Trad.) Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil: Livros Tecnicos e Científicos Ltda.
- SILVA, E. M., SILVA, E. M., GONÇALVES, V., & MUROLO, A. C. (1995). *Estatística para os cursos de Economia Administração e Ciências Contábeis* (Vol. 2). São Paulo, São Paulo, Brasil: Atlas S.A.
- SIQUEIRA, D. A. (2009). *Estudo de Desempenho do Aquecedor Solar de Baixo Custo*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Química, Uberlândia.
- SMITH, J. M., & VAN NESS, H. C. (1980). *Introdução à Termodinâmica da Engenharia Química* (Terceira ed.). (H. MACEDO, Trad.) Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil: Guanabara Koogan S.A.
- SOUZA, L. G., MENDES, J. U., SANTOS, R. D., LIMA, H. J., MELO, A. V., & RANDEMBERG, N. (2006). Reservatório térmico alternativo para uso em sistemas solares de aquecimento de água. *17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais*. Foz do Iguaçu.
- SPRENGER, R. L. (2007). *Aplicação do sistema fechado no aquecedor solar de água de baixo custo para reservatórios residenciais isolados termicamente: concepção e comissionamento de um sistema-piloto de testes*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Paraná, Engenharia Civil, Curitiba, PR.
- TOMÉ, M. d. (2014). *Análise do Impacto do Chuveiro Elétrico em Redes de Distribuição no Contexto da Tarifa Horossazonal*. Unicamp - Universidade

Estudual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Campinas.

- TREIS, F. L. (1991). *Simulação de Sistemas de Aquecimento de Água por Energia Solar com Circulação Natural*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Engenharia Mecânica, Porto Alegre.
- WARMERDAN, J. M., & VAN DER LEUN, C. J. (1998). Legionella and Domestic Hot Water System. *CIB-62*.
- WIDERSKI, R. (2002). *Estudo de Fatores que Influenciam a Performance de Sistemas*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Engenharia Civil, Florianópolis.
- YANG, X., LI, H., & SVENDSEN, S. (2016). *Alternative solutions for inhibiting Legionella in domestic hot water systems based on low-temperature district heating*.
- ZUFFO, A. C. (Jan - Abr de 2015). O sol, o Motor das Variabilidades Climáticas. *DAE*(198), 06-24.

9 APÊNDICE

APÊNDICE 1: Dados amostrais para protótipos #3 e #4. Posição: superior

Temperatura média nos horários	Ambiente inverno (°C)	Ref. Sem proteção (°C)	Cx1+cx2 +10mm (°C)	$\Delta T (T_{ref} - T_{amb})$	$\Delta T (T_{cx/cx} - T_{amb})$
0:00	14,7	28,8	41,7	14,1	27,0
1:00	14,2	27,7	41,3	13,5	27,1
2:00	13,8	26,6	40,8	12,8	27,0
3:00	13,4	25,6	40,4	12,1	26,9
4:00	13,1	24,6	39,9	11,5	26,8
5:00	12,8	23,7	39,4	10,9	26,6
6:00	12,5	22,9	38,9	10,4	26,4
7:00	12,5	22,1	38,4	9,6	25,9
8:00	16,7	21,6	37,9	5,0	21,2
9:00	20,1	25,1	37,5	5,0	17,5
10:00	23,0	29,0	38,3	6,0	15,2
11:00	25,3	33,5	40,4	8,2	15,1
12:00	26,8	37,1	42,5	10,3	15,8
13:00	27,6	39,9	44,6	12,3	17,0
14:00	28,2	41,3	45,6	13,1	17,4
15:00	28,0	41,8	45,9	13,8	17,9
16:00	26,8	41,2	45,7	14,3	18,9
17:00	22,7	40,0	45,5	17,2	22,7
18:00	19,4	38,4	45,2	19,0	25,8
19:00	17,8	36,6	44,7	18,8	26,9
20:00	16,8	34,9	44,3	18,1	27,4
21:00	16,2	33,3	43,8	17,0	27,5
22:00	15,7	31,8	43,3	16,1	27,6
23:00	15,4	30,4	42,9	15,1	27,5
Mínimo	12,5	21,6	37,5	5,0	15,1
Máximo	28,2	41,8	45,9	19,0	27,6
Delta em um dia	15,7	20,1	8,3	14,0	12,5

APÊNDICE 2: Dados amostrais para protótipos #1 e #2. Posição: superior

Temperatura média nos horários	Ambiente verão (°C)	Manta 10 mm (°C)	Manta 15 mm (°C)	$\Delta T (T_{10\text{ mm}} - T_{\text{amb}})$	$\Delta T (T_{15\text{ mm}} - T_{\text{amb}})$
0:00	20,3	39,6	41,4	19,4	21,1
1:00	20,2	39,3	41,1	19,1	20,9
2:00	19,8	38,8	40,6	19,0	20,9
3:00	19,4	38,3	40,1	18,9	20,8
4:00	19,2	37,8	39,7	18,6	20,5
5:00	18,8	37,3	39,2	18,6	20,5
6:00	18,9	36,8	38,8	18,0	19,9
7:00	22,1	36,4	38,3	14,3	16,2
8:00	23,9	36,1	38,0	12,1	14,1
9:00	26,2	37,0	38,3	10,8	12,1
10:00	28,5	38,7	39,9	10,2	11,4
11:00	31,5	40,8	42,0	9,3	10,5
12:00	33,3	42,3	43,5	9,0	10,2
13:00	33,0	43,6	45,0	10,7	12,0
14:00	33,4	44,2	45,7	10,9	12,3
15:00	32,1	44,1	45,7	12,0	13,5
16:00	31,7	43,6	45,3	12,0	13,6
17:00	30,0	43,2	44,9	13,2	14,9
18:00	27,8	42,7	44,4	14,9	16,6
19:00	24,7	42,4	44,1	17,7	19,4
20:00	23,1	41,9	43,6	18,9	20,6
21:00	22,3	41,4	43,1	19,2	20,9
22:00	21,7	40,9	42,6	19,2	20,9
23:00	21,4	40,4	42,1	19,0	20,8
Mínimo	18,8	36,1	38,0	9,0	10,2
Máximo	33,4	44,2	45,7	19,4	21,1
Delta em um dia	14,6	8,2	7,7	10,4	10,9

APÊNDICE 3: Dados amostrais para protótipos #3 e #4. Posição: intermediária

Temperatura média nos horários	Ambiente Inverno (°C)	Ref. Sem proteção (°C)	Cx1+cx2 +10 mm (°C)	$\Delta T (T_{ref} - T_{amb})$	$\Delta T (T_{cx/cx} - T_{amb})$	$\neq Cx/Cx - ref. (°C)$
0:00	14,7		29,4		14,7	
1:00	14,2		28,3		14,1	
2:00	13,8		27,3		13,4	
3:00	13,4		26,3		12,9	
4:00	13,1		25,3		12,2	
5:00	12,8		24,5		11,7	
6:00	12,5		23,7		11,1	
7:00	12,5		22,9		10,4	
8:00	16,7		22,4		5,7	
9:00	20,1		23,0		3,0	
10:00	23,0		27,3		4,3	
11:00	25,3		31,5		6,1	
12:00	26,8		34,9		8,2	
13:00	27,6		38,2		10,6	
14:00	28,2		40,3		12,1	
15:00	28,0		41,2		13,2	
16:00	26,8		40,9		14,0	
17:00	22,7		39,9		17,1	
18:00	19,4		38,4		19,1	
19:00	17,8		36,8		19,0	
20:00	16,8		35,2		18,4	
21:00	16,2		33,7		17,4	
22:00	15,7		32,3		16,6	
23:00	15,4		31,0		15,6	
Mínimo	12,5		22,4		3,0	
Máximo	28,2		41,2		19,1	
Delta em um dia	15,7		18,8		16,1	

APÊNDICE 4: Dados amostrais para protótipos #1 e #2. Posição: intermediária

Temperatura média nos horários	Ambiente Verão (°C)	Manta 10 mm (°C)	Manta 15 mm (°C)	ΔT (T10 mm-Tamb)	ΔT (T15 mm-Tamb)
0:00	20,3	39,7	40,6	19,4	20,3
1:00	20,2	39,2	40,1	19,0	20,0
2:00	19,8	38,7	39,7	18,9	19,9
3:00	19,4	38,2	39,2	18,8	19,9
4:00	19,2	37,7	38,8	18,5	19,6
5:00	18,8	37,2	38,4	18,5	19,6
6:00	18,9	36,7	37,9	17,9	19,0
7:00	22,1	36,3	37,4	14,1	15,2
8:00	23,9	35,8	36,7	11,9	12,8
9:00	26,2	35,7	36,3	9,5	10,1
10:00	28,5	37,5	37,6	8,9	9,0
11:00	31,5	39,5	39,4	8,0	7,9
12:00	33,3	41,2	41,1	7,9	7,8
13:00	33,0	42,8	42,7	9,8	9,7
14:00	33,4	43,6	43,6	10,2	10,2
15:00	32,1	43,7	43,9	11,6	11,8
16:00	31,7	43,4	43,8	11,8	12,1
17:00	30,0	43,1	43,5	13,1	13,6
18:00	27,8	42,6	43,1	14,9	15,4
19:00	24,7	42,4	42,9	17,7	18,3
20:00	23,1	41,9	42,5	18,8	19,5
21:00	22,3	41,3	42,1	19,1	19,8
22:00	21,7	40,8	41,6	19,1	19,9
23:00	21,4	40,3	41,2	19,0	19,8
Mínimo	18,8	35,7	36,3	7,9	7,8
Máximo	33,4	43,7	43,9	19,4	20,3
Delta em um dia	14,6	8,0	7,6	11,5	12,5

APÊNDICE 5: Dados amostrais para protótipos #3 e #4. Posição: inferior

Temperatura média nos horários	Ambiente Inverno (°C)	Ref. Sem proteção (°C)	Cx1+cx2 +10 mm (°C)	ΔT (Tref-Tamb)	ΔT (Tcx/cx-Tamb)
0:00	14,7		26,1		11,4
1:00	14,2		25,1		10,9
2:00	13,8		24,1		10,3
3:00	13,4		23,2		9,8
4:00	13,1		22,4		9,3
5:00	12,8		21,6		8,8
6:00	12,5		20,9		8,4
7:00	12,5		20,2		7,7
8:00	16,7		19,8		3,2
9:00	20,1		21,1		1,0
10:00	23,0		23,5		0,5
11:00	25,3		27,5		2,2
12:00	26,8		31,3		4,5
13:00	27,6		34,7		7,1
14:00	28,2		37,1		8,9
15:00	28,0		38,4		10,4
16:00	26,8		38,3		11,4
17:00	22,7		37,2		14,5
18:00	19,4		35,7		16,3
19:00	17,8		33,9		16,1
20:00	16,8		32,1		15,3
21:00	16,2		30,5		14,2
22:00	15,7		29,0		13,3
23:00	15,4		27,6		12,3
Mínimo	12,5		19,8		0,5
Máximo	28,2		38,4		16,3
Delta em um dia	15,7		18,6		15,8

APÊNDICE 6: Dados amostrais para protótipos #1 e #2. Posição: inferior

Temperatura média nos horários	Ambiente Verão (°C)	Manta 10 mm (°C)	Manta 15 mm (°C)	ΔT (T10 mm-Tamb)	ΔT (T15 mm-Tamb)
0:00	20,3	32,3	33,3	12,0	13,0
1:00	20,2	31,8	32,8	11,6	12,6
2:00	19,8	31,2	32,2	11,4	12,4
3:00	19,4	30,6	31,6	11,3	12,2
4:00	19,2	30,1	31,1	10,9	11,8
5:00	18,8	29,7	30,6	10,9	11,8
6:00	18,9	29,2	30,1	10,3	11,2
7:00	22,1	28,8	29,5	6,6	7,4
8:00	23,9	28,8	29,4	4,9	5,4
9:00	26,2	29,5	30,2	3,3	4,0
10:00	28,5	30,7	31,7	2,2	3,2
11:00	31,5	32,2	33,3	0,7	1,8
12:00	33,3	33,8	35,0	0,5	1,7
13:00	33,0	35,3	36,7	2,4	3,7
14:00	33,4	36,8	38,2	3,5	4,8
15:00	32,1	37,7	39,1	5,6	7,0
16:00	31,7	38,0	39,4	6,4	7,7
17:00	30,0	37,8	39,0	7,8	9,1
18:00	27,8	37,1	38,3	9,3	10,5
19:00	24,7	36,4	37,6	11,8	12,9
20:00	23,1	35,6	36,7	12,5	13,6
21:00	22,3	34,7	35,8	12,4	13,5
22:00	21,7	33,9	34,9	12,1	13,2
23:00	21,4	33,1	34,2	11,8	12,8
Mínimo	18,8	28,8	29,4	0,5	1,7
Máximo	33,4	38,0	39,4	12,5	13,6
Delta em um dia	14,6	9,3	10,0	12,0	12,0

