

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Rafael Roberto Rossetto

**DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA DE AQUECIMENTO
SOLAR PARA BANHO EM CONTÊINER DE
INSTALAÇÕES PROVISÓRIAS DE OBRA**

Porto Alegre
junho 2014

RAFAEL ROBERTO ROSSETTO

**DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA DE AQUECIMENTO
SOLAR PARA BANHO EM CONTÊINER DE
INSTALAÇÕES PROVISÓRIAS DE OBRA**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de
Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal
do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do
título de Engenheiro Civil

Orientador: Dieter Wartchow
Coorientador: Paulo Smith Schneider

Porto Alegre
junho 2014

RAFAEL ROBERTO ROSSETTO

**DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA DE AQUECIMENTO
SOLAR PARA BANHO EM CONTÊINER DE
INSTALAÇÕES PROVISÓRIAS DE OBRA**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, junho de 2014

Prof. Dieter Wartchow
Dr. pela Universidade de *Stuttgart*,
Alemanha
Orientador

Prof. Paulo Smith Schneider
Dr. pelo *Institut National des Sciences
Appliquées de Lyon*, França
Coorientador

Profa. Carin Maria Schmitt
Dra. pelo PPGA/UFRGS
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Prof. Felipe Krüger Leal (UFRGS)
Me. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Miguel Aloysio Sattler (UFRGS)
PhD. pela *University of Liverpool*, Inglaterra

Prof. Dieter Wartchow (UFRGS)
Dr. pela Universidade de *Stuttgart*, Alemanha

Dedico este trabalho a meus pais, Paulo e Elaine,
e a minha irmã, Patrícia, que sempre me apoiaram e,
especialmente durante o período do meu
Curso de Graduação, estiveram ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Paulo Roberto Rossetto e Elaine Fátima Fardo Rossetto, e minha irmã, Patrícia Rossetto, por me apoiarem incondicionalmente em todos os momentos e, com muito amor, me ensinarem a ter forças para atingir meus objetivos.

Agradeço ao Prof. Dieter Wartchow, orientador deste trabalho, pelo contínuo acompanhamento, motivação, desejo de auxiliar a todo momento, e ao mesmo tempo, aprender ainda mais sobre o tema.

Agradeço ao Prof. Paulo Smith Schneider, coorientador deste trabalho, pelas ilustres conversas debatendo o tema. Seus conhecimentos técnicos e recomendações foram primordiais para que este trabalho tivesse forma.

Agradeço à Profa. Carin Maria Schmitt, coordenadora das disciplinas Trabalho de Diplomação em Engenharia Civil I e II, pela sua dedicação despendida e pelas críticas e sugestões que me auxiliaram no desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço aos meus amigos que, desde o princípio, me proporcionaram alegrias, incentivaram e me apoiaram a pesquisar e escrever este trabalho.

Aprender é a única coisa de que a mente nunca se cansa,
nunca tem medo e nunca se arrepende.

Leonardo Da Vinci

RESUMO

O presente trabalho é uma proposta de um produto diferenciado, capaz de reduzir as despesas em energia elétrica nas obras e aumentar a contribuição ambiental das mesmas. A proposta se trata de um contêiner para instalações provisórias de obra, dotado de sistema de aquecimento solar para aquecimento de água para banho dos funcionários. Para isso, se adota uma obra no município de Porto Alegre e se dimensiona o contêiner com sistema de aquecimento solar para o número de funcionários da mesma. Assim sendo, se utiliza das normas NBR 7.198, NBR 12.284 e NBR 15.569, assim como de manuais e especificações técnicas. Para este dimensionamento se opta por um coletor solar classificado como Classe A em aferição do Inmetro. Por conseguinte, se calcula o volume de água consumido, o volume do sistema de armazenamento, a demanda de energia, a energia útil, a área coletora, o fator de correção para inclinação e orientação do coletor solar, assim como a produção média diária de energia específica do coletor solar. Conforme a Norma de dimensionamento, se assegura que o aquecimento de água se dá em 70% do tempo apenas com a utilização da energia proveniente do sistema solar. Verifica-se que é possível fazer a instalação de todo o sistema de aquecimento solar sobre o contêiner, já que a área absorvedora calculada é de 12,5 m². Com este resultado do dimensionamento, se faz um estudo de viabilidade econômica da instalação do sistema. Para isso, se faz um fluxo de caixa dos gastos e economias esperados e se utiliza os métodos de engenharia econômica de *Payback*, Valor Presente Líquido e Taxa Interna de Retorno para encontrar o tempo de recuperação do investimento, o valor descapitalizado ao instante do investimento e a taxa de atratividade do investimento durante o período de vida útil dos equipamentos. Desta análise, resulta um tempo de retorno de investimento e Valor Presente Líquido positivo em 3 anos e 3 meses. No mesmo período de tempo, a Taxa Interna de Retorno é maior do que a taxa de juros e chega a atingir 39%, em longo prazo. O estudo de sensibilidade mostra que o retorno financeiro se mostra ainda melhor com o iminente aumento dos custos da energia elétrica, assim como com menores taxas de juros e inflação do País.

Palavras-chave: Aquecimento de Água por Sistema Solar Térmico. Banho. Contêiner para Instalações Provisórias de Obra. Dimensionamento de Sistema de Aquecimento Solar. Viabilidade Econômica.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama das Etapas do Dimensionamento	19
Figura 2 – Evolução do mercado brasileiro de aquecedores solares	23
Figura 3 – Capacidade total instalada (MW_t) de coletores planos e de tubos de vácuo por 1000 habitantes, no ano de 2009	25
Figura 4 – Fonte de energia utilizada para aquecimento de água para banho	26
Figura 5 – Circulação natural – Termossifão	30
Figura 6 – Rendimento das diversas tecnologias coletoras	32
Figura 7 – Capacidade total instalada (MW_t) de coletores, nos 10 principais países, no ano de 2009	32
Figura 8 – Distinção entre o circuito primário e o circuito secundário do SAS.....	36
Figura 9 – Exemplo de sifão 1	38
Figura 10 – Exemplo de sifão 2	38
Figura 11 – Orientação geográfica dos coletores	39
Figura 12 – Ângulo de inclinação dos coletores	39
Figura 13 – Representação gráfica de um fluxo de caixa.....	44
Figura 14 – Modelo de disposição interna de contêiner para instalação provisória de obra.....	47
Figura 15 – Esquema da solução proposta	51

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Identificação das partes do Sistema de Aquecimento Solar de circulação natural	30
Quadro 2 – Dados de entrada nas equações para dimensionamento do SAS	50
Quadro 3 – Resultados do dimensionamento do SAS	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Fluxo de caixa financeiro com a utilização do SAS	54
Tabela 2 – Custos e retornos financeiros da utilização do SAS	55
Tabela 3 – Custos e retornos financeiros com aumento de 12% no custo da energia elétrica	56
Tabela 4 – Custos e retornos financeiros com aumento no custo da energia elétrica, redução da inflação e taxa de juros	57

LISTA DE SIGLAS

ABRAVA – Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento

Aneel – Agência Nacional de Energia Elétrica

CEEE – Companhia Estadual de Energia Elétrica

Copom – Comitê de Política Monetária

Deciv – Departamento de Engenharia Civil

EE – Escola de Engenharia

Eletrobras – Centrais Elétricas Brasileiras SA

IEA – *International Energy Agency*

Inmetro – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

IPCA – Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo

NBR – Norma Brasileira

PMDEE – Produção Média Diária de Energia Específica

REN21 – *Renewable Energy Policy Network for the 21st Century*

SAS – Sistema de Aquecimento Solar

Selic – Sistema Especial de Liquidação e de Custódia

SHC – *Solar Heating and Cooling Program*

TIR – Taxa Interna de Retorno

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

VPL – Valor Presente Líquido

LISTA DE SÍMBOLOS

$V_{consumo}$ – volume do sistema de armazenamento do SAS, expresso em metros cúbicos (m^3)

Q_{pu} – vazão da peça de utilização, expressa em metros cúbicos por segundo (m^3/s)

T_u – tempo médio de uso diário da peça de utilização, expresso em segundos (s)

V_{armaz} – volume do sistema de armazenamento do SAS, expresso em metros cúbicos (m^3)

$T_{consumo}$ – temperatura de consumo de utilização, expressa em graus Celsius ($^{\circ}C$)

$T_{ambiente}$ – temperatura ambiente média anual do local de instalação

T_{armaz} – temperatura de armazenamento da água, expressa em graus Celsius ($^{\circ}C$)

$E_{útil}$ – energia útil, expressa em quilowatts hora por dia (kWh/dia)

ρ – massa específica da água, igual a 1000, expressa em quilogramas por metros cúbicos (kg/m^3)

c_p – calor específico da água, igual a 4,18, expresso em quilojoules por quilograma Kelvin (Kj/Kg)

$A_{coletora}$ – área coletora, expressa em metros quadrados (m^2)

E_{perdas} – somatório das perdas térmicas dos circuitos primário e secundário, expresso em quilowatts hora por dia (kWh/dia)

FC_{instal} – fator de correção para inclinação e orientação do coletor solar

I_G – valor da irradiação global média anual para o local de instalação, expresso em quilowatts hora por metro quadrado dia ($kWh/m^2 \cdot dia$)

$F_{r\tau\alpha}$ – coeficiente de ganho do coletor solar (adimensional)

F_{rUL} – coeficiente de perdas do coletor solar (adimensional)

β – inclinação do coletor, em relação ao plano horizontal, expressa em graus ($^{\circ}$)

$\beta_{ótimo}$ – inclinação ótima do coletor, para o local de instalação, expressa em graus ($^{\circ}$)

γ – o ângulo de orientação dos coletores solares, em relação ao norte geográfico, expresso em graus ($^{\circ}$)

$FCC(t)$ – valor atual do capital, ou seja, o fluxo de caixa descontado (para o valor presente) cumulativo até o instante t

I – investimento inicial (em módulo)