APÊNDICE 7: Quadro de cotação e cálculo de custo

Materiais para o Coletor Solar "Sole Mio" - Conj. Referência					
Ítem	Quant.	Descrição	C Unit.	C. Total 100 L	C. Total 250 L
1	1	Placa de Forro Modular PVC (Confibra ou Vipal) 1,25x0,62 m	R\$ 34,62	R\$ 34,62	R\$ 69,23
2	2	Barra (3 m) de Cano de PVC marrom 32 mm	R\$ 21,90	R\$ 43,80	R\$ 54,75
3	2	União sold. PVC marrom 32 mm	R\$ 1,89	R\$ 3,78	R\$ 7,56
4	12	Adaptador de PVC marrom 32 mm (Cola x rosca)	R\$ 1,69	R\$ 20,28	R\$ 20,28
5	4	Joelho de 90° de PVC rosqueavel 90x1" (rosca x rosca)	R\$ 4,99	R\$ 19,96	R\$ 19,96
	1	Joelho de 45° de PVC rosqueavel 90x1" (rosca x rosca)	R\$ 15,19	R\$ 15,19	R\$ 15,19
6	2	Cap PVC branco 32 mm	R\$ 4,49	R\$ 8,98	R\$ 8,98
7	2	Niple PVC rosqueavel 32 mm	R\$ 1,69	R\$ 3,38	R\$ 3,38
8	1	Fita veda rosca (50 m)	R\$ 11,90	R\$ 11,90	R\$ 11,90
9	1	Cola KPO (1 lata) (Maxi rubber)	R\$ 23,31	R\$ 23,31	R\$ 23,31
10	1	Adesivo para tubo de PVC Tigre 75 g	R\$ 14,99	R\$ 14,99	R\$ 14,99
11	1	Caixa d'água (PEAD) 100 litros / 250 litros	R\$ 191,52	R\$ 191,52	R\$ 275,00
12	2	Flange 32 mm	R\$ 17,69	R\$ 35,38	R\$ 35,38
13	1	Esmalte Sintético Preto Fosco (900 ml)	R\$ 34,90	R\$ 34,90	R\$ 34,90
Sub total Referência				R\$ 461,99	R\$ 594,81

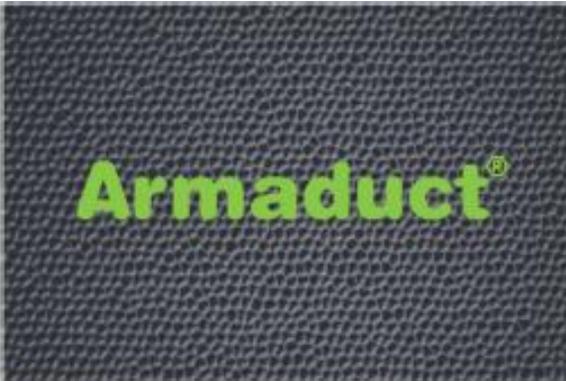
Materiais para o reservatório com proteção de 10mm					
1	1	m ² Manta Térmica Armaduct (10 mm) Aluminizada	R\$ 51,85	R\$ 51,85	R\$ 77,78
2	1	Adesivo p/ manta Armaduct (900 ml)	R\$ 104,90	R\$ 104,90	R\$ 104,90
Sub-Total Isolação Térmica 10mm				R\$ 156,75	R\$ 182,68

Materiais para o reservatório com proteção de 15mm					
1	1	m ² Manta Térmica Armaduct (15 mm) Aluminiz.	R\$ 96,42	R\$ 96,42	R\$ 144,63
2	1	Adesivo p/ manta Armaduct (900 ml)	R\$ 104,90	R\$ 104,90	R\$ 104,90
Sub-Total Isolação Térmica 15mm				R\$ 201,32	R\$ 249,53

Materiais para o reservatório com proteção de 10mm + Cx dentro de caixa					
1	1	m ² Manta Térmica Armaduct (10 mm) Aluminiz.	R\$ 51,85	R\$ 51,85	R\$ 77,78
2	1	Caixa d'água (PEAD) 150 litros / 310 litros	R\$ 245,47	R\$ 245,47	R\$ 236,62
3	1	Adesivo p/ manta Armaduct (900 ml)	R\$ 104,90	R\$ 104,90	R\$ 104,90
Sub-Total Isolação Térmica 10mm + cx dentro de caixa				R\$ 402,22	R\$ 419,30

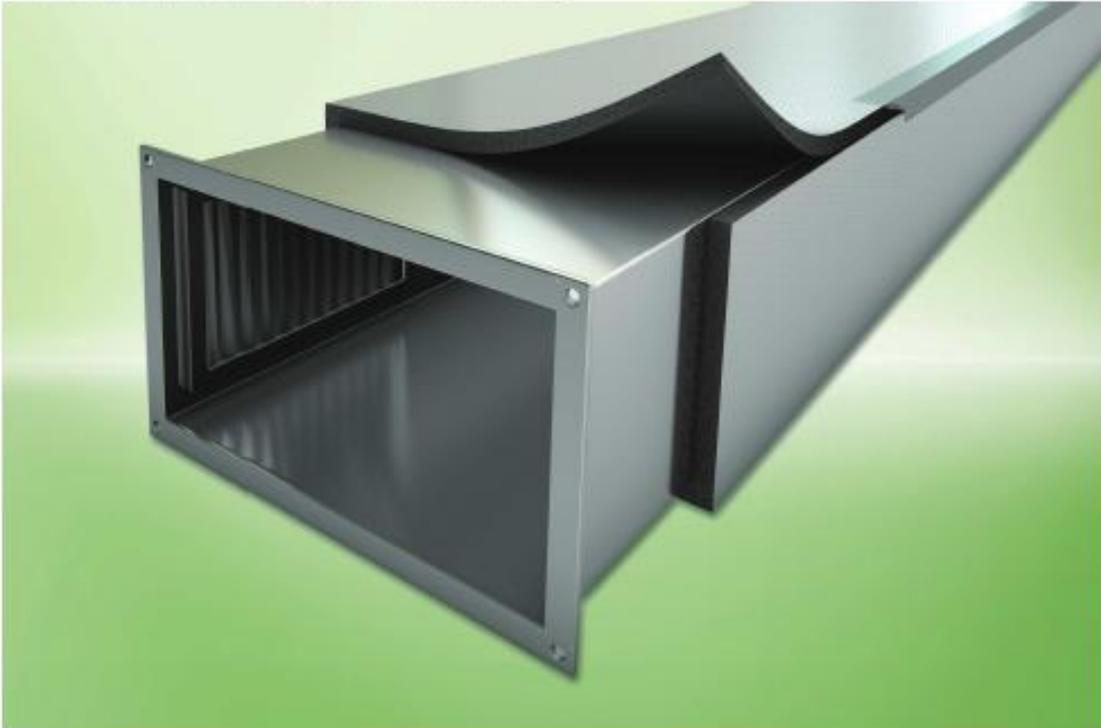
10 ANEXOS

ANEXO 1: Data Sheet Armaduct



Armaduct®

SISTEMA DE ISOLAMENTO TÉRMICO
PARA DUTOS DE CLIMATIZAÇÃO



- Não necessita barreira de vapor
- Contribui para a estanqueidade do sistema
- Isento de fibras
- Células fechadas
- Fácil e rápida instalação
- Acabamento e resistência superiores

 armacell


FM
APPROVED

Dados Técnicos – ARMADUCT

Descrição	Isolamento térmico flexível, na cor preta, em espuma elastomérica, com estrutura celular fechada e opções em autoadesivo e com película de alumínio de 12µ reforçado.
Tipo de material	Espuma elastomérica à base de borracha sintética.
Aplicação	Isolamento térmico e acústico para dutos de sistemas de climatização.

Propriedades	Valor/Qualificação	Observações
Temperatura de trabalho	Temperatura máx. +60 °C Temperatura mín. +10 °C	
Condutividade térmica	0,037 W/(m.K) a 20 °C	DIN EN 12667
Reação ao fogo	Classe 1	BS 476, parte 7: 1997
Comportamento em caso de incêndio	Autoextinguível, não goteja e não propaga chama.	
Aspectos de salubridade	Odor: Neutro	
Atenuação acústica	Até 28 dB(a)*	ISO 140-3: 1995
Disponibilidade	Espessura: 10, 15, 25 e 30 mm Standard, Aluminizada e Autoadesiva	
Particularidades	Isento de fibras	

*Armaduct com chapa metálica de 0,8 mm.

Vantagens

- ✓ Alta resistência à difusão de vapor de água. Não necessita revestimento adicional;
- ✓ Proporciona excelente acabamento;
- ✓ Fácil instalação;
- ✓ Fácil de limpar e não desprende partículas;
- ✓ Pode ser instalado interna ou externamente nos dutos;
- ✓ Baixa resistência à circulação do ar no interior dos dutos e boa absorção acústica,
- ✓ Conserva as suas propriedades ao longo do tempo e não contribui para a proliferação de fungos ou bactérias;
- ✓ Proporciona notável atenuação acústica em conjunto com a chapa metálica;
- ✓ Garante um grande ciclo de vida à instalação, com o mínimo de manutenção;
- ✓ Ocupa menos espaço que isolamentos em outros materiais.

Como Instalar o Armaduct



A Armacell recomenda a utilização do Armaflex® Tape nas junções.

Notas

- Para dutos de aço inoxidável, recomenda-se o uso do NH/Armaflex.
- Para aplicações com temperaturas entre 105 °C e 150 °C, recomenda-se o uso do HT/Armaflex.
- Quando expostos à intempérie, os produtos deverão ser protegidos da radiação UV após 36 horas da aplicação e antes de passados 4 dias. Recomendamos o uso dos sistemas Arma-Chek e Armaflex da Armacell.
- Todos os dados e informações técnicas estão baseados em resultados obtidos em condições normais de uso. É da responsabilidade de quem recebe o material consultar a Armacell para verificar se é adequado ao uso específico pretendido.
- Informações e características do produto poderão ser alteradas sem aviso prévio.

 armacell®

 SAC 0800 722 5080

 info.br@armacell.com

 www.armacell.com.br

ANEXO 2: Data Sheet HT/Armaflex



HT/Armaflex®

Aplicação

O HT/Armaflex® utiliza-se como isolamento de tubagens e acessórios em aplicações, tais como:

- Tubagens em processos industriais
- Tubos em unidades de refrigeração (as temperaturas de descarga podem superar os 105 °C)
- Linhas de vapor de dupla temperatura e baixa pressão trabalhando em ciclos de limpeza
- Linhas quentes de alta pressão em bombas de calor reversíveis ar-ar
- Tubagens de transporte de gases
- Colectores solares
- Depósitos de armazenagem de produtos químicos
- Linhas de aquecimento centralizado
- Aplicação em automação.

**Gama de produto**

Coquilhas



Coquilhas em rolos



Prancha em rolos



Cinta auto-adesiva



Acessórios



HT/Armaflex®



Dados técnicos

Breve descrição:	Isolamento elastomérico de célula fechada, altamente flexível.
Material:	Espuma elastomérica à base de borracha EPDM, de cor negra.
Áreas de aplicação:	Isolamento térmico de tubagens, depósitos e condutas em: aplicações industriais, condutas de gás quente, condutas de vapor e de dupla temperatura, automação e painéis solares.
Particularidades:	A temperaturas elevadas, pode-se iniciar um processo de endurecimento na superfície interior da prancha ou da coquilha. Este processo não tem influência no funcionamento correcto do isolamento no seu conjunto, sempre que o material tenha sido instalado da forma correcta com todas as juntas devidamente seladas.
Características especiais:	Livre de CFCs. Cumpre a DIN 1988, partes 2 e 7.

Propriedades	Valores / Valoração	Supervisão	Observações
Campo de aplicação: Temp. máx. da linha Temp. mín. da linha	Coquilhas: +150°C (+175°C*) Pranchas: +130°C Coquilhas e pranchas: -50 °C (-200°C*)		* para temperaturas superiores a 150 °C ou inferiores a -50 °C, consulte o nosso Departamento Técnico
Condutibilidade térmica, λ, a 20 °C	$\leq 0,039$ W/(m · K)	○	Ensaiado segundo as: EN 12667 (DIN 52612) para pranchas e EN ISO 8497 (DIN 52613) para coquilhas
Factor de resistência μ à permeabilidade ao vapor de água:	≥ 3.000	○	Ensaiado segundo as EN 12086 para pranchas e EN 13469 para coquilhas
Comportamento em caso de incêndio: 1. Classificação de materiais de construção	B2 Classe 1	○	Ensaiado segundo a DIN 4102, Parte 1 Ensaiado em conformidade com British Standard (BS) 476, Parte 7
2. Comportamento prático frente ao fogo	Auto-extinguível, não goteja e não propaga a chama		Homologado por: • Lloyd's Register of Shipping, Londres • Registro Italiano Navale • Det Norske Veritas

○ = Supervisão interna regular.

ANEXO 3: Data Sheet UT Solar

UPPER-TEMPERATURE INSULATION

UT SolaFlex

Tube and Roll Insulation

Flexible, closed-cell elastomeric insulation for protection against condensation, mold, energy loss and ultraviolet radiation in upper-temperature applications. UT SolaFlex is PVC free.

- // 300°F upper temperature limit – ideal for solar applications, hot gas piping, low pressure steam lines and VRF/VRF applications
- // Effectively retards degradation due to ultraviolet radiation
- // EPDM-based, closed-cell structure provides excellent condensation control and prevents energy loss
- // Meets 25/50 flame and smoke index according to ASTM E84

www.armacell.us



 **armacell**
SolaFlex

TECHNICAL DATA – UT SOLAFLEX TUBE AND ROLL INSULATION

Description

Black, EPDM-based, flexible, closed-cell elastomeric thermal insulation in tubular and roll form

Applications

Pipe insulation for: Variable Refrigerant Flow (VRF), Variable Refrigerant Volume (VRV), solar hot water, HVAC hot gas and low pressure steam, dual temperature lines

Approvals, Certifications, Compliances

- GREENGUARD Gold Certified
- Manufactured without CFCs, HFCs, HCFCs, PBDEs, or Formaldehyde
- ASTM C 534 Type I (Tubular) Grade 2, Type II (Sheet) Grade 2
- Rated for use in return air plenums
- Meets Living Building Challenge requirements
- All Armacell facilities in North America are ISO 9001 certified
- UL 94 File Number E55798
 - 5VA, HF-1 and V-1 for thicknesses 7.5 mm and greater
 - V-0 for thicknesses 13 mm and greater

Typical Properties

Specifications	Values	Test Method
Thermal Conductivity: Btu • in/h • ft ² • °F (W/mK)		
75°F Mean Temperature (24°C)	0.28 (.040)	ASTM C 177 or C 518
100°F Mean Temperature (38°C)	0.288 (0.0415)	
150°F Mean Temperature (66°C)	0.299 (0.0431)	
200°F Mean Temperature (93°C)	0.310 (0.0447)	
Water Vapor Permeability: Perm-in. [Kg/(s • m • Pa)]	0.08 (1.16 x 10 ⁻¹³)	ASTM E 96, Procedure A
Flame Spread and Smoke Developed Index:	25/50 rated	ASTM E 84, UL 723, and NFPA 255
Water Absorption, % by Volume:	0.2 %	ASTM C1763 Procedure B
Mold Growth:	Passed	UL181
Fungi Resistance:		ASTM G21/C1338
Bacterial Resistance:		
Upper Use Limit: ①	300°F (150°C)	ASTM C534
Lower Use Limit: ②	-297°F (-183°C) ③	ASTM C534
Ozone Resistance:	Excellent	ASTM D 1149
UltraViolet (UV) Resistance	Excellent	ASTM G90

Sizes

Tubes		Rolls	
Wall Thickness (nominal)	1/2", 3/4" and 1" (13, 19 and 25 mm)	Width	48" (1.22m)
Inside Diameter, Tubular	1/4" through 2-1/2" IPS (6 mm through 73 mm)	Thickness x Length	1/2" x 70' (13 mm x 21.3 m) 3/4" x 50' (19 mm x 15.2 m) 1" x 35' (25 mm x 10.7 m)
Length of Sections, Tubular	6' (1.83 m)		

Outdoor Use Painting with WB Finish or other protective jacketing is required to prevent damage to the insulation in exterior applications and to comply with the insulation protection sections of the International Energy Conservation Code (IECC) and ASHRAE 90.1.

- ① Suitable for systems with occasional or intermittent temperatures to 350° F (175° C), with a recommended exposure limit of one 30 minute period at 350° F (175° C) over 24 hours of operation.
 ② At temperatures below -20° F (-29° C), elastomeric insulation starts to become less flexible. However, this characteristic does not affect thermal efficiency or water vapor permeability of UT Solaflex insulation.
 ③ For applications of -40° F to -297° F (-40° C to -183° C), contact Armacell.

All data and technical information are based on results achieved under typical application conditions. It is the customer's responsibility to verify if the product is suitable for the intended application. The responsibility for professional and correct installation and compliance with relevant building regulations lies with the customer. By ordering/receiving product you accept the **Armacell General Terms and Conditions of Sale** applicable in the region. Please request a copy if you have not received these.

© Armacell, 2020. UT SolaFlex | SolaFlex | TDS | 102020 | NA | EN-A | 028

ABOUT ARMACELL

As the inventors of flexible foam for equipment insulation and a leading provider of engineered foams, Armacell develops innovative and safe thermal, acoustic and mechanical solutions that create sustainable value for its customers. Armacell's products significantly contribute to global energy efficiency making a difference around the world every day. With 3,100 employees and 24 production plants in 16 countries, the company operates two main businesses, Advanced Insulation and Engineered Foams. Armacell focuses on insulation materials for technical equipment, high-performance foams for high-tech and lightweight applications and next generation aerogel blanket technology.

For more information, please visit:

www.armacell.us
info.us@armacell.com
 800-866-5638



ANEXO 4: Manual para Construção Coletor Solar “Sole Mio”



Manual para Construção



O sol nasce para todos



Este Manual foi elaborado pela nossa equipe a partir de uma síntese de seminários, relatórios técnicos e artigos publicados sobre desenvolvimento do Coletor Solar de Baixo Custo para aquecimento de água, no período de 2004 a 2008, no Depto. de Tecnologia de Polímeros da Fac. de Engenharia Química da UNICAMP.

O objetivo é permitir o acesso dessa tecnologia social a todas as classes da população brasileira. Isto poderá ajudar a reduzir o consumo de energia elétrica no horário de maior demanda, substituindo o chuveiro elétrico, colaborando assim com o país e ajudando a preservar o planeta.

Os autores

NOSSA EQUIPE

DTP/FEQ/ UNICAMP

Renato César Pereira
(Doutorando CNPq, 2004/08)

Matheus de Rossi Carminatti
(PIBIC, 2007/08)

Peterson Zilli (PIBIC, 2006)

Samuel Mello (PIBIC, 2005/06)

Robson Takao (PIBIC, 2005/06)

Prof. Julio Roberto Bartoli

PROPEQ / FEQ/ UNICAMP

Larissa Martins S. Benjamin;

George F. R. Guimarães;

Milena Ponczek;

Felipe Massucato (2007/08)

Emerson de Jesus Silva (2007)

Valdir Antônio de Assis Jr. (2005/07)

Distribuição gratuita.

É proibida a venda, mas é permitida a reprodução total ou parcial desde que citada a fonte.



Campinas, 2008

Ilustrações Natalia Forcat Criação e Editoração Eletrônica G&C Produções Gráficas

FICHA CATALOGráfICA

P413s Pereira, Renato César
Sole Mio! : coletor solar de baixo / Renato César Pereira, Julio Roberto Bartoli, Samuel Ferreira Mello. – Campinas, SP: Ed. do Autor, 2008. 28p. :il.

1. Energia solar. 2. Energias alternativas. 3. Aquecedores solares de água. 4. Coletor solar de baixo custo. I. Bartoli, Julio Roberto. II. Mello, Samuel Ferreira de. III. Título.

ISBN

Apoio



INTRODUÇÃO

Instalando o Coletor Solar de Baixo Custo (CSBC), marca "Sole Mio", além de economizar energia elétrica em sua residência, você estará poupando a natureza.



A produção e o uso incorreto da energia são algumas das principais causas da destruição do meio ambiente.

O Sol é uma fonte de energia limpa, porque não polui e não gera resíduos.

O aproveitamento desta energia, tanto como fonte de calor quanto de luz, é uma alternativa ecologicamente correta e totalmente gratuita!

Renovável a cada dia, a energia solar é abundante e permanente, sendo a solução ideal para áreas afastadas e/ou ainda não beneficiadas por rede elétrica, assim como para pessoas que desejam economizar energia elétrica, seja por questões orçamentárias ou por preocupação com a preservação do meio ambiente.

O Brasil oferece condições ideais para o aproveitamento da energia solar, pois o Sol aparece muitos dias por ano!

A utilização dessa forma de energia implica em saber captá-la e armazená-la. Os coletores solares são equipamentos que têm como objetivo específico o aproveitamento da energia solar.

Os coletores solares planos são largamente utilizados para aquecimento de água em residências, hospitais, hotéis, etc., devido ao conforto proporcionado e à redução do consumo de energia elétrica. Em geral, são fabricados com materiais

como cobre, vidro, alumínio, aço, etc. Por outro lado, o CSBC – Sole Mio usa apenas forros e tubos de PVC, de preço acessível e fácil de encontrar. Não tem cobertura transparente (vidro), limitando seu uso até 55°C para garantir sua durabilidade (mínima de 5 anos). É de fácil montagem e instalação. Seguindo as instruções deste manual, você poderá construir seu próprio CSBC.

Visitas aos protótipos localizados na FEQ poderão ser agendadas para tirar dúvidas.

DICAS DO SOLZINHO – LEIA COM ATENÇÃO!



- Este manual serve para auxiliar a construir seu próprio CSBC (Coletor Solar de Baixo Custo), marca registrada Sole Mio.
- Verifique os itens da lista de materiais para não comprar peças erradas na hora de montar o CSBC.
- Não substitua materiais! Os que são recomendados neste manual foram testados e aprovados nos estudos feitos com estes sistemas. Caso tenha dúvidas ou sugestões a fazer, entre em contato conosco pelo endereço/telefone indicados na pág. 31.
- Recomendamos o uso de uma placa de PVC alveolar de 1,25 x 0,62m (também chamada de forro modular) para cada 150 /200 litros de água, dependendo da região. Em geral, no interior de São Paulo, duas placas são suficientes para um reservatório de 310 litros de água (volume padronizado).

- Cada pessoa consome, aproximadamente, 50 litros de água durante um banho de 10 minutos. Isto quer dizer que uma família de 4 pessoas terá um consumo mínimo de 200 litros. Não esqueça este dado na hora de comprar o reservatório.
- Caso sua casa não tenha um telhado inclinado (meia água), você precisará construir um suporte (pág. 27 e 28) para instalar as placas do CSBC, ou poderá fazer uma adaptação no telhado da sua residência.

Observação: O material para a construção do suporte não foi incluído na lista de materiais.

- Não esqueça que o local escolhido para a instalação das placas deve receber luz solar, em general das 9:00 até as 17:00 horas. Verifique a presença de árvores e construções próximas, que possam projetar sombras sobre as placas do CSBC. (ver Fig.1).

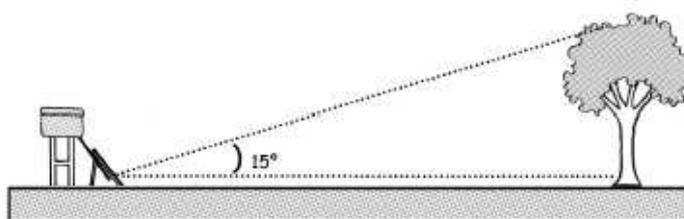


Fig. 1

Em geral, a sombra projetada pela árvore não influe, quando:

Distância do CSBC = Altura da árvore (ou da construção) x 4.

Ex.: se a árvore tem 3 m, então o CSBC deve ser instalado a pelo menos 12 m da árvore.

Isto é, no início da manhã ou final da tarde, o ângulo entre o SOL e o HORIZONTE é inferior a 15°, logo, é inútil tentar captar a radiação solar, porque os raios solares tem que atravessar uma camada de ar na atmosfera muito maior e serão absorvidos.

- **Dicas de segurança:** Não manipule produtos abrasivos ou tintas/solventes sem proteção adequada (luvas de borracha e máscara de papel).