R_j – receita proveniente do ano j

C_j – custo proveniente do ano j

i – taxa de juros empregada

j – índice genérico, que representa os períodos $j = 1$ a t

VPL_j – valor presente líquido de um fluxo de caixa da alternativa j

F_n – cada um dos diversos valores envolvidos no fluxo de caixa e que ocorrem em n

n – número de períodos envolvidos em cada elemento da série de receitas e dispêndios do fluxo de caixa. Costuma-se denominar n ao número de períodos do horizonte

CO_2 – Dióxido de Carbono

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 DIRETRIZES DA PESQUISA	17
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	17
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA	17
2.2.1 Objetivo Principal	17
2.2.2 Objetivo Secundário	17
2.3 PRESSUPOSTO	17
2.4 PREMISA	18
2.5 DELIMITAÇÕES	18
2.6 LIMITAÇÕES	18
2.7 DELINEAMENTO	18
3 ENERGIA PARA AQUECIMENTO DE ÁGUA	21
3.1 ENERGIA SOLAR	21
3.1.1 Panorama da energia solar no Brasil	22
3.1.2 Panorama internacional da energia solar	23
3.2 ENERGIA ELÉTRICA.....	25
4 SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR	28
4.1 SOLUÇÕES DO MERCADO	28
4.2 NORMAS PARA O DIMENSIONAMENTO	33
4.2.1 Exigências da NBR 12.284	34
4.2.2 Tubulações	35
4.2.3 Coletores solares e reservatório térmico	38
5 ANÁLISE DO INVESTIMENTO	43
5.1 PAYBACK	44
5.2 VALOR PRESENTE LÍQUIDO	45
5.3 TAXA INTERNA DE RETORNO	46
6 MERCADO DE CONTÊINERES PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL	47
7 DIMENSIONAMENTO E CUSTOS	49
7.1 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR	49
7.2 ECONOMIA EM ENERGIA ELÉTRICA	52
7.3 VIABILIDADE ECONÔMICA	53
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	58

REFERÊNCIAS	60
ANEXO A	62
ANEXO B	64
ANEXO C	66

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da tecnologia já permite aproveitar a energia, que é constantemente emitida pelo sol, para aquecer água a temperaturas confortáveis de banho. Desta forma, pode-se substituir outras fontes de energia, que muitas vezes agridem o meio ambiente, por essa fonte limpa. Por isto, muitos países, como Alemanha, China, Espanha, Índia, Israel, Portugal, dentre outros, já têm políticas de incentivo e até exigem níveis mínimos de aquecimento de água com a utilização de sistemas solares térmicos em novas construções.

Os contêineres chuveiro com aquecimento de água por sistemas solares térmicos para instalações provisórias de obras oferecem uma oportunidade para construtoras e empreiteiras mostrarem responsabilidade ambiental, aliada à redução de custos para as mesmas. Segundo Rosa (2012, p. iv), o avanço da tecnologia empregada nos sistemas solares térmicos e a sua maior escala de produção vem reduzindo os seus custos, que já se mostram viáveis a médio/longo prazo. A energia solar é a fonte renovável cujo uso mais cresce no mundo e a que reduz os seus custos mais rapidamente. Desta forma, o aquecimento de água por sistemas solares térmicos no Planeta quase triplicou no período de 2004 a 2009 (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2013a, 2013b).

Benvenuti (2013) salienta que o novo modelo de tarifação das distribuidoras de energia elétrica, aprovado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), em vigor a partir de 2014, chamado de tarifa branca, torna o custo da energia para novas ligações desta tarifa, em horário de pico e em horas próximas a esse, no mínimo, três vezes mais alto do que a tarifa normal, e reduzido nas horas fora de ponta. Considerando que grande parte dos trabalhadores de obras faz uso da água quente do chuveiro nesta faixa de horário, que compreende o intervalo entre as 17 e as 21h, a substituição do caro aquecimento de água através da energia elétrica por uma fonte alternativa e limpa traz ainda mais benefícios aos utilizadores de energia solar.

A proposta do trabalho de dimensionar o aquecimento de água por um sistema solar térmico em um contêiner chuveiro e avaliar o tempo de retorno do investimento pode estimular a utilização desta tecnologia nos canteiros de obra. Sabe-se que sua difusão no mercado acontece na medida em que as construtoras e donos de obra apoiarem causas inovadoras e

ambientalmente sustentáveis, assim como com o aumento dos custos da energia elétrica da rede pública e redução dos custos dos equipamentos e das taxas de juros.

Diante destas colocações, a proposição deste trabalho é conceber uma aplicação de um sistema solar térmico para aquecimento de água, adaptado a um contêiner, para instalações provisórias em canteiros de obra. O trabalho se divide em oito capítulos. Os dois primeiros se referem à introdução e às diretrizes desta pesquisa, respectivamente. O terceiro capítulo aborda as energias para aquecimento de água, considerando a de maior utilização no País, a energia elétrica, e a energia solar. Esta última foi abordada no panorama nacional e internacional, pois é a proposta deste trabalho. O quarto capítulo detalha os sistemas de aquecimento solar, trazendo as soluções do mercado e a forma de se dimensionar um sistema. Já o quinto capítulo versa sobre a análise de investimento do dimensionamento referido, através do método do Valor Presente Líquido. O sexto capítulo é um estudo relativo ao mercado de contêineres para a construção civil. No sétimo capítulo, se apresenta um dimensionamento de um sistema solar térmico proposto, assim como seus custos e o retorno econômico. Por fim, o oitavo capítulo é um fechamento do trabalho, porque faz as considerações finais sobre o mesmo.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: qual seria uma proposta de dimensionamento e o período de retorno do investimento realizado para aquecimento de água por um sistema solar térmico em um contêiner chuveiro para a instalação provisória da obra estudada?

2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos da pesquisa estão classificados em principal e secundário e são descritos a seguir.

2.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal do trabalho é o desenvolvimento de uma proposta de sistema de aquecimento solar de água adaptada a um contêiner utilizado em instalações provisórias de obra.

2.2.2 Objetivos secundários

Os objetivos secundários do trabalho são a apresentação da concepção e detalhamento da proposta, assim como a apresentação da avaliação do retorno do investimento para o uso da forma alternativa de energia.

2.3 PRESSUPOSTO

O trabalho tem por pressuposto que as recomendações descritas na NBR 15.569/2008 – Sistema de Aquecimento Solar de Água em Circuito Direto – Projeto e Instalação – são

válidas para instalação de sistema de aquecimento solar em instalações provisórias de obra e que as informações técnicas dos fabricantes de equipamentos são fidedignas.

2.4 PREMISSA

O trabalho tem por premissa que a geração de maior conforto aos trabalhadores da construção civil, assim como a contribuição para a sustentabilidade ambiental e redução do consumo de energia elétrica nas obras, deve ser meta das construtoras, frente à exigência de menores impactos ambientais.

2.5 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se pelos índices de irradiação solar, temperatura do ar, posição geográfica e tarifa da energia elétrica, na cidade de Porto Alegre.

2.6 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho:

- a) as características dos coletores solares e reservatórios térmicos fornecidas pelos fabricantes e inspecionadas pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro);
- b) o número de chuveiros exigidos pela NBR 7.198/1993 – Áreas de Vivência em Canteiros de Obra – Procedimento – para as características de um canteiro de obra estudado;
- c) o consumo médio de energia elétrica para um banho, segundo o Inmetro e a Associação Brasileira de Normas Técnicas;
- d) a seleção de um sistema de aquecimento solar.

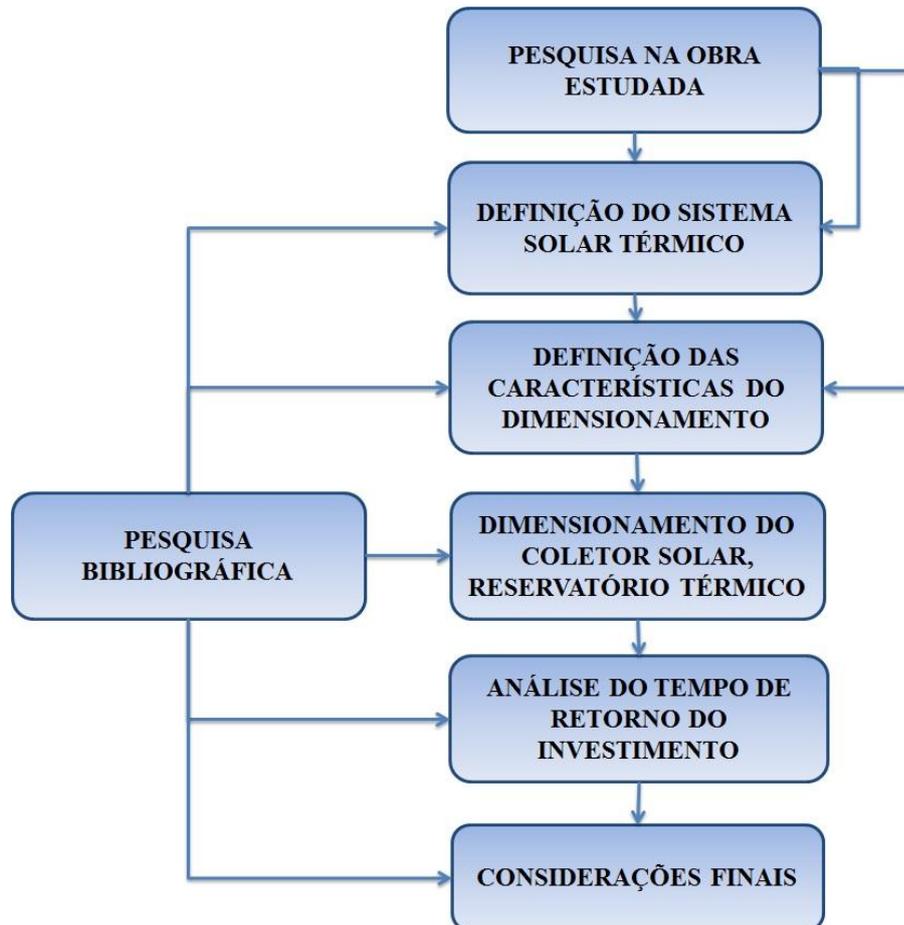
2.7 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado através das etapas apresentadas a seguir, que estão representadas na figura 1, e são descritas nos próximos parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) pesquisa na obra de estudo;
- c) definição do sistema solar térmico;

- d) definições das características do dimensionamento;
- e) dimensionamento do coletor solar e reservatório térmico;
- f) análise do tempo de retorno do investimento;
- g) considerações finais.