**Numeração e referências para o diagrama Coletor Solar (CSBC)
(Pag 5-fig. 2) indicando as páginas onde cada detalhe é explicado**

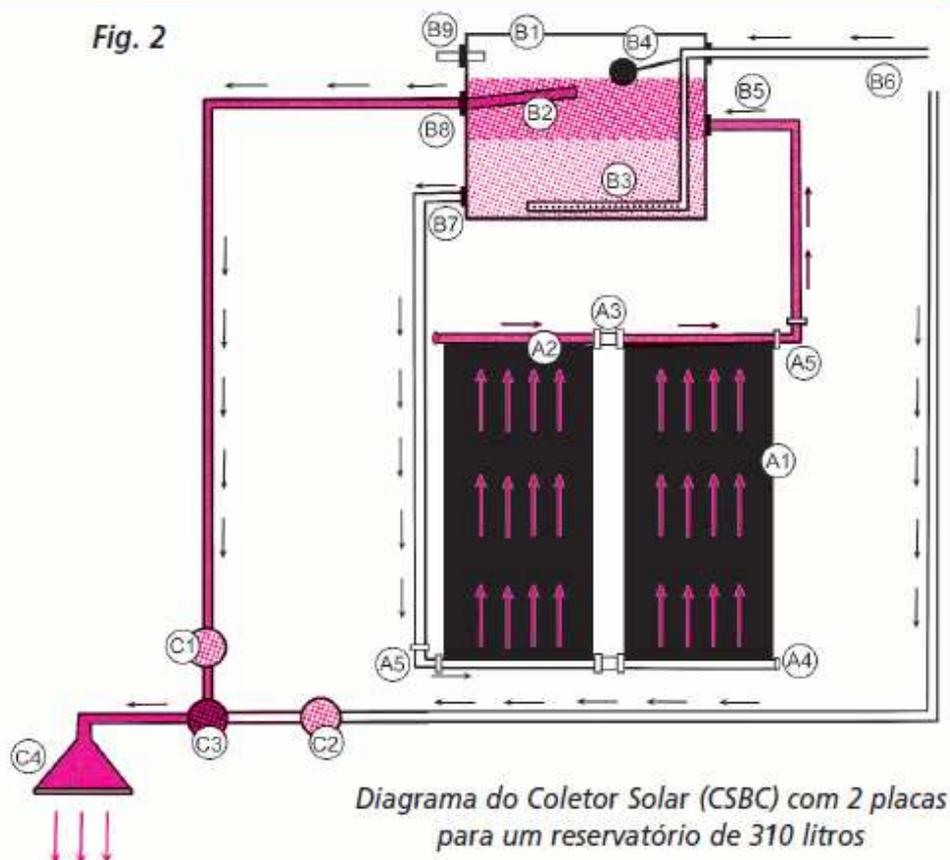
- | | |
|---|---|
| A1: Placa alveolar (forro modular) pág. 6
Encaixe da placa: pág. 8
Pintura da placa: pág. 14
Esquema de montagem das placas:
pág. 16 | B3: Redutor de turbulência: pág. 19 |
| A2: Tubo de PVC
Como cortar os tubos: pág. 6 e 7
Encaixe dos tubos: pág. 8. Como colar
os tubos às placas: pág. 11 a 13 | B4: Bóia: pág. 19 |
| A3: Luva soldável ou União Soldável
com rosca. | B5: Entrada de água quente: pág. 17 e 18 |
| A4: Cap rosqueável para manutenção.
Quando realizar a manutenção: pág 27 | B6: Entrada de água fria proveniente da
rua ou de outra caixa d'água: pág. 17
e 18 |
| A5: Joelho soldável | B7: Saída de água fria para as placas do
CSBC : pág. 18 |
| B1: Reservatório: pág. 17 e 20 | B8: Saída de água quente para o chuveiro:
pág. 18 |
| B2: Pescador: pág. 21 | B9: Ladrão: pág. 17 |
| | C1: Registro da água quente |
| | C2: Registro da água fria |
| | C3: Misturador: pág. 28 |
| | C4: Chuveiro: pág. 28 |

Opção 1:

Uma caixa d'água apenas – a casa já dispõe de uma caixa que permite furos adicionais mostrados nas Fig.2 e 25, e deseja-se apenas uma caixa tanto a água quente como a fria. A água fria para o chuveiro poderá vir ou da "rua" ou da própria caixa d'água (uma outra saída no fundo da caixa). Lembrar que o volume da caixa d'água deverá ser adequado para fornecer água fria para outros usos (pia da cozinha, vaso sanitário, etc.).

Opção 2:

(aconselhável): Duas caixas d'água – a casa dispõe de uma caixa que não permite fazer os furos adicionais da Fig. 2 e 25, ou então o usuário deseja dispor de um segundo reservatório exclusivo para água quente para o banho (Ex.: volume de 310 litros). A água fria para o chuveiro pode vir da caixa d'água principal ou da "rua".



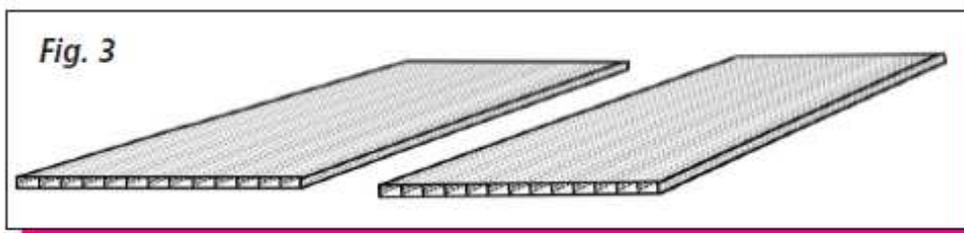
Atenção especial ao utilizar objetos cortantes como serra, furadeira e fresadeira! Caso precise subir ao telhado, saiba antes os cuidados que deve tomar (como pisar em telhas ou outras estruturas), verifique a estabilidade da escada e esteja sempre acompanhado por outra pessoa, que possa auxiliá-lo em caso de acidente.

Montagem das placas do CSBC

As placas do CSBC são as peças que captam ou absorvem a energia solar aquecendo a água que circula dentro delas.

Devem ser pintadas de preto, que é a cor que mais absorve a radiação solar. (figura 3)

Placa de PVC (forro modular) com 1,25 m x 0,62 m ou 0,8 m²



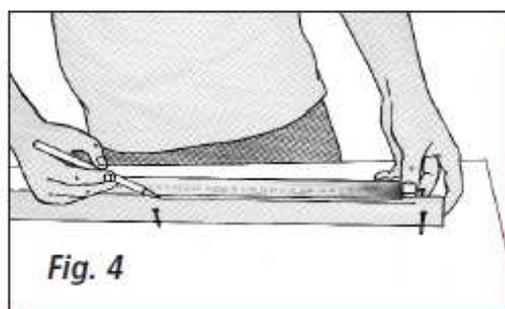
Para montar as placas do CSBC, veja os passos a seguir.

Traçado dos tubos de PVC marrom

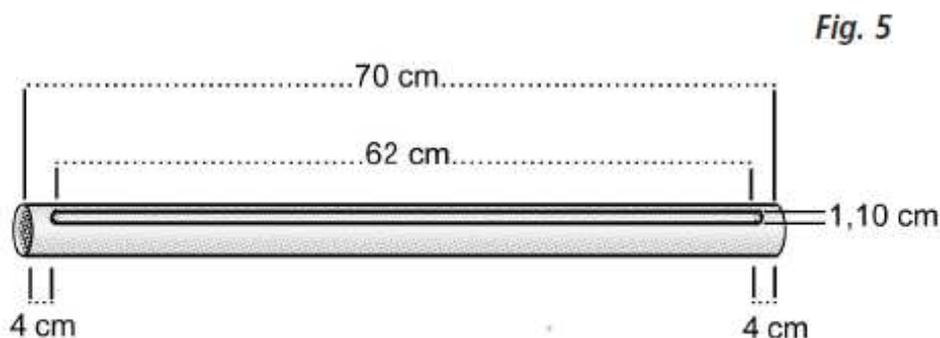
Os tubos de PVC devem ser cortados na medida, para encaixar as placas alveolares. Para isso será necessário medir e traçar a área a ser cortada.

Coloque o tubo de 70 cm sobre uma tábua ou superfície plana e rígida. Fixe-o colocando 6 pregos nas laterais como mostra a figura 4.

Usando uma régua e um lápis ou caneta hidrográfica, desenhe o pedaço a ser cortado, 62 cm de comprimento por 1,1 cm de largura (espessura da placa).



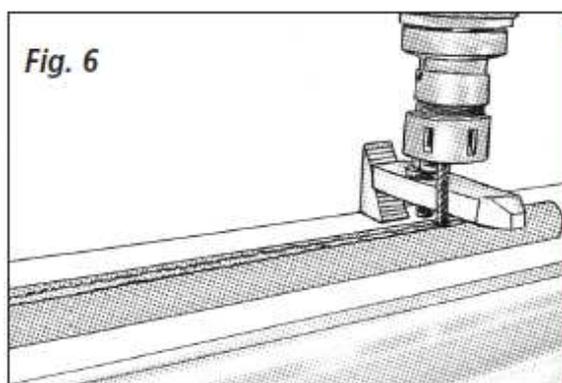
Esta área deve ser centralizada, deixando que as pontas do tubo estejam a 4 cm do corte (ver figuras 4 e 5).



Corte dos tubos de PVC marrom

Exemplos de três modos de fazer o corte ao longo do tubo de PVC, com:

1- Fresadeira (figura 6): fácil e rápido. Sugerimos o seu uso se possível, vai permitir um melhor acabamento do trabalho.



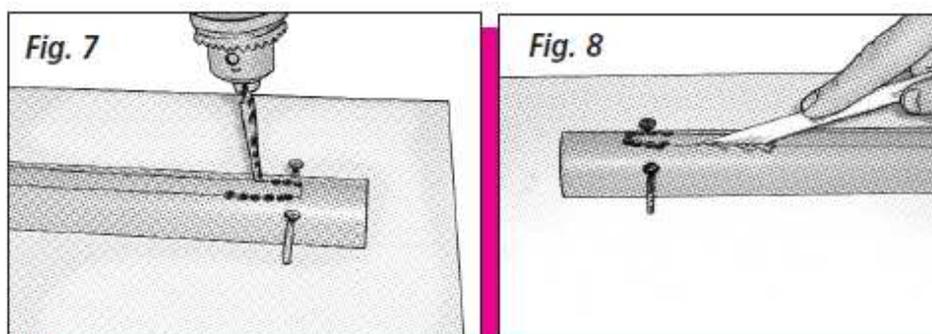
2- Ferro de solda: faça perfurações com o ferro quente na área demarcada.

Nos furos será introduzida a serra de extremidade livre. (figura 8).

3 - Furadeira: Com uma broca de 3 mm (aço), faça algumas perfurações (figura 7). Introduza a ponta da serra e inicie o corte, seguindo a marcação, até conseguir retirar uma tira do tubo (figura 8).

Cuidado para não fazer um corte fora das medidas.

Corte com furadeira e serra



Retire as asperezas do tubo cortado com uma lixa (figura 9 e 10).

Fig. 9

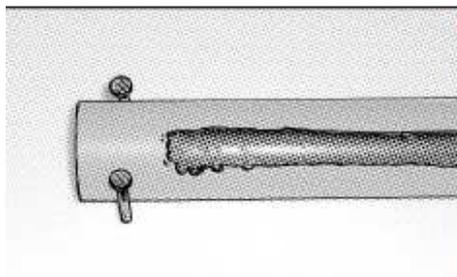
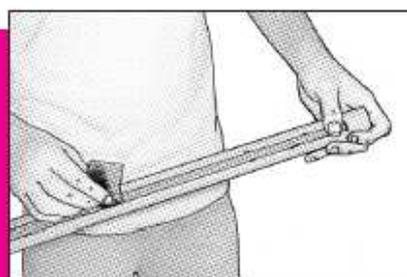
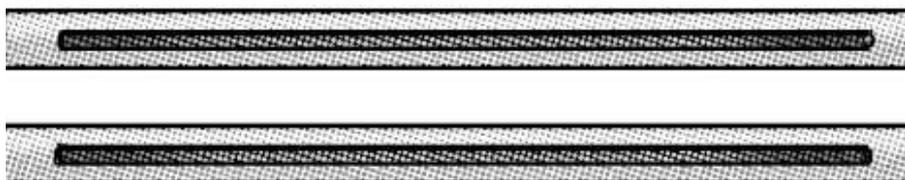


Fig. 10



O tubo cortado deve ficar assim: (figura 11).

Fig. 11

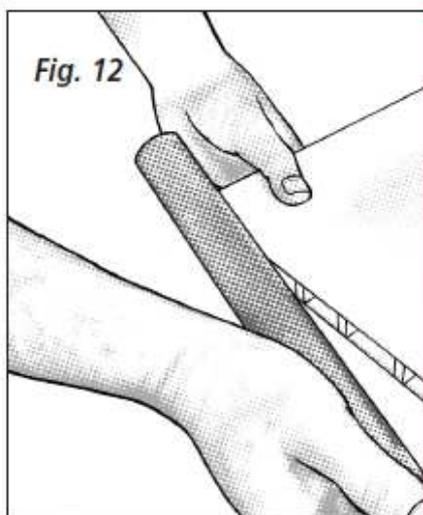


Repita a seqüência nos outros tubos (dois por placa) do CSBC.

Colando os tubos de PVC às placas alveolares

Antes de colar o tubo à placa é preciso encaixar corretamente as extremidades da placa no corte feito no tubo (figura 12).

Fig. 12



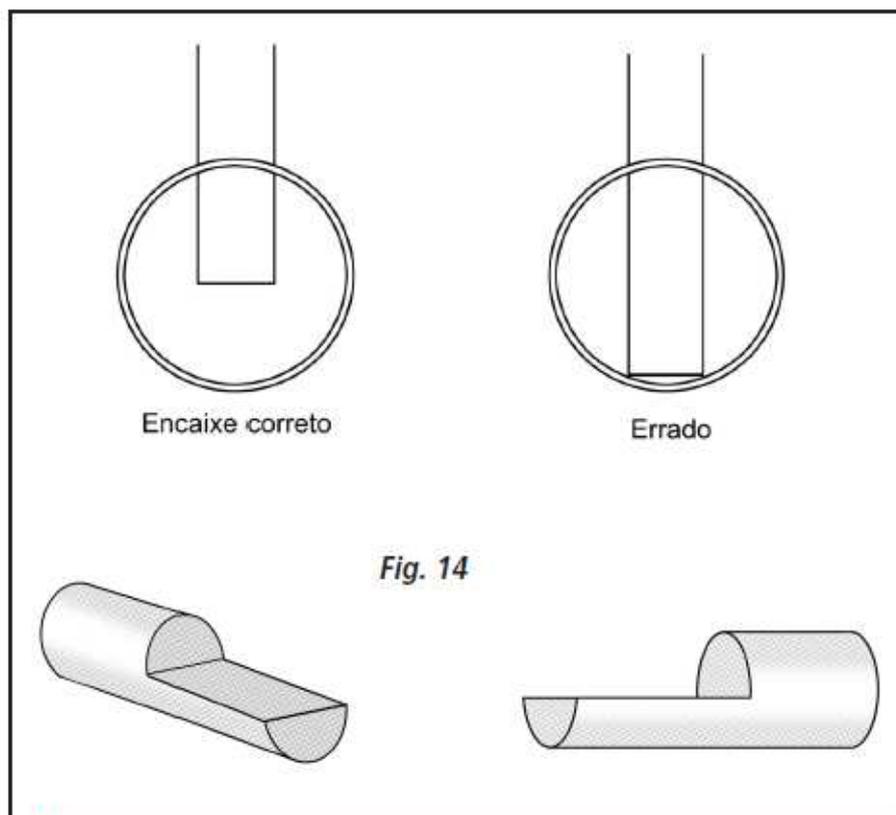
Atenção!

Deixar um espaço entre o tubo e a extremidade da placa antes de colar, evitando que a placa encoste no fundo do tubo, e obstrua o fluxo d'água.

Na figura 14, abaixo, o encaixe é correto.

O espaçamento entre tubo e placa é feito com gabaritos de madeira, com diâmetro um pouco menor que o do tubo, ver figuras 13 e 14.

Para colar a placa ao tubo, deixando o espaçamento, será necessário confeccionar gabaritos de madeira, que deverão ter um diâmetro um pouco menor que o do tubo.

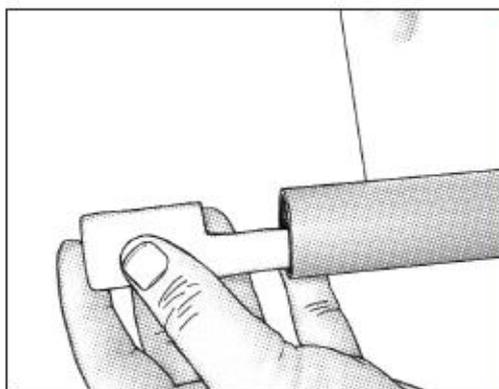
Fig. 13

Encaixe os gabaritos nas extremidades do tubo de PVC, como mostram as figuras 15, 16 e 17.

Os gabaritos devem ser retirados assim que a cola secar.

Como encaixar o gabarito

Fig. 15



Posição correta dos gabaritos

Fig. 16

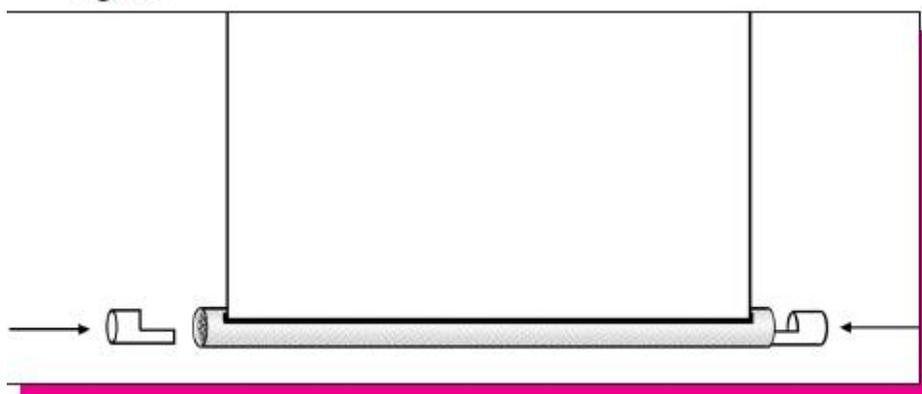
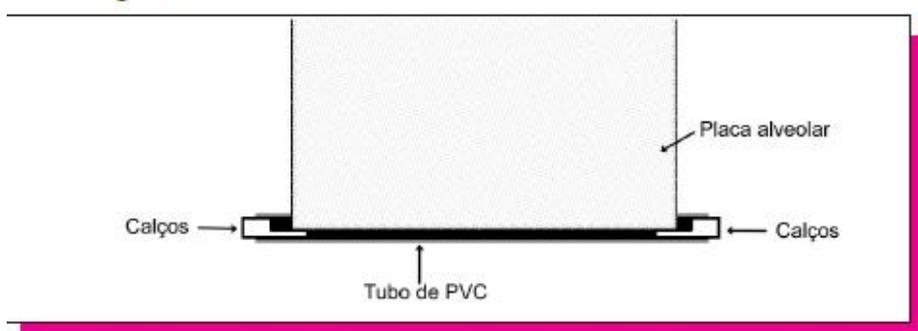


Fig. 17



Como colar a placa alveolar ao tubo de PVC

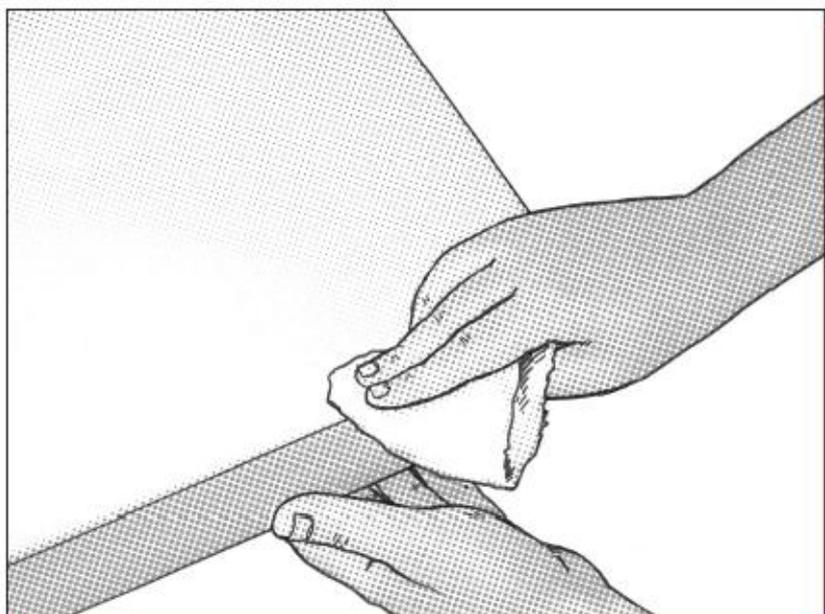
Antes de colar, limpe ambos os lados da extremidade de cada placa, onde será aplicada a cola, utilizando um pano umedecido com álcool ou solvente desengordurante para PVC (figura 18).

Atenção:

Após a limpeza, não toque mais com as mãos a superfície limpa.

Limpando a placa

Fig. 18



Demarcar a extremidade da placa, com fita adesiva tipo crepe, deixando uma largura de 10 mm onde será aplicada a cola conforme figura 19 e 20.

Lixar esta superfície, demarcada nas extremidades da placa (lixa d'água 600), para melhor aderência e resistência da junta colada.

A fita crepe delimita a área onde será aplicada a cola

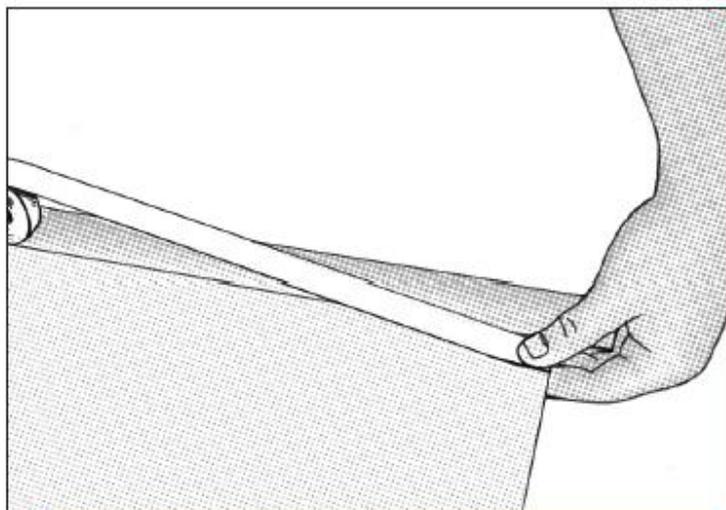


Fig. 19

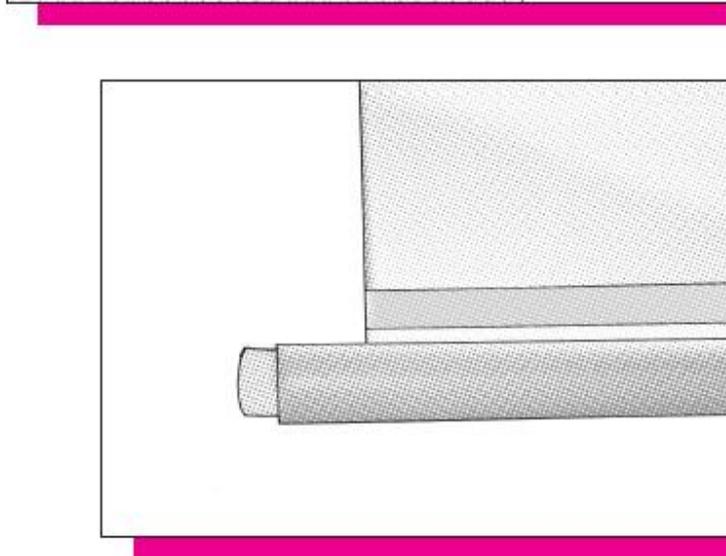
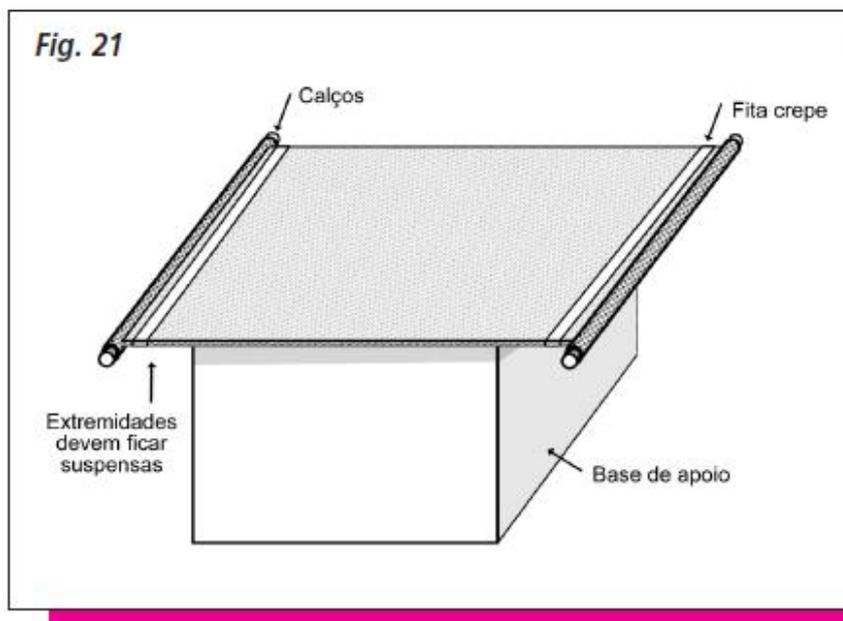


Fig. 20

Aplique a cola com uma espátula (de madeira – tipo picolé ou faca arredondada) ao longo da área de contato entre o tubo e a placa.