Figura 1 – Diagrama das Etapas do Dimensionamento



(fonte: elaborado pelo autor)

Desde o início deste trabalho, até o seu final, foi realizada a etapa de **pesquisa bibliográfica**, na qual se buscou variadas referências, com o fim de formar uma base sólida dos conceitos teóricos. Foi fundamental fazer o estudo das diferentes tecnologias dos sistemas de aquecimento solar para banho. Com isso, todas as características necessárias para dimensionar um sistema de aquecimento solar adequado foram analisadas. Então, para encontrar o tempo de retorno de investimento do dimensionamento, foi necessário recorrer a estudos de engenharia econômica e análise de investimento. Portanto, após definir a obra que veio a servir de estudo de caso, todas as etapas do desenvolvimento do trabalho foram previamente estudadas para que as normas e as melhores práticas fossem cumpridas.

De início, foi definida uma obra para a realização da **pesquisa na obra estudada**. Para isso, uma obra comercial em execução na cidade de Porto Alegre foi utilizada como estudo de caso. Então, se averiguou quantos funcionários trabalhavam no local e como se dava a utilização dos chuveiros das áreas de vivência pelos mesmos. Com os dados dos trabalhadores da obra, pôde-se, então, aplicar a pesquisa bibliográfica nas próximas etapas do trabalho.

A **definição do sistema solar térmico** foi baseada em estudos do local de instalação do sistema de aquecimento solar, tais como os índices de irradiação e temperatura do ar, e nas recomendações de fabricantes dos equipamentos. A análise foi realizada entre as tecnologias de coletores verificados pelo Inmetro.

A **definição das características do dimensionamento** tem fundamental importância, pois estabelece os critérios para se calcular corretamente o sistema de aquecimento solar. Esta etapa precisou ser cuidadosamente averiguada e acertada, pois as subsequentes foram dependentes dos dados que aqui foram utilizados. Para tanto, foram selecionados dados de fontes seguras, como o Inmetro e a Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Posteriormente, foi realizado o **dimensionamento do coletor solar e reservatório térmico** com as recomendações das normas brasileiras e manuais dos fabricantes. O dimensionamento previu o aquecimento solar de água assistido por chuveiros elétricos nos dias de menor irradiação solar, nos quais o aquecimento pelo sistema solar térmico não é suficiente para garantir o conforto do banho, assim como em todos aqueles dias em que o consumo de água quente for maior do que a capacidade de acumulação do reservatório térmico.

O próximo passo foi a **análise do tempo de retorno do investimento**. Esta etapa dependeu de diversos fatores, dentre os quais o prévio dimensionamento, o valor de mercado do sistema solar térmico no Brasil, o custo da energia elétrica na cidade de Porto Alegre, assim como a taxa de juros do país. Para este fim, foi realizada uma análise de fluxo de caixa, utilizando os métodos de *Payback*, VPL (Valor Presente Líquido) e TIR (Taxa Interna de Retorno).

Por fim, e de grande importância, foi dado o fechamento do trabalho com as **considerações finais** inferidas das fases precedentes. Tais resultados foram uma apreciação do dimensionamento e da análise realizada, trazendo os benefícios obtidos pelo aquecimento de água por um sistema solar térmico em uma instalação provisória de obra.

3 ENERGIA PARA AQUECIMENTO DE ÁGUA

Nos itens que seguem são apresentadas duas alternativas de aquecimento de água, as quais são relevantes para o trabalho. Primeiramente, são expostos conceitos importantes a respeito da utilização da energia solar para aquecimento de água no Brasil e no mundo. Em seguida, são apresentados importantes conhecimentos da utilização de energia elétrica para aquecimento de água.

3.1 ENERGIA SOLAR

Com os avanços das pesquisas para massificar a utilização de energias renováveis, pode-se destacar alguns conceitos que justificam o uso desta fonte alternativa de energia. De acordo com Rosa (2012, p. 1), a energia solar está entre as fontes mais abundantes no Planeta. A sua quantidade disponível é muito superior à demanda mundial de energia. Além disso, ela é renovável e não poluidora.

O aproveitamento da energia solar também auxilia os sistemas nacionais de energia elétrica, pois, segundo Rosa (2012, p 1-2), a utilização da energia solar para aquecimento de água, através de sistema solar térmico, possibilita a redução da demanda de energia em horário de pico, sendo uma solução financeiramente econômica. Duarte (2012, p. 13) justifica os benefícios ambientais da utilização da energia solar para aquecimento de água em todo o Planeta:

Ao proporcionar a melhoria da eficiência energética, é possível contribuir de forma decisiva para a competitividade, a segurança do abastecimento e o respeito dos compromissos assumidos no âmbito do Protocolo de Quioto sobre as alterações climáticas. Existem grandes potenciais de redução, em especial nos setores que consomem muita energia, como o da construção, das indústrias transformadoras, da conversão da energia, dos transportes e dos edifícios.

Bezerra (2010, p. 55) exemplifica alguns dos grandes benefícios da utilização de energias alternativas, como a solar térmica, quando afirma que se aproveita, de forma gratuita, a energia fornecida e que esta não polui o meio ambiente. Conforme Bezerra (2010, p. 22), o investimento em novas fontes energéticas para aquecimento de água, em substituição aos chuveiros elétricos pode se traduzir em grandes vantagens ambientais:

Segundo o professor **Augustin Woelz**, [...] a substituição do chuveiro elétrico pelo sistema solar de aquecimento de água, considerando um universo de 27.300.000 chuveiros instalados e em funcionamento, [verifica-se que] o potencial brasileiro **de redução de emissão de CO₂** com o uso da energia solar é de 10.000.000 toneladas de CO₂/ano.

3.1.1 Panorama da energia solar no Brasil

O Brasil é bastante privilegiado no recebimento desta energia, pois conforme Abreu¹ (2003 apud ROSA, 2012, p. 1), “[...] a energia solar [disponibilizada] no Brasil é 55 mil vezes maior do que a demanda de energia elétrica nacional.”. Confirmando isto, para Napolini e Rütter² (2011 apud ROSA, 2012, p. 3), “Os recursos de irradiância no Brasil estão entre os maiores do mundo, além de apresentar uma boa uniformidade e pequena variabilidade anual.”. Já com perspectivas positivas de aumento da utilização desta fonte de energia, Vasconcellos e Limberger (2012, p. 33) afirmam que “O uso da energia solar para aquecimento de água tem, no Brasil, um grande potencial de crescimento [...]. Portanto, [...] além do clima favorável do país, pode-se dizer que a energia solar é recomendada como fonte alternativa para esse uso final [aquecimento de água].”.

No País, mesmo que mais tardiamente do que no mercado internacional, a ABRAVA confirma que os aquecedores solares também têm demonstrado aceitabilidade nos mais importantes setores (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO, 2008, p. 81):

O aquecimento solar, além de oferecer diversos benefícios sociais e ambientais, representa um fator econômico significativo. Hoje, graças ao programa nacional de certificação de coletores e reservatórios térmicos, a busca incessante por qualidade e avanço tecnológico dos fabricantes e a um movimento organizado entre empresas do setor, o aquecimento solar conquistou credibilidade no segmento de médio e grande porte e, cada vez mais, vem sendo adotado em hotéis, motéis, indústrias, hospitais, escolas, edifícios residenciais, clubes, academias, dentre outros, como solução definitiva para aquecimento de água para banho.

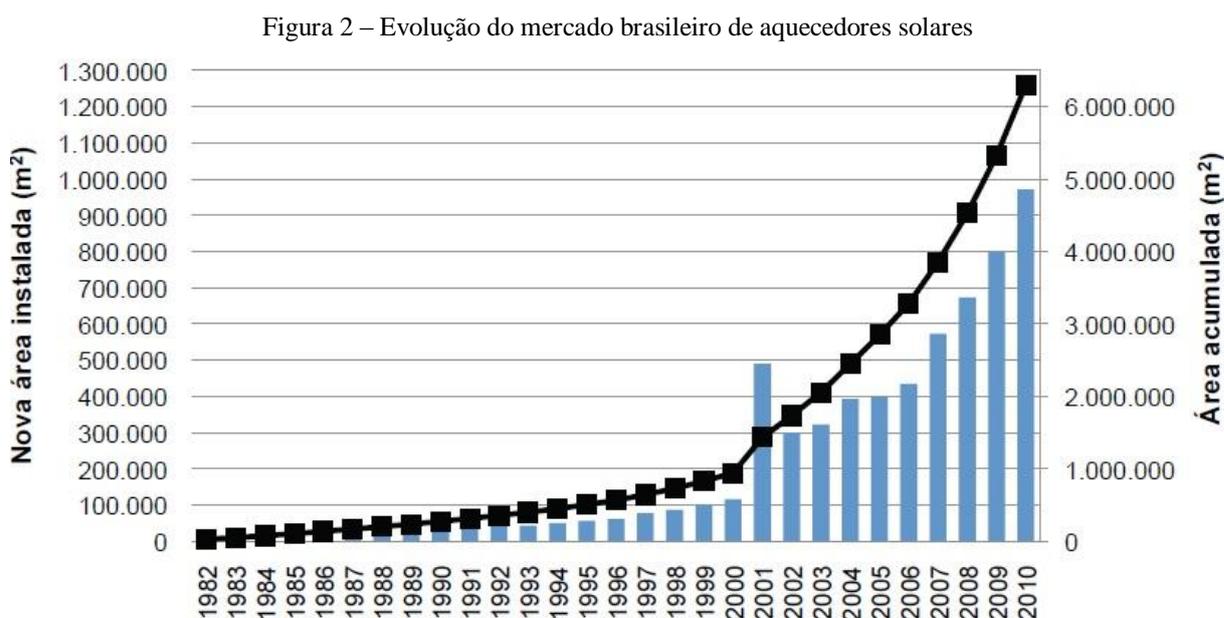
O Governo Federal começa a visualizar a importância do incentivo à utilização da energia solar. Vasconcellos e Limberger (2012, p. 21) afirmam que a participação do aquecimento

¹ ABREU, S. L. **Desenvolvimento de um sistema de aquecimento solar compacto utilizando termossifões bifásicos**. 2003. 155 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

² NASPOLINI H. F.; RÜTHER, R. Redução da demanda no horário de ponta proporcionada pelo preaquecimento solar da água para o banho. **Revista Brasileira de Energia Solar**, Porto Alegre, a. 2, v. II, n. 2, p. 138-148, 2011.

solar em habitações de interesse social vem ganhando mercado devido aos programas de eficiência energética lançados recentemente, supervisionados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), e ao Programa Minha Casa Minha Vida, do Governo Federal. Neste último, o aproveitamento da energia solar já tem caráter obrigatório, desde 2011, para residências unifamiliares.