Trabalhar sobre uma superfície plana, deixando as extremidades da placa sem encostarem em nada, como mostra a figura 21.

Aplique a cola de um lado da placa, em ambas as extremidades e, após alguns minutos, vire-a e aplique do outro lado.



Recomenda-se colas ou adesivos do tipo bicomponente a base de Poliuretano (exemplo: KPO Brascoved), ou também a base de Metacrilato (exemplo: o Plexus 310). Siga as instruções do fabricante do adesivo para preparar a mistura (adesivo e endurecedor) e aguardar o tempo de cura total (em geral 24 horas).

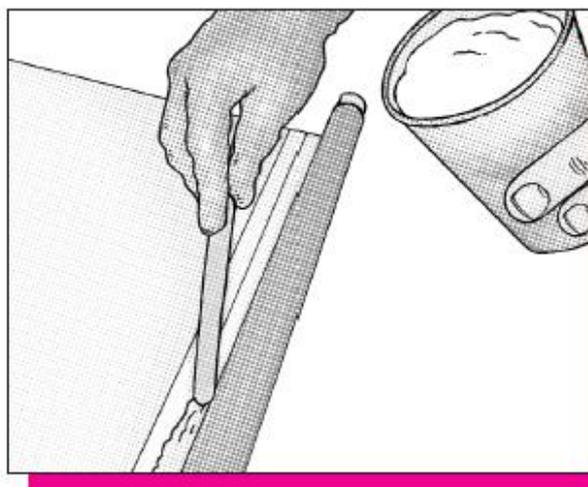


Fig. 22

Dica: Um palito de picolé pode ser usado como uma espátula improvisada. Figura 22.

Deixe a cola secar com a placa na horizontal. Aguarde o tempo de secagem de cada adesivo antes de pintar. É preciso verificar vazamentos ou imperfeições na área colada e, se necessário, efetuar retoques.

Verifique vazamentos tampando três das quatro extremidades dos tubos de entrada e saída de cada placa, com caps rosqueáveis e introduza água na extremidade aberta, conectando uma mangueira ou um tubo de PVC (tubo inteiro), com pelo menos 3 m de comprimento na vertical para obter pressão.

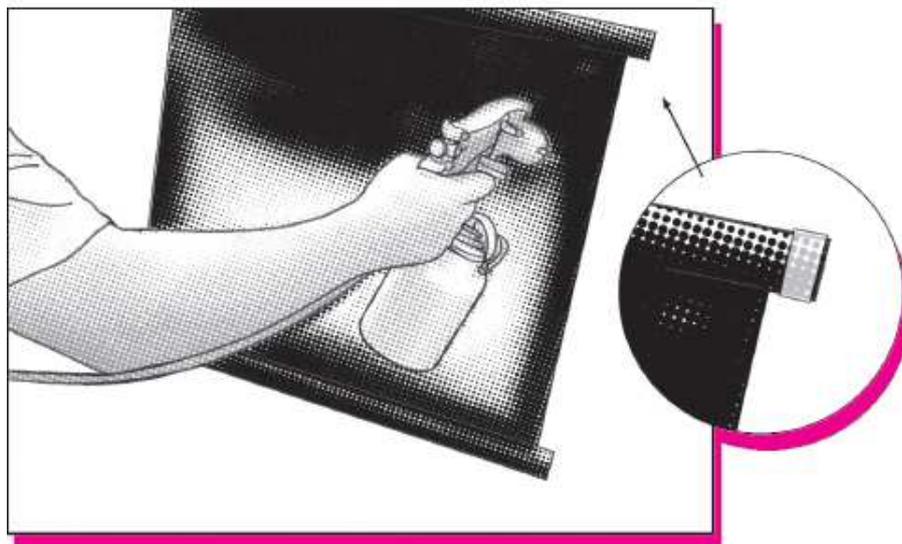
Chegou a hora de pintar as placas do CSBC!

Antes de pintar a placa do coletor, lixe suavemente toda a face a ser pintada

Limpe novamente a superfície da placa antes de aplicar a tinta.

Pintura com pistola.

Fig. 23



Proteger com fita crepe as extremidades dos tubos colados nas placas para não prejudicar o encaixe das conexões.

Use esmalte sintético preto fosco para cobrir o lado superior da placa, com pistola, rolinho ou pincel. Se necessário, dê uma segunda demão de tinta. Deixe secar o tempo suficiente.

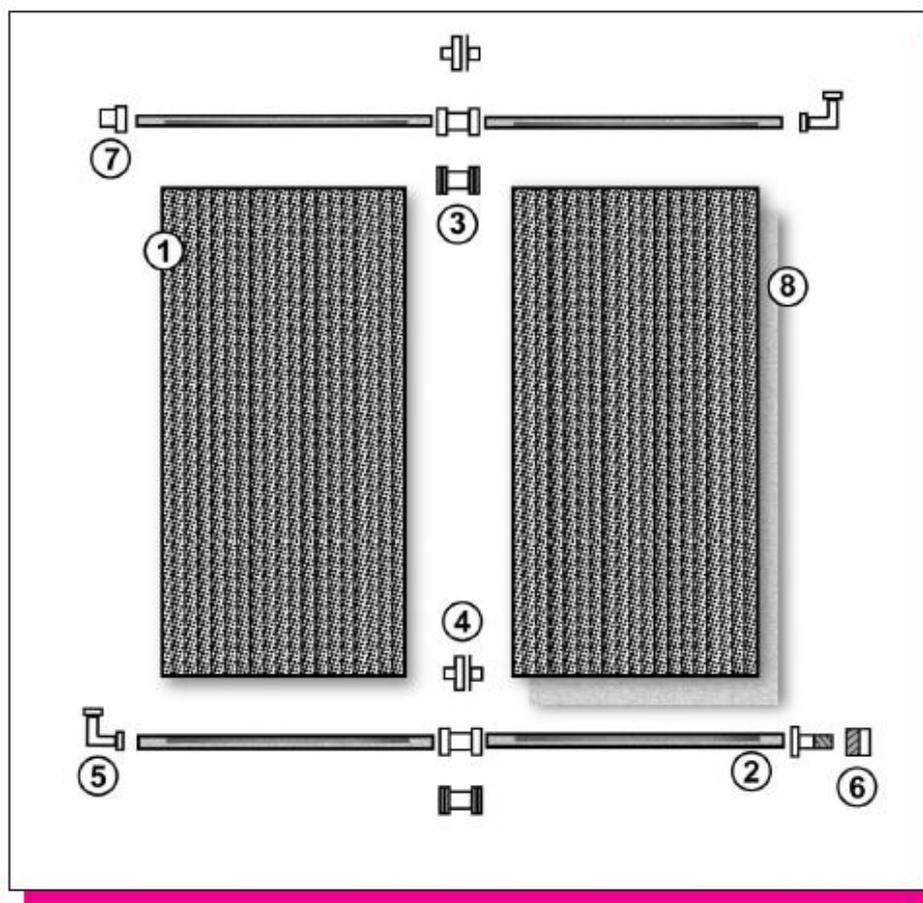
O próximo passo é a montagem das peças do CSBC.



Atenção: Nunca deixe as placas expostas ao Sol, sem água no seu interior, pois poderão ficar danificadas.



Fig. 24



- 1: Placa de forro alveolar de PVC, coletor plano.
- 2: Duto de PVC.
- 3: Luva soldável de PVC para unir os coletores ou opção 4.
- 4: Adaptador de PVC com Cap rosqueável, alternativa para unir os coletores.
- 5: Joelho de 90° de PVC para unir os dutos aos coletores.
- 6: Cap de PVC com rosca no duto inferior para saída de água na manutenção.

- 7: Cap de PVC para vedar o duto superior do coletor.
- 8: Placa de EPS (poliestireno expandido, Isopor) para isolamento térmico (opcional).

OBS.: Lembrar, quando necessário, de:

- a) usar fita veda-rosca nas junções;
- b) usar um par de grifos para apertar com cuidado as conexões rosqueáveis, não forçando os dutos colados no coletor.

Preparação do reservatório de água

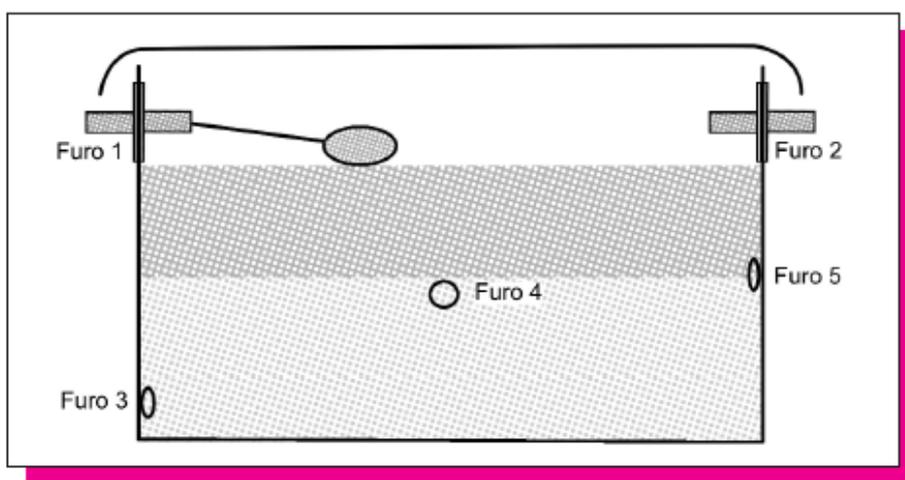
O reservatório ou caixa d'água pode ser de concreto, fibro-cimento, PVC ou PEAD.

Faça cinco furos na caixa d'água, furando de acordo com as normas do fabricante da caixa. Dependendo do material poderá ser usada um tipo de ferramenta diferente para fazer os furos. Em todos os furos será necessário colocar um adaptador soldável com flanges.

A água aquecida e a fria ficam no mesmo compartimento. Sem agitação, elas não se misturam porque a água quente, com menor densidade, tende a subir e a fria a descer. (figura 25).

Perfurações do reservatório.

Fig. 25



Furo 1: Entrada da água fria da rua.

Furo 2: Ladrão.

Faça os dois furos superiores (1 e 2), opostos um ao outro, nas paredes do reservatório.

Aconselha-se deixar o centro dos furos a 8 cm da borda superior da caixa para obter maior volume de água.

No furo do lado esquerdo,(1), instalar a torneira de bóia e o redutor de turbulência. No furo da direita (2), colocar uma flange de 25 mm, com rosca, para o "ladrão".

Furo 3: Saída da água fria para as placas do CSBC. Deixe o centro do furo a 5 cm acima do fundo da caixa d'água.

Furo 4: Saída da água quente para o chuveiro. Neste furo será instalado o pescador. O centro do furo (4) pode ficar na metade da altura da caixa.

Furo 5: Entrada da água quente proveniente das placas do CSBC.



MANTENHA
A CAIXA D'ÁGUA SEMPRE
TAMPADA PARA EVITAR
SUJEIRA E A PROLIFERAÇÃO
DO MOSQUITO DA DENGUE.
NÃO SE ESQUEÇA DE
AMARRAR A TAMPA!

Instalação do reservatório

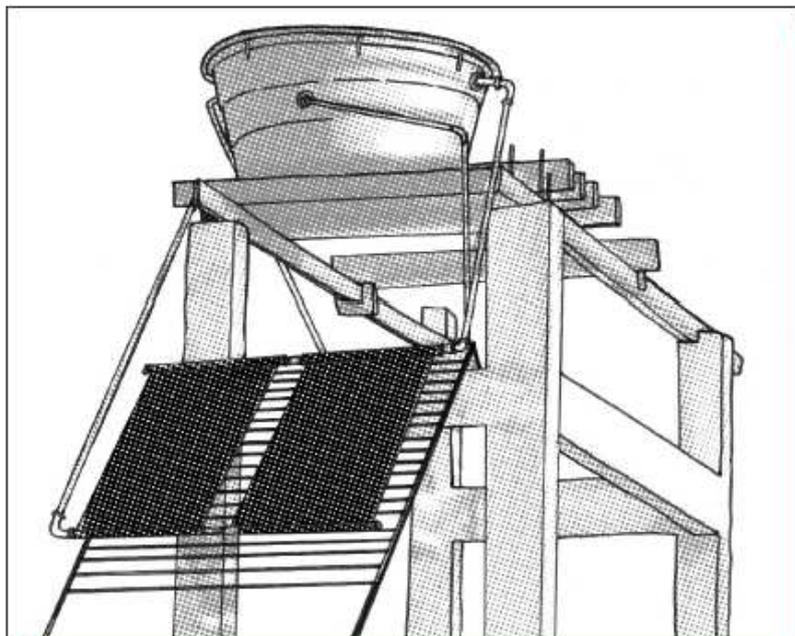
Considerar os seguintes detalhes:

1 – Localização em relação ao chuveiro: Deve ficar próximo a este para facilitar a instalação da tubulação.

2 – Altura em relação às placas: O reservatório deve estar a menos de 5 m de altura do CSBC, ver exemplo da figura 26.

Reservatório do CSBC instalado

Fig. 26



Componentes auxiliares

Redutor de turbulência: Essa peça, feita de tubos e conexões, (figura 27), distribui o fluxo de água entrando na caixa, proveniente da rua, diminuindo a sua agitação para evitar a mistura entre as águas fria e quente.

Redutor de turbulência

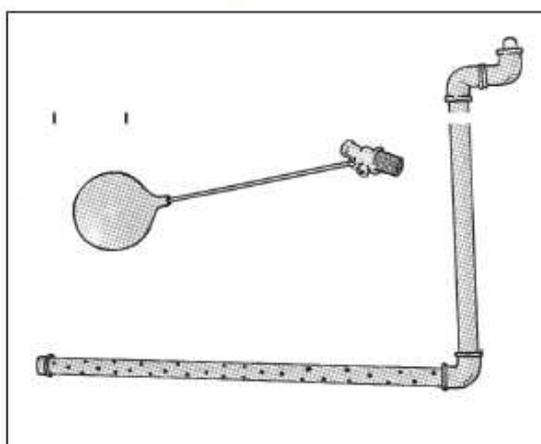


Fig. 27

O redutor pode ser feito de diferentes modos, neste exemplo mostramos um modelo com dois tubos de PVC (3/4" ou 19 mm de diâmetro): um na vertical conectado ao tubo do registro da bóia, e uma extensão de tubo na horizontal (cerca 40 cm).

O comprimento vertical deve deixar o tubo a 1 cm do fundo da caixa (figura 28).

O tubo horizontal tem vários furos (feitos com furadeira, broca de 8 mm, ou ferro de solda), alternados de 2 a 3 cm (figura 27), cuidar para não fragilizar o tubo. É necessário vedar, com um cap, o final do tubo horizontal.

Atenção para não haver problemas com diferenças de diâmetro entre os canos de cada conexão.

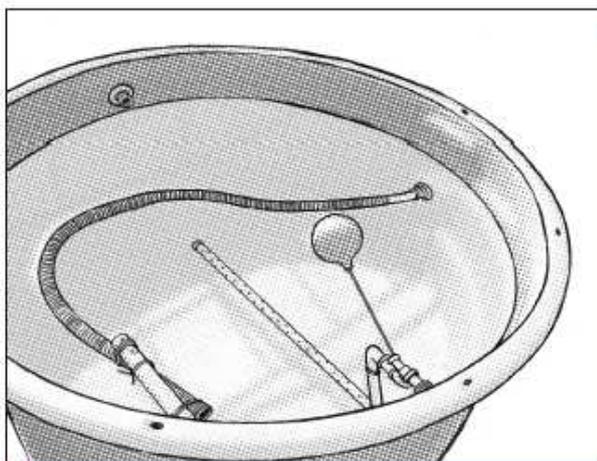


Fig. 28

Reservatório de água quente

Pescador: Essa tubulação capta a água quente para o chuveiro.

É indispensável para o bom funcionamento.

O conjunto do "pescador" é formado por um eletroduto flexível, em geral amarelo, e um flutuador que mantém a "boca" do tubo na superfície da água (figura 29).

É conectado no furo 4 da caixa d'água (ver figura 25 da página 17) para levar a água quente da parte superior da caixa ao chuveiro.

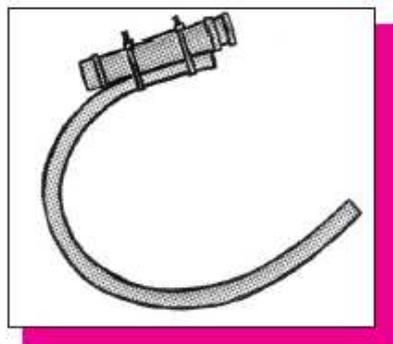


Fig. 29

Pescador

O flutuador pode ser feito com sobras de tubo de PVC, ou qualquer outro elemento que flutue, como uma garrafinha PET, bóia, etc.

Instalação das placas do CSBC

É preciso considerar 3 aspectos importantes:

- 1 – Posição da placa em relação ao Sol.
- 2 – Inclinação (definida pela latitude da região onde será instalado o Coletor).
- 3 – Inclinação lateral.

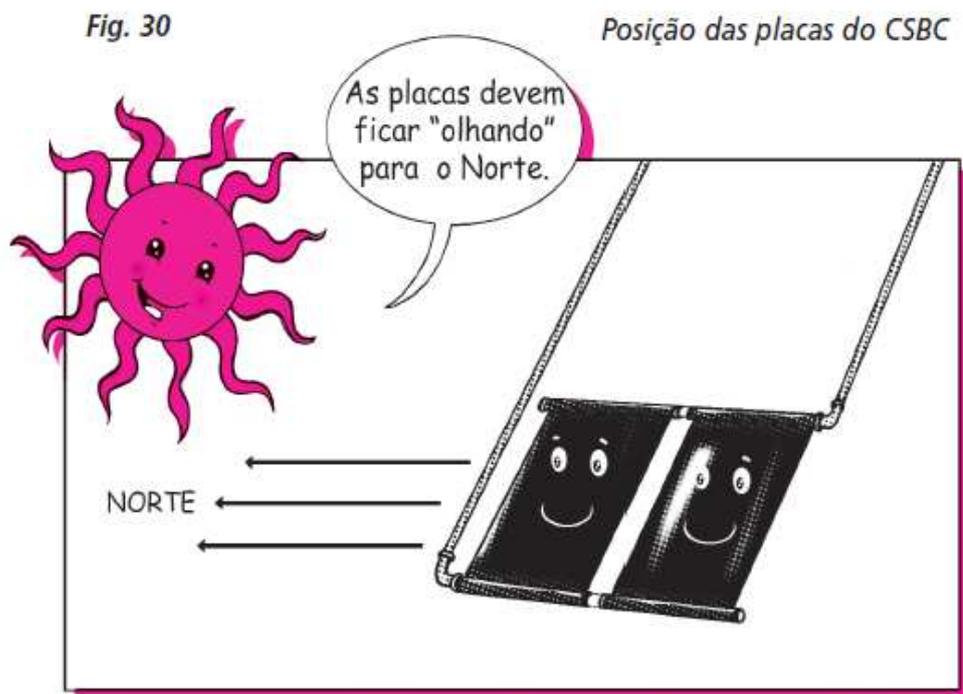


1 – Escolha o local corretamente posicionado em relação ao Sol

Definir os pontos cardeais é muito importante para instalar as placas do Coletor, para aproveitar a energia solar ao longo do dia.

As placas do CSBC devem estar de frente para o Norte (figura 30), permitindo aproveitar o sol o dia todo.

A maneira mais fácil de conhecer os pontos cardeais é ficar de frente para onde nasce o sol, que é o Leste. À sua direita estará o Sul, à esquerda o Norte e atrás o Oeste.



2 – Inclinação das placas

O suporte do CSBC ou o próprio Coletor deve ter um ângulo de inclinação em relação à horizontal = LATITUDE LOCAL + 10°.

No caso de Campinas: $22,9^{\circ} + 10^{\circ} = 32,9^{\circ}$
(inclinação "a" na Figura 32).

Obs.: O símbolo ° significa GRAU.

Veja a seguir como inclinar seu CSBC:

A: altura da parte superior do CSBC;
B: comprimento da projeção do CSBC.
 $A/B = \text{Tan. } \hat{\text{ângulo}}$

Para a região de Campinas (ângulo de aproximadamente 33°)

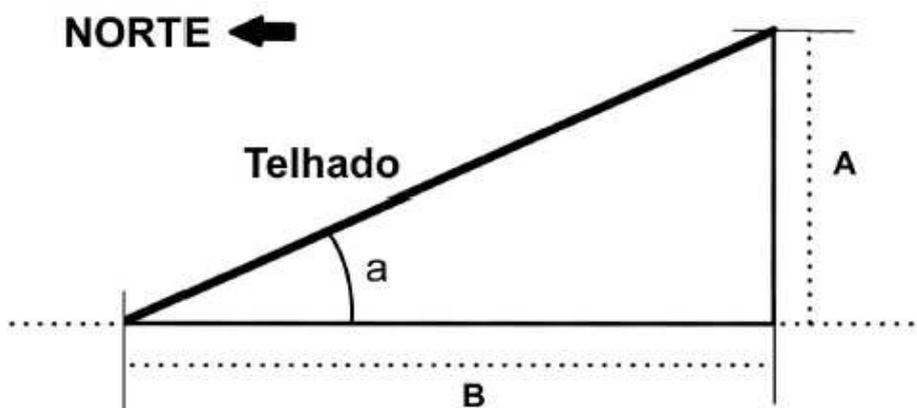
Tem-se: $A/B = 0,65$ Ou seja: $A = 0,65 B$

Assim, para uma placa do CSBC com 1,2 m de comprimento:

B mede= 1 m na horizontal e, então, temos que deixar a altura A do CSBC em= 0,65 m

Estas dimensões estabelecem a inclinação que deve ser considerada para o CSBC (Figura 31), na região de Campinas.

Fig. 31





Caso não consiga localizar a latitude de sua região entre em contato, pelo endereço e/ou telefone, localizado na página 29. Fornecemos esses dados e outros esclarecimentos gratuitamente.

3 – Inclinação lateral

As placas do CSBC precisam de uma inclinação lateral, que eleve um pouco a conexão superior na saída de água quente, para não reter possíveis bolhas de ar (risco de bloqueio do fluxo d' água).

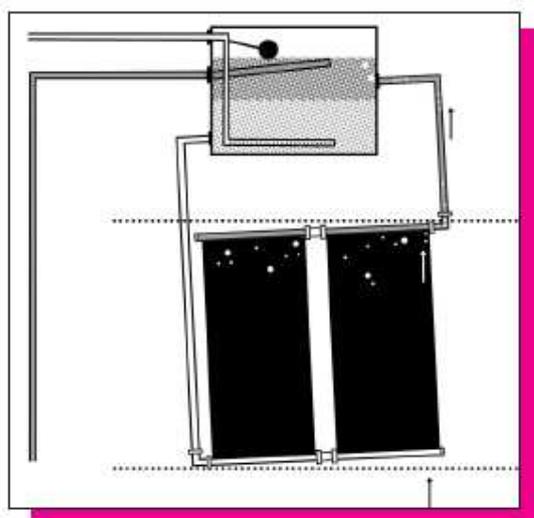


Fig. 32

Medir a largura do conjunto de placas. Para cada 1 m de placa, 2 cm de elevação lateral são suficientes para eliminar as bolhas de ar na tubulação.

Suporte do CSBC

Existem várias formas de instalar as placas do CSBC: diretamente no telhado da casa, com algumas adaptações para a inclinação desejada ou, no caso de uma laje, é necessário um suporte metálico ou outro material resistente. Veja na Figura 33 e 34 alguns exemplos de suporte. O suporte ficará exposto às mudanças climáticas e deve ser feito em material resistente ao Sol, chuva e vento. Caso o suporte seja em madeira, esta deverá ser tratada (tinta, verniz náutico, etc.).

Nos casos em que o dorso do CSBC estiver exposto a ventilação, pode ser necessário colocar um isolante térmico (o vento pode esfriar a água), como uma placa de isopor, colada na parte inferior da placa do CSBC.

Não esqueça que o suporte deve ter a inclinação definida pela latitude da região onde será instalado o CSBC.