O futuro desta fonte alternativa de energia parece promissor no País, pois Duarte (2012, p. 18) constata que, em 2008 e 2009, o Brasil foi um dos mercados que registrou as maiores taxas de crescimento do Planeta em instalação de sistemas solares térmicos sem cobertura. Justificando isso, Vasconcellos e Limberger (2012, p. 20) confirmam, graficamente, esta informação na figura 2, evidenciando a força que o mercado nacional de aquecedores solares vem apresentando, com crescimentos da ordem de 20% ao ano.



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO, 2008 apud VASCONCELLOS; LIMBERGER, 2012)

3.1.2 Panorama internacional da energia solar

Em observações internacionais, pode-se verificar que a energia solar tem sido ainda mais aproveitada. Segundo Samson et al. (2008, p. 396, tradução nossa), constatou-se, nos países mais industrializados do Planeta, que a energia térmica aproveitada do sol é utilizada em aplicações energéticas para aquecimento da água nos setores residencial, comercial e industrial, tanto para baixas ou altas temperaturas.

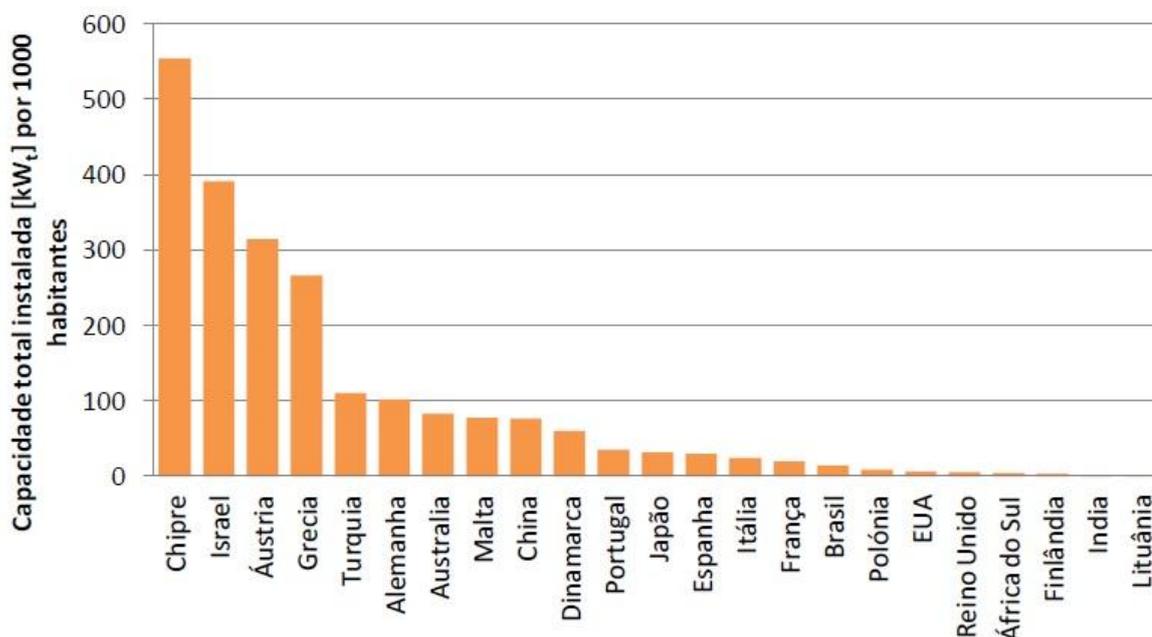
De fato, o crescimento do emprego da energia solar mostra-se em forte ascensão. Segundo Duarte (2012, p. 16), “O ano de 2009, verificou um aumento de cerca de 25% da área de coletores solares no mundo, e quase triplicando relativamente aos anteriores cinco anos, a uma taxa média de crescimento de cerca de 21% ao ano.”. O mesmo autor ainda afirma que neste mesmo ano, os principais mercados para os sistemas solares térmicos foram a China e a Europa, que, somados, representaram cerca de 95% do total instalado em todo o Planeta.

Alguns dados da utilização da energia solar térmica no Planeta foram apresentados pela Aneel no Atlas Brasileiro de Energia Elétrica e prometem um futuro com maior aproveitamento da energia solar para aquecimento de água, também no Brasil (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2008, p. 83):

Segundo a REN21 [*Renewable Energy Policy Network for the 21st Century*], durante muito tempo Israel foi o único país a exigir uma participação mínima de aquecimento de água a partir da energia solar. Mas, em 2006, a Espanha assumiu postura semelhante e passou a exigir níveis mínimos de energia solar tanto para o aquecimento de água quanto para a geração de eletricidade em novas construções como prédios residenciais, hotéis e hospitais. Em 2007, a iniciativa foi acompanhada por países como Índia, Coréia, China e Alemanha. Os percentuais exigidos variam de 30% a 70%, dependendo do clima, nível de consumo e disponibilidade de outras fontes de energia. No Brasil, também, embora não haja nenhuma compulsoriedade, a tendência começa a se disseminar nos grandes centros urbanos como a cidade de São Paulo.

A capacidade total instalada (MW_t) de coletores planos e de tubos de vácuo, por mil habitantes, no ano de 2009, é apresentada no gráfico da figura 3. Duarte (2012, p 36) afirma, ainda, que o custo da utilização da energia solar para aquecimento de água reduz, na contrapartida do aumento do custo dos combustíveis, atraindo ainda mais a atenção dos consumidores de energia, mas que ainda é alto, comparando-se com os custos típicos nos maiores mercados europeus.

Figura 3 – Capacidade total instalada (MW_t) de coletores planos e de tubos de vácuo, por 1000 habitantes, no ano de 2009



(fonte: WEISS; MAUTHNER³, 2011 apud DUARTE, 2012)

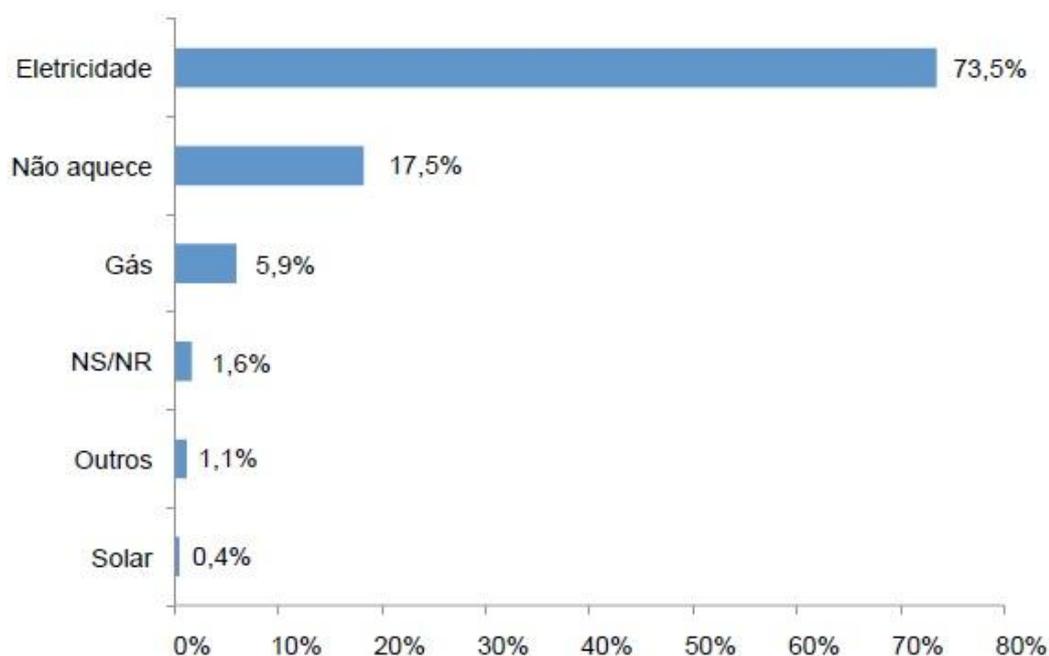
3.2 ENERGIA ELÉTRICA

Naspolini e Rüter⁴ (2011 apud ROSA, 2012, p. 1) afirmam que grande parcela do consumo de energia do País se dá pela utilização de chuveiros elétricos, conforme constatação de pesquisa realizada pela Eletrobrás/Procel, em que se evidenciou os picos diários de utilização, nos períodos de horário entre as 5 e 9 horas, e entre as 17 e 21 horas. Vasconcellos e Limberger (2012, p. 22) mostram, graficamente, que, no Brasil, a energia elétrica ainda é a fonte de energia mais utilizada para aquecimento de água para banho. Na figura 4, pode-se observar um gráfico com a distribuição das fontes de energia utilizadas para aquecimento de água para chuveiros no País.

³ WEISS, W.; MAUTHNER, F. Solar Heat Worldwide: markets and contribution to the energy supply 2009. **International Energy Agency**, Gleisdorf, Austria, v. 2011, p. 1-62, maio 2011. Disponível em: <http://www.iea-shc.org/data/sites/1/publications/Solar_Heat_Worldwide-2011.pdf>. Acesso em: 03 jun. 2014.

⁴ NASPOLINI H. F.; RÜTHER, R. Redução da demanda no horário de ponta proporcionada pelo preaquecimento solar da água para o banho, **Revista Brasileira de Energia Solar**, Porto Alegre, a. 2, v. II, n. 2, p. 138-148, 2011.

Figura 4 – Fonte de energia utilizada para aquecimento de água para banho



(fonte: CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS SA, 2007⁵
apud VASCONCELLOS; LIMBERGER, 2012)

Pode-se notar que o sistema elétrico nacional precisa de fontes alternativas para geração de energia. Segundo Bezerra (2010, p. 55-56):

A substituição do chuveiro elétrico pelos sistemas solares de aquecimento de água [...] representa uma contribuição de importância fundamental para o sistema elétrico brasileiro, principalmente nas horas de pico quando se sabe, segundo a Diretoria de Operações da Eletrobras [Centrais Elétricas Brasileiras SA], que quase 20% de toda a energia gerada pelas hidroelétricas entre 18 e 20 horas, é destinada ao aquecimento de água com o emprego de chuveiros elétricos.

Já a ABRAVA, coloca em números a economia de energia gerada pelos sistemas solares, em substituição aos chuveiros elétricos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO, 2008, p. 10):

A substituição dos chuveiros elétricos por sistemas de aquecimento solar de água proporciona a redução significativa da demanda energética no horário de ponta e do consumo de energia elétrica. Somente no ano de 2007, foram economizados no Brasil com o aquecimento solar cerca de 620 GWh, energia suficiente para abastecer 350.000 residências brasileiras consumindo cerca de 145 kWh por mês.

⁵ CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS SA. **Avaliação do mercado de eficiência energética no Brasil:** pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso da classe residencial no ano base 2005. Rio de Janeiro, 2007.

No Brasil, o aquecimento de água através dos chuveiros elétricos prejudica o setor energético (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO, 2008, p. 8):

[...] os chuveiros elétricos são produzidos em larga escala e conseqüentemente possuem baixo custo inicial, além de apresentarem grande simplicidade de instalação. Esses fatores criaram condições para que tais equipamentos fossem largamente disseminados nas residências brasileiras. No entanto, em longo prazo, essa solução tecnológica traz uma série de malefícios para o setor de energia elétrica, principalmente nos horários de ponta, quando a demanda de energia elétrica atinge seu pico diário.

Prova-se, portanto, que a utilização puramente da energia elétrica para aquecimento de chuveiros não é uma boa prática. Esta fonte de energia pode ser substituída por fontes alternativas, não poluidoras e de geração no local de utilização, como a energia solar, o que seria saudável, tanto ao sistema elétrico nacional, quanto ao meio ambiente.

4 SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR

Pode-se estabelecer um critério de comparação entre o sistema de aquecimento solar e as demais fontes de energia. Conforme Vasconcellos e Limberger (2012, p. 17), por iniciativa da *International Energy Agency (IEA)* e o *Solar Heating and Cooling Program (SHC)*, foi amplamente estudado um fator de conversão entre a área de absorção solar, por metros quadrados e a potência gerada, sendo adotado 1m^2 de coletores solares o equivalente a 0,7 kW de potência.

Nos itens que seguem são apresentados a constituição dos sistemas de aquecimento solar e seus componentes, assim como as instruções para dimensionar o sistema. Da mesma forma, são exibidas orientações para a instalação.

4.1 SOLUÇÕES DO MERCADO

O item 5.1, da NBR 15.569 – Sistema de Aquecimento Solar de Água em Circuito Direto – Projeto e Instalações – esclarece que um sistema de aquecimento solar é constituído por três elementos principais (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 7):

- a) coletor(es) solar(es);
- b) reservatório térmico;
- c) sistema de aquecimento auxiliar.

No item 3.7, a NBR 15.569 define o primeiro elemento principal do sistema, o coletor solar, como “Dispositivo que absorve a radiação solar incidente, transferindo-a para um fluido de trabalho, sob a forma de energia térmica.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 2). O mesmo conceito fundamental de coletor, mas de diferente autoria, dado pela ABRAVA, é de que “O coletor solar é, basicamente, um dispositivo que promove o aquecimento de um fluido de trabalho, como água, ar ou fluido térmico, através da conversão da radiação eletromagnética proveniente do sol em energia térmica.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO, 2008, p. 36).

O segundo elemento principal do sistema é o reservatório térmico. Este tem a finalidade de acumular a água aquecida nos coletores solares. Suas características térmicas reduzem, de maneira considerável, a perda de calor da água para o ambiente. Tais reservatórios são caracterizados por “[...] um corpo interno revestido externamente por um material isolante e recobertos por uma proteção externa [...]” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO, 2008, p. 49).

Conforme Rosa (2012, p. 5), “Um sistema padrão de aquecimento de água [...] é composto de coletores solares, tubulações, tanque de água quente e, em alguns casos, sistemas de controle para entrada de água no tanque, circulação forçada e apoio auxiliar de energia.”. A área de absorção é mutável, no sentido de que pode-se acoplar coletores solares em série e/ou em paralelo, uma vez que Rosa (2012, p. 8) afirma que pode-se variar a área coletora com a sua instalação por módulos, para o caso de aumento de demanda e necessidade de aumento da absorção de calor. A sua instalação também pode ser feita em lugares remotos, onde não há energia elétrica, oferecendo uma solução de maior conforto. Além disso, a energia solar não deve suprir toda a demanda anual de calor necessária para o consumo, uma vez que há dias muito frios e de baixa irradiação no decorrer do ano. Desta forma, o dimensionamento não gera um sistema demasiadamente caro.

De acordo com Kessler (2008, p. 270, tradução nossa):

Como uma fonte direta de calor, a radiação solar tem hoje importantes aplicações práticas em aquecimento de água e o desenvolvimento de coletores solares tem sido recentemente melhorado, para esse efeito, com componentes a vácuo produzidos na China (apricus.com, 2007). Aquecedores solares de água permitem evitar a utilização de energia elétrica para aquecimento [...].

Para Bezerra (2010, p. 55), atualmente os sistemas solares de aquecimento de água já são viáveis tecnicamente e economicamente, seja em utilizações residenciais ou comerciais. O retorno do investimento da sua instalação é esperado no período entre 3 e 4 anos.

Vasconcellos e Limberger (2012, p. 24) destacam algumas vantagens do sistema solar térmico:

- a) oferece vantagens para o usuário e para o país, gerando economia para ambos e, conseqüentemente, menores investimentos em geração e transmissão de energia;

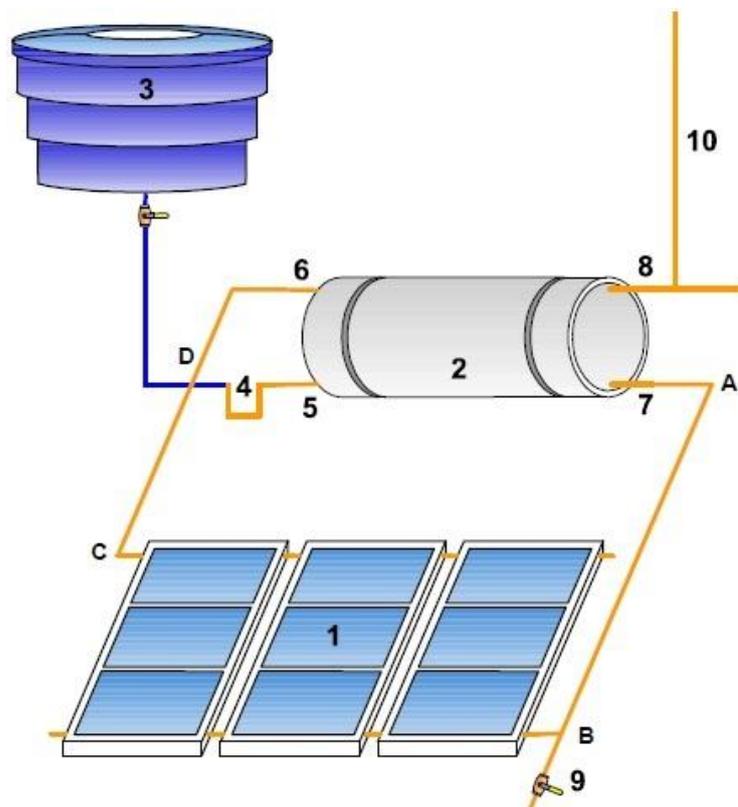
- b) apresenta baixo custo de manutenção, vida útil elevada [...] e um atrativo retorno do capital investido, dependendo do tipo de estabelecimento e condições de financiamento.

Os sistemas de aquecimento solar que operam por circulação natural, que também são chamados de termossifão, são os mais simples e mais utilizados. Para isto, seu funcionamento depende de diversos equipamentos e materiais, os quais são mostrados na figura 5 e identificadas as partes no quadro 1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO, 2008, p. 65).

Um dimensionamento deve levar em consideração as diferentes tecnologias de coletores solares disponíveis no mercado, analisando-as e concluindo qual solução tem melhor desempenho. Segundo Duarte (2012, p. 28):

Os coletores solares térmicos convertem a radiação solar incidente em energia térmica. Existem diversos tipos de coletores térmicos (sem cobertura, planos, seletivos, parabólicos, com tubos de vácuo, etc.) cada um destinado a diferentes aplicações com custos e ganhos energéticos próprios [...].