Suporte de madeira

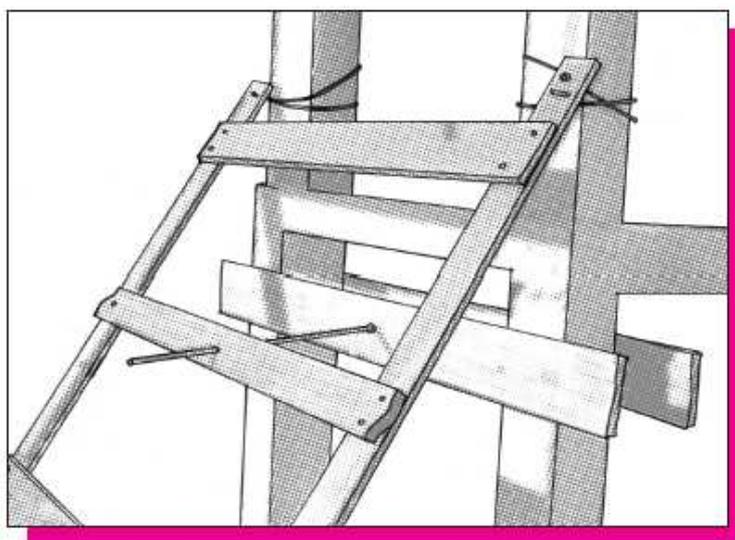
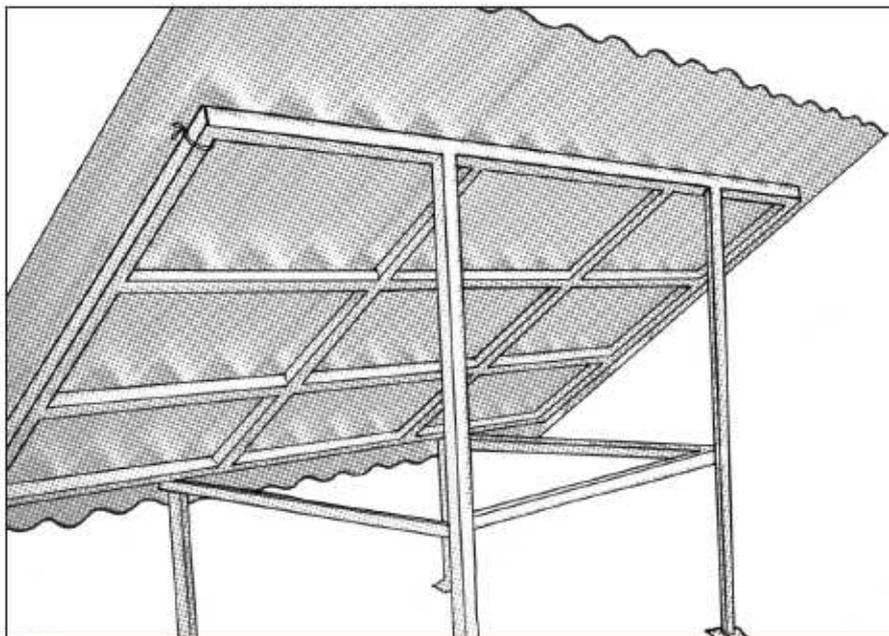


Fig. 33

Suporte metálico

Fig. 34



Atenção para o peso da estrutura metálica!
Verifique se as condições do local são adequadas antes da instalação.

Conectando as placas do Coletor ao reservatório ou caixa d'água

Na instalação das placas do CSBC ao reservatório deve-se medir e cortar os tubos nas dimensões adequadas. Use uma trena e meça no mesmo local de instalação do CSBC.

Observe que as saídas do reservatório são protegidas por nips, somente devem ser removidos caso o CSBC esteja pronto. Isso só deve ser feito depois que todos os passos desta sessão tiverem sido seguidos.

Conectar o tubo que sai do furo 3 (saída da água fria da caixa) com o joelho inferior da placa do CSBC (entrada de água fria no coletor), veja figura 25 na página 17.

Então, conecte o tubo de retorno de água quente, que sai do joelho superior da placa do CSBC, ao furo 5 do reservatório, por meio de um adaptador com flange.

Manutenção: se necessário, a cada 12 meses faça a limpeza da poeira acumulada na placa, lavando com água. Verificar se existem vazamentos nas conexões e juntas placa-tubo, estado da pintura das placas e limpeza interna do reservatório de água quente.

Instalando o chuveiro

1) O chuveiro elétrico pode ser instalado de modo usual, isto é, diretamente no tubo de saída da água quente da caixa d'água, conectada ao CSBC. Mas, não há um controle de temperatura da água e pode ser um inconveniente quando a água está muito quente ou quando deseja-se uma ducha fria.

2) A opção, mais interessante, seria instalar um misturador de água quente e fria no chuveiro, como mostram as figuras 35 e 36. É um registro ou torneira metálica, como um "T", para misturar a água quente e fria no chuveiro. Assim, há um controle sobre a água quente misturada com a fria. A água fria pode ser da caixa d'água compartilhada com o CSBC (captação na região de água fria) ou de uma segunda caixa d'água exclusiva para água fria ou, ainda, diretamente da rua.

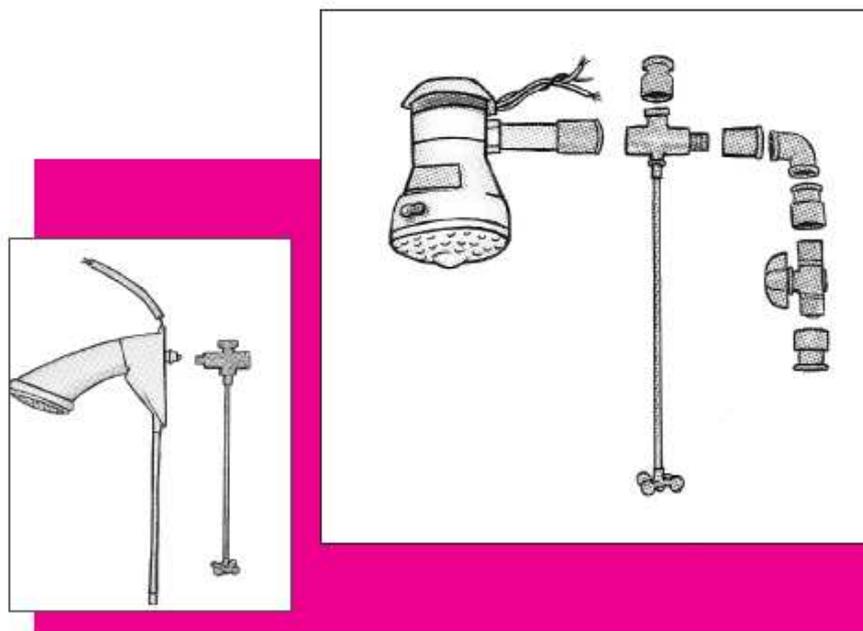
3) Em residências com duas tubulações de água já existentes na parede, onde está o chuveiro, é possível destinar uma para a água fria e a outra para a água quente proveniente do CSBC.

Observação:

Existem chuveiros elétricos com ajuste gradual da temperatura da água. Esta alternativa é útil quando a temperatura da água do CSBC não está quente o suficiente.

Fig. 35 e 36

Misturador e chuveiro



Assim, permitiria usar o chuveiro elétrico de modo mais econômico do que os chuveiros simples (com apenas 3 estágios de temperatura da água: frio, verão e inverno). Deve-se, contudo, considerar o custo-benefício, pois estes chuveiros são mais caros e potência elétrica superior.

Se possível, deixe uma altura adequada entre o chuveiro e a caixa d'água para obter uma ducha forte (pressão da água).



Dúvidas e/ou sugestões: Marcar visita técnica

Escreva para:

Departamento de Tecnologia de Polímeros (DTP) da Faculdade de Engenharia Química (FEQ) da UNICAMP.

Rua Albert Einstein, nº500 – Cidade Universitária

Caixa Postal 6066 – CEP 13.083-970 – Campinas – SP.

Telefones: 19 3521-3907 e telefax: 19 3521-3938

coletorsolar@feq.unicamp.br

Alguns sites interessantes para consulta

Coletor Solar de Baixo Custo – “Sole Mio”: <http://www.csbc.iv.fapesp.br>

Faculdade de Eng. Química (FEQ)/Unicamp: <http://www.feq.unicamp.br>

Propeq (Empresa Junior da FEQ): www.propeq.com

Petrobrás (Espaço Conhecer): <http://www2.petrobras.com.br>

EspacoConhecer/EnergiasRenovaveis/Energiasolarfotovoltaica.asp

Sociedade do Sol (ONG): <http://www.sociedadedosol.org.br>

Desenvolvimento e Meio Ambiente (ONG:) www.vitaecivilis.org.br

Green Solar (Centro Brasileiro para Desenvolvimento da Energia

Solar Térmica): <http://www.green.pucminas.br>

Laboratório de Energia Solar /UFRGS: <http://www.solar.ufrgs.br>

Laboratório de Energia Solar /UFSC: <http://www.lepten.ufsc.br>

PROCEL: <http://www.eletrabras.com/elb/procel/main.asp>

Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito:

<http://www.cresesb.cepel.br>

Agradecimentos:

À CAPES, CNPq, Fapesp, Extcamp e GGBS.

Aos Profs. Dr. Milton Mori, Osvaldir Taranto Pereira, José Tomas Vieira Pereira, Edson Thomaz, Antonio Carlos Luz Lisboa, Martin Aznar, João Sinézio de Carvalho Campos, Jurandir Luzzo (Cepagri), Marco Aurelio de Paoli, Lucia I. Mei, Wagner dos Santos Oliveira.

À Profa. Dra. Elizabeth Pereira e seus colaboradores, Lab. GreenSolar – PUC Belo Horizonte.

Aos funcionários da FEQ: Sr. Valdemir, Daniel, Edgar, Alexandre, Silvana, Maria Teresa, Disney.

Aos colegas da Unicamp: Jane Tassinari Fantinelli, Marco Antonio Netzel, Noe Benjamim Pampa, Virginia Giacon, Ângela Costela, Allan Caro Mercado, Denise Furigo, Giovana Padilha, Tatiane Faria, Aileen Fowler, Vanina M. Corasolla.

Aos funcionários da Unicamp: Rose Meire da Silva (BAE), Sr. Carmo Gallo (Assessoria de Imprensa), Edilene (Cepagri).

Ao Eng. Augustin Woelz (Sociedade do Sol), Isabel Carballo e Natalia Forcat,

Sr. Mergulhão e Sr. Zaballa (Confibra), Dona Didi e Sr. Laércio (Casa Bom Pastor).

Histórico do CSBC

Os primeiros protótipos dos atuais CSBC foram idealizados por Julio Roberto Bartoli coordenador do projeto de viabilidade técnica-econômica: *Aquecedores solares de baixo custo*, *PIPE/Fapesp* 99/06335-5 (12/1999-08/2000), no **Centro de Incubação Tecnológica CIETEC-IPEN-USP**, quando pesquisador no **Depto. de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Escola Politécnica da USP**.

Colaboraram com destaque nesse projeto: Alexandre M. Andrade e Hugo D. Chirinos. A empresa *Sunpower* (gerida por Augustin Woelz), co-parceira neste *PIPE*, foi depois convertida na **ONG Sociedade do Sol** com o propósito de difundir essa tecnologia social (11/2001).

A importância da energia solar, como fonte alternativa de energia para aquecimento de água, é facilmente entendida pelo consumo de energia elétrica residencial: cerca de 25% do mercado. O chuveiro elétrico representa de 20% a 35% do gasto nas residências (*Procel*, 2005); isto é, um consumo de até 9% do total da energia elétrica no país.

A idéia deste coletor solar de baixo custo veio do uso diferenciado de placas modulares de PVC, geralmente usadas como forro na construção civil. O CSBC é relativamente barato, cerca de R\$ 300,00 (coletor de 2 m² para 310 litros), e dispensa a cobertura transparente. Aquece a água até 50°C pelo princípio físico "termosifão". É de simples construção. Desperta interesse junto à população de baixa renda, e na classe média, como alternativa ao chuveiro elétrico.

Em 2004 este trabalho foi, também, apresentado no congresso internacional sobre fontes de energia

renováveis "Int. Conference on Renewable Resources and Renewable Energy: A Global Challenge" no **International Centre for Science and High Technology /Unido** (Trieste, junho/2004).

Em maio de 2004, a empresa Junior da **FEQ/UNICAMP, PROPEQ/ Projetos Sociais** (Valdir Assis Jr.), desejava desenvolver um projeto de coletor solar barato. Foi uma boa oportunidade para voltar a trabalhar, agora no **Depto. de Tecnologia de Polímeros/ FEQ/UNICAMP**, no coletor solar de baixo custo desenvolvido no *PIPE* e que necessitava de um estudo complementar sobre sua eficiência térmica. As pesquisas com os CSBC são tema de doutorado de Renato César Pereira e, também, foram temas de Iniciação Científica (*PIBIC*): Robson Takao, Samuel Mello e Matheus de Rossi Carminatti.

Vários protótipos foram construídos para testes, instalados no campus da **FEQ** e em instituições na região de Campinas (*Casa Bom Pastor e Associação Carisma*). Realizaram-se ensaios de eficiência térmica dos CSBC, conforme norma **ABNT**, no **Centro Brasileiro para Desenvolvimento da Energia Solar Térmica, PUC-Belo Horizonte**.

Os resultados foram muito satisfatórios: mediu-se uma eficiência média de 33% e eficiência máxima de 67% (*sem vento*), em geral um coletor tradicional tem 70%. As pesquisas em nosso grupo prosseguem no estudo da durabilidade e qualidade destes **SBC**. O projeto foi premiado, em 2005, pela **Fundação Banco do Brasil/Petrobrás/Unesco** como *Tecnologia Social Certificada*.

JRB