Figura 5 – Circulação natural – Termossifão



(fonte ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO, 2008)

Quadro 1 – Identificação das partes do Sistema de Aquecimento Solar de circulação natural

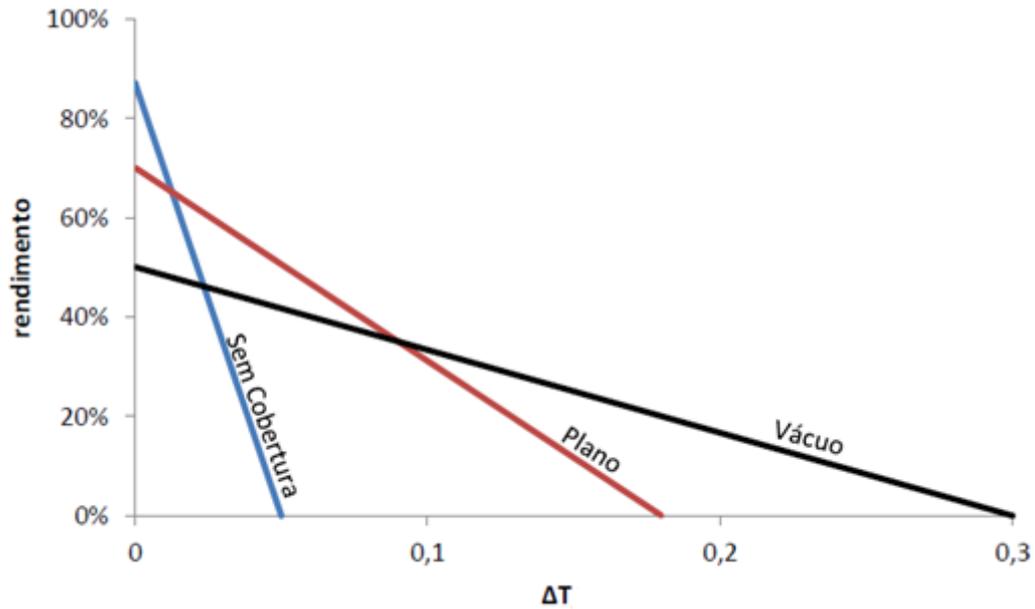
1 – coletor solar	2 – reservatório térmico
3 – caixa d'água fria	4 – sifão
5 – entrada de água fria	6 – retorno de água dos coletores
7 – saída de água para os coletores	8 – saída de água para consumo
9 – registro para limpeza do sistema	10 – suspiro

(fonte: adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO, 2008)

De acordo com Duarte (2012, p. 29), os rendimentos dos coletores variam conforme a sua tecnologia. Coletores sem cobertura têm seus rendimentos otimizados quando necessita-se variações da temperatura entre o ambiente e a água de, no máximo, 10°C. Já os coletores planos com cobertura têm rendimentos superiores aos sem cobertura, trabalhando bem em diferenças de temperatura da ordem de 10 a 50°C. Contudo, os coletores que melhor rendem, quando a maior diferença de temperatura entre o ambiente e a água é requerida, são os coletores de tubos de vácuo, pois trabalham a variações acima de 50°C. Desta forma, pode-se inferir que as duas últimas tecnologias são as mais adequadas em instalações de aquecimento de água para chuveiros, principalmente em situações com inversos rigorosos.

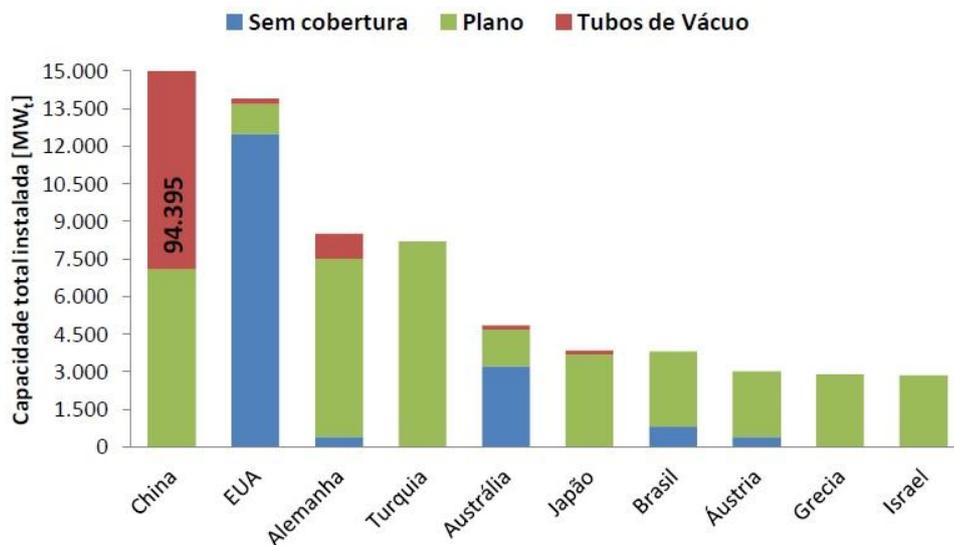
Rosa (2012, p. iv) afirma que os coletores solares de tubos evacuados são os que melhor adaptam-se a ambientes de temperaturas mais baixas. Ainda sobre esta tecnologia de coletores, ele afirma que o alto custo no passado já não é mais a situação do presente, pois eles são cada vez mais utilizados no País. No gráfico da figura 6, pode-se verificar as linhas de rendimento das diversas tecnologias, frente à diferença de temperatura requerida ao uso da água.

Figura 6 –Rendimento das diversas tecnologias coletoras



(fonte: CAMPANIÇO⁶, 2010 apud DUARTE, 2012)

Duarte (2012, p. 19) mostra que a utilização dos coletores solares dá-se majoritariamente em diferentes tecnologias no Planeta, conforme o gráfico de capacidade instalada em diversos países, apresentado na figura 7.

Figura 7 – Capacidade total instalada (MW_c) de coletores nos países que se destacam no uso de energia solar, no ano de 2009

(fonte: ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DA INDÚSTRIA SOLAR⁷, 2011 apud DUARTE, 2012)

⁶ CAMPANIÇO, H. M. G. **Sistemas solares térmicos centralizados**: aplicação em habitação social. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2010.

4.2 NORMAS PARA O DIMENSIONAMENTO

Conforme o item 4.1, da NBR 15.569, o projeto de SAS (sistema de aquecimento solar) deve conter no mínimo os seguintes elementos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 4-5):

- a) premissas de cálculo;
- b) dimensionamento;
- c) fração solar;
- d) memorial descritivo;
- e) volume de armazenamento;
- f) pressão de trabalho;
- g) fontes de abastecimento de água;
- h) área coletora.
- i) ângulos de orientação e inclinação dos coletores solares;
- j) estudo de sombreamento;
- k) previsão de dispositivos de segurança;
- l) massa dos principais componentes;
- m) considerações a respeito de propriedades físico-químicas da água;
- n) localização, incluindo endereço;
- o) indicação do norte geográfico;
- p) planta, corte, isométrico, vista, detalhe e diagrama esquemático, necessários para perfeita compreensão das interligações hidráulicas e interfaces dos principais componentes;
- q) esquema, detalhes e especificação para operação e controle de componentes elétricos (quando aplicável);
- r) especificação dos coletores solares e reservatórios térmicos;
- s) especificação de tubos, conexões, isolamento térmico, válvulas e motobomba;
- t) tipos e localização de suportes e métodos de fixação de equipamentos, quando aplicável;
- u) especificação do sistema de aquecimento auxiliar.

⁷ ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DA INDÚSTRIA SOLAR. **Observatório Solar Térmico**: relatório e estatísticas solar térmico 2011. Lisboa, 2011. Resumo.

A NBR 15.569 adverte, no item 5.1.2, que alguns parâmetros precisam ser considerados na escolha dos coletores solares para assegurar um funcionamento previsível do sistema (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 8):

- a) perdas térmicas;
- b) ganhos de energia;
- c) compatibilidade de uso.

4.2.1 Exigências da NBR 12.284/1991

O sistema de aquecimento solar foi dimensionado para um contêiner chuveiro que atende um canteiro de obra na cidade de Porto Alegre, estando, portanto integrado às áreas de vivência do mesmo. Este espaço é normatizado pela NBR 12.284 – Áreas de Vivência em Canteiros de Obra – Procedimento. De início, o item 3.1 desta Norma define o canteiro de obra como “Áreas destinadas à execução e apoio dos trabalhadores da indústria da construção, dividindo-se em áreas operacionais e áreas de vivência.”. As áreas operacionais são definidas pelo item 3.1.1 como “Aqueles em que se desenvolvem as atividades de trabalho ligadas diretamente à produção.”. Já as áreas de vivência, segundo o item 3.1.2, são “Aqueles destinadas a suprir as necessidades básicas humanas de alimentação, higiene pessoal, descanso, lazer, convivência e ambulatoriais, devendo ficar fisicamente separadas das áreas operacionais.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1991, p. 1).

É exigência do item 4.1.2 da NBR 12.284 que haja um chuveiro para cada dez trabalhadores ou fração deste número, sempre levando em consideração o turno de trabalho em que houver mais funcionários. A Norma faz referência aos chuveiros no item 4.1.2.4, no qual sua instalação deve atentar que (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1991, p. 3-4):

- a) os chuveiros devem ser de metal ou plástico, com chave quente/fria, garantindo a opção do usuário; os elétricos devem ser aterrados e, caso se necessite enclausurá-los, a chave quente/fria deve ser mantida externamente;
- b) a área para utilização de cada chuveiro deve ter dimensões mínimas de 1,10m x 0,90m;
- c) a área de chuveiros deve ter piso rebaixado de, no mínimo, 0,05m em relação à área de circulação, com caimento para o ralo ou canaleta de escoamento,

- a canaleta com dimensões mínimas de 0,15m de largura por 0,10m de profundidade, junto à parede, deve conduzir o efluente de todos os chuveiros para os ralos;
- é proibido o uso de estrados de madeira;
- d) a área destinada à circulação interna, que dá acesso aos chuveiros, deve ter largura mínima de 0,80m;
- e) a altura dos chuveiros instalados deve ser de 2,10m, com divisórias entre eles, com altura mínima de 1,80m;
- f) para cada um dos chuveiros instalados deve existir um suporte para sabonete e um cabide para toalha.

4.2.2 Tubulações

No item 4, a NBR 7.198 – Projeto e Execução de Instalações Prediais de Água Quente – Procedimento – adverte sobre os deveres das instalações de água quente (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993, p. 3):

- a) garantir o fornecimento de água de forma contínua, em quantidade suficiente e temperatura controlável, com segurança, aos usuários, com as pressões e velocidades compatíveis com o perfeito funcionamento dos aparelhos sanitários e das tubulações;
- b) preservar a potabilidade da água;
- c) proporcionar o nível de conforto adequado aos usuários;
- d) racionalizar o consumo de energia.

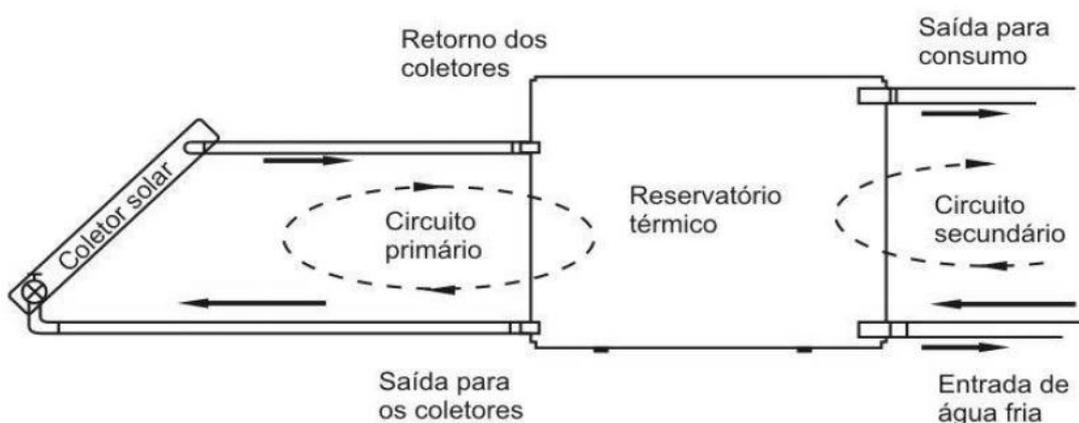
No que se refere aos tubos e conexões do sistema de aquecimento, pode-se visualizar um sistema primário, o qual se dá pela entrada e saída de água dos coletores, e circuito secundário, sendo este a entrada e saída de água do reservatório térmico, conforme a figura 8. “[...] o circuito primário de uma instalação solar por termossifão não deve ultrapassar 14 metros de tubulação total, ou seja, a soma dos comprimentos equivalentes das conexões e da tubulação não deve exceder 14 metros.” (MESQUITA⁸, 1998 apud ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO 2008, p. 67). Este é o ramal entre o coletor solar e o reservatório térmico. Já o circuito secundário é dado pelo segmento a partir da saída do reservatório térmico até o ponto de consumo.

⁸ MESQUITA, L. **Panorama Atual da Utilização do Aquecimento Solar em Fontes Não-Convencionais de Energia**. Florianópolis: UFSC, 1998.

Importantes recomendações devem ser seguidas para um correto funcionamento do sistema (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO 2008, p. 79):

- a) a alimentação do reservatório térmico deve ser exclusiva e estar posicionada acima das tomadas de água fria, como meio de evitar o risco de queimaduras em casos de falha de abastecimento.
- b) a distribuição hidráulica não deve possuir sifões ao longo de seu trajeto até os pontos de consumo, pois estes locais estão propícios ao acúmulo de ar impedindo a passagem de água.
- c) recomenda-se nas tubulações horizontais, uma leve declividade para que também não forme bolhas de ar no seu interior. Esta declividade deve estar no sentido do fluxo de água para que as possíveis bolhas de ar saiam pelo respiro que se localiza no ponto mais alto do reservatório térmico.

Figura 8 – Distinção entre o circuito primário e o circuito secundário do SAS



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008)

Sobre o isolamento térmico, o item 4.3.2 da NBR 7.198 revela que “O projetista deve analisar as perdas de calor nas instalações, em função dos materiais utilizados, das técnicas de isolamento térmico recomendadas, na temperatura da água com a qual a instalação deve funcionar adequadamente.”. Já sobre os aquecedores, o item 5.1.1 indica que a alimentação de água fria deve estar em cota mais alta que o aquecedor ou ser pressurizado. No item 5.1.2, a Norma deixa claro que “O projetista deve especificar o tipo de aquecedor previsto nas instalações, se instantâneo ou de acumulação, com respectivo volume, as temperaturas máxima e mínima de operação, a fonte de calor e respectiva potência.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993, p. 3).

Para garantir a pressão necessária para o funcionamento do chuveiro, o item 5.4.3 da NBR 7.198 salienta que “As pressões dinâmicas nas tubulações não devem ser inferiores a 5 kPa.”.

Contudo, “A pressão estática máxima nos pontos de utilização não deve ser superior a 400 kPa.”, conforme o item 5.4.1 da mesma Norma (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993, p. 4).

Na NBR 15.569, o item 10.4.2 recomenda que não seja utilizado tubulação menor na alimentação de água fria do que na tubulação de consumo de água quente. Além disso, o item 10.4.3 salienta que a tubulação de água fria, necessariamente, deve ter sifão⁹ para evitar que a água quente retorne para o reservatório de água fria. Este sifão, necessariamente, deve ter altura superior a 30 cm e seguir as recomendações do fabricante do sistema. As figuras 9 e 10 exemplificam duas possibilidades de entrada de água fria em sifão. Tratando da tubulação da alimentação de água fria, sem isolamento térmico, esta deve ter comprimento mínimo de 1,5 m, a partir do sifão, no sentido contrário ao seu fluxo e resistir às condições de pressão e temperatura exposta (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 20-21).

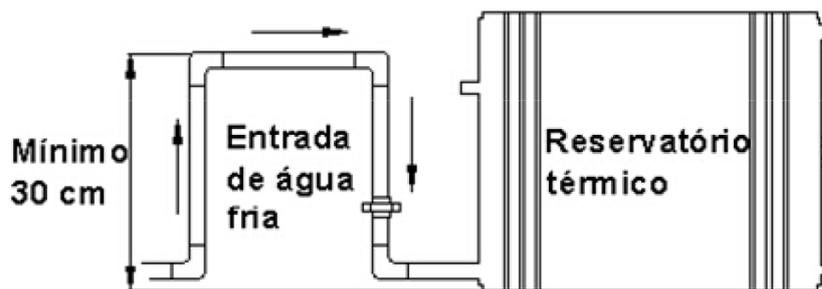
A NBR 15.569 salienta, ainda, que o sistema deve ser dotado de respiro¹⁰ (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 3). O item 10.4.7 da Norma indica que a instalação desta tubulação deve ser desobstruída e tem de seguir as seguintes recomendações (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 22):

- a) a tubulação deve ser instalada na posição ascendente, a partir do ponto de conexão mais alto do reservatório térmico, sem restrições, obstruções ou mudança brusca de direção;
- b) o tubo deve ultrapassar em, no mínimo, 0,30 m o nível de água máximo da caixa de alimentação de água fria;
- c) o diâmetro do tubo deve ser conforme especificação, manual do fabricante ou projeto, mas não inferior a 15 cm.

⁹ Conforme item 3.24 da NBR 15.569, o termo sifão refere-se a “Trecho da tubulação em forma de U que serve para passagem de líquidos e dificulta o fluxo devido à convecção natural.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 3).

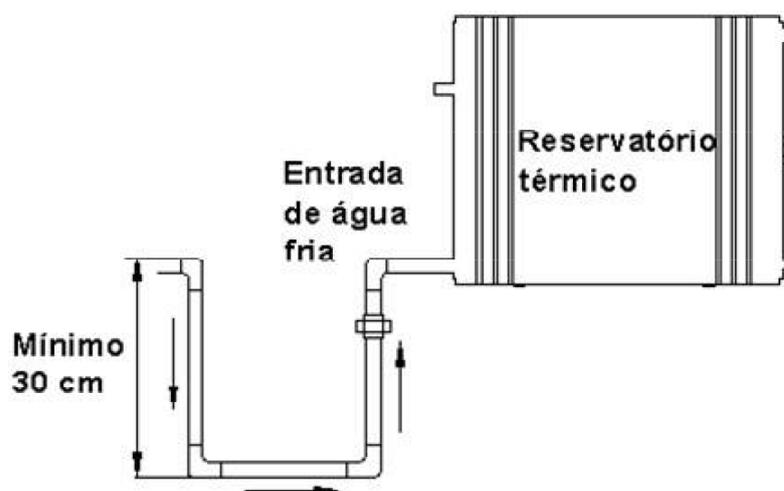
¹⁰ Conforme item 3.23 da NBR 15.569, o termo respiro refere-se a “Dispositivo destinado a equalização natural das pressões positivas e negativas do SAS (sistema de aquecimento solar), saída de ar e vapor.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 3).

Figura 9 – Exemplo de sifão 1



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008)

Figura 10 – Exemplo de sifão 2

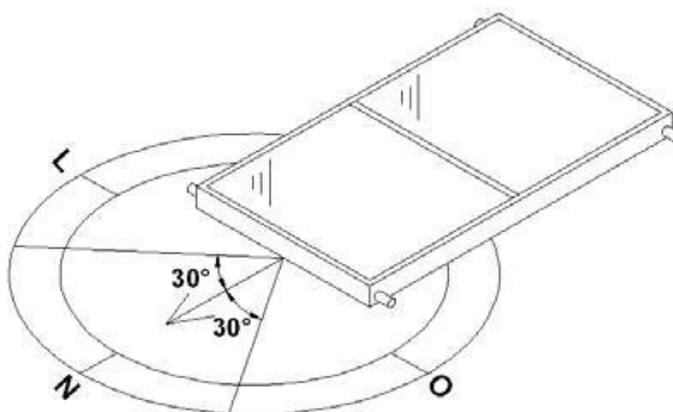


(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008)

4.2.3 Coletores solares e reservatório térmico

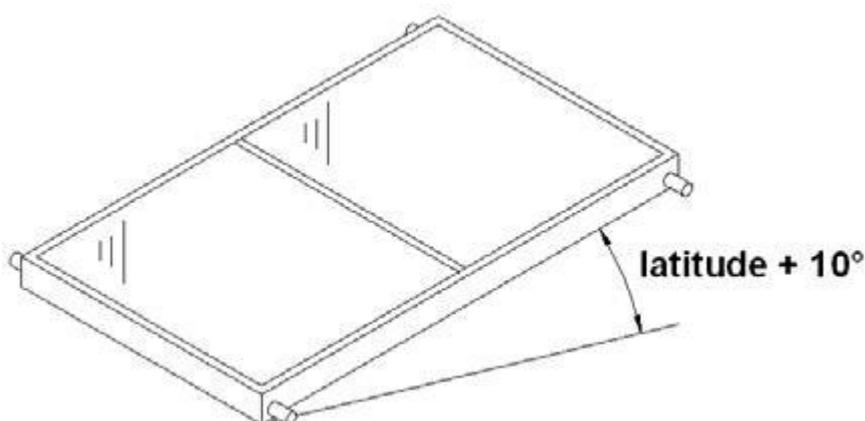
Como consta no item 10.3.2 da NBR 15.569, indicações de fundamental importância, como a orientação geográfica dos coletores solares, podem não ser fornecidas pelo fabricante. Neste caso, os equipamentos devem ser voltados para o norte geográfico e não podem ter desvio maior do que 30° desta direção, conforme a figura 11. Já o ângulo de inclinação dos coletores solares está sugerido no item 10.3.3 da mesma Norma. Este deve ser o mesmo ângulo da latitude local, mais 10°, porém, não pode ser menor que 15°, conforme a figura 12 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 18).

Figura 11 – Orientação geográfica dos coletores



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008)

Figura 12 – Ângulo de inclinação dos coletores



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008)

O dimensionamento dos sistemas solares térmicos se deu pela metodologia de cálculo 2, item B.2, pertencente do Anexo B da NBR 15.569. Conforme a Norma, no dimensionamento, foi levado em consideração uma fração solar de 70%, sem qualquer tipo de interferência de sombreamento sobre os coletores solares. No Anexo B da Norma, o item B.2.1 descreve as etapas do dimensionamento do SAS (sistema de aquecimento solar). (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 28).

Inicialmente, deve-se buscar encontrar o volume de água que é consumido, observando a frequência, o tempo de utilização dos equipamentos consumidores, assim como as suas vazões (ver Anexo A). Tal volume é dado pela expressão da equação 1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 28):

$$V_{consumo} = \sum (Q_{pu} T_u \text{ frequência de uso}) \quad (\text{equação 1})$$

Onde:

$V_{consumo}$ é o volume total de água quente, diariamente, expresso em metros cúbicos (m^3);

Q_{pu} é a vazão da peça de utilização, expressa em metros cúbicos por segundo (m^3/s);

T_u é o tempo médio de uso diário da peça de utilização, expresso em segundos (s);

frequência de uso é o número total de utilizações da peça por dia.

Após a determinação do volume de consumo, pode-se calcular o volume do sistema de armazenamento, através da equação 2 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 29):

$$V_{armaz} = \frac{[V_{consumo} (T_{consumo} - T_{ambiente})]}{(T_{armaz} - T_{ambiente})} \quad (\text{equação 2})$$

Onde:

$V_{consumo}$ é o volume de consumo diário, expresso em metros cúbicos (m^3);

V_{armaz} é o volume do sistema de armazenamento do SAS, expresso em metros cúbicos (m^3) (sugere-se que $V_{armaz} \geq 75 \% V_{consumo}$);

$T_{consumo}$ é a temperatura de consumo de utilização, expressa em graus Celsius ($^{\circ}C$) (sugere-se que seja adotado $40^{\circ}C$);

T_{armaz} é a temperatura de armazenamento da água, expressa em graus Celsius ($^{\circ}C$) (sugere-se que $T_{armaz} \geq T_{consumo}$);

$T_{ambiente}$ é a temperatura ambiente média anual do local de instalação (ver Anexo B).

A demanda de energia pode ser avaliada pela equação 3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 29):

$$E_{\text{útil}} = \frac{[V_{armaz} \rho c_p (T_{armaz} - T_{ambiente})]}{3600} \quad (\text{equação 3})$$

Onde:

$E_{\text{útil}}$ é a energia útil, expressa em quilowatts hora por dia (kWh/dia);

V_{armaz} é o volume do sistema de armazenamento do SAS, expresso em metros cúbicos (m^3) (sugere-se que $V_{\text{armaz}} \geq 75 \% V_{\text{consumo}}$);

ρ é a massa específica da água, igual a 1000, expressa em quilogramas por metros cúbicos (kg/m^3);

c_p é o calor específico da água, igual a 4,18, expresso em quilojoules por quilograma kelvin ($\text{KJ}/\text{kg}\cdot\text{K}$);

T_{armaz} é a temperatura de armazenamento da água, expressa em grau Celsius ($^{\circ}\text{C}$) (sugere-se que $T_{\text{armaz}} \geq T_{\text{consumo}}$);

T_{ambiente} é a temperatura ambiente média anual do local de instalação (conforme Anexo B).

A área coletora é dada pela equação 4 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 30):

$$A_{\text{coletora}} = \frac{[(E_{\text{útil}} + E_{\text{perdas}}) FC_{\text{instal}} 4,901]}{(PMDEE I_G)} \quad (\text{equação 4})$$

Onde:

A_{coletora} é a área coletora, expressa em metros quadrados (m^2);

I_G é o valor da irradiação global média anual para o local de instalação, expresso em quilowatts hora por metro quadrado dia ($\text{kWh}/\text{m}^2\cdot\text{dia}$), conforme Anexo C;

$E_{\text{útil}}$ é a energia útil, em quilowatts hora por dia (kWh/dia);

E_{perdas} é o somatório das perdas térmicas dos circuitos primário e secundário, expresso em quilowatts hora por dia (kWh/dia), calculada pela soma das perdas ou pela equação 5 da mesma Norma:

$$E_{\text{perdas}} = 0,15 E_{\text{útil}} \quad (\text{equação 5})$$

$PMDEE$ é a produção média diária de energia específica do coletor solar, expressa em quilowatts hora por metro quadrado (kWh/m^2), calculada através da equação 6 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 30):

$$PMDEE = 4,901 (Fr_{\tau\alpha} - 0,0249 Fr_{UL}) \quad (\text{equação 6})$$

Onde:

$Fr_{\tau\alpha}$ é o coeficiente de ganho do coletor solar (adimensional), obtidos de aferição do Inmetro;

Fr_{UL} é o coeficiente de perdas do coletor solar (adimensional), obtidos de aferição do Inmetro.

FC_{instal} é o fator de correção para inclinação e orientação do coletor solar, dado pela equação 7 (para $15^\circ < \beta < 90^\circ$) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 30):

$$FC_{instal} = \frac{1}{\{1 - [1,2 \cdot 10^{-4} (\beta - \beta_{\acute{o}timo})^2 + 3,5 \cdot 10^{-5} \gamma^2]\}} \quad (\text{equação 7})$$

Onde:

β é a inclinação do coletor em relação ao plano horizontal, expressa em graus (°);

$\beta_{\acute{o}timo}$ é a inclinação ótima do coletor, para o local de instalação, expressa em graus (°) (sugere-se que seja adotado o valor de módulo da latitude local +10°);

γ é o ângulo de orientação dos coletores solares em relação ao norte geográfico, expresso em graus (°).

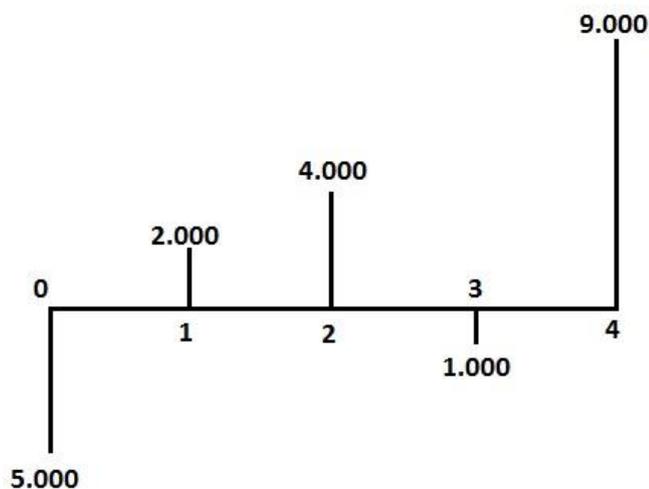
5 ANÁLISE DO INVESTIMENTO

Neste capítulo, os métodos de análise de investimento estudados são o *payback*, o Valor Presente Líquido e a Taxa Interna de Retorno. Estes são empregados para definir a viabilidade econômica da instalação do sistema de aquecimento solar, em um período de tempo calculado. Isto se torna considerável, já que, além de projetar o sistema de aquecimento solar, é necessário prever o tempo de retorno do investimento, para saber da possibilidade de instalação da solução do sistema solar adotado.

Os custos oriundos do investimento no sistema de aquecimento solar devem ser compensados pela economia mensal futura nas despesas em energia elétrica. Para calcular o tempo que leva para que os custos dos investimentos iniciais se igualem com o economizado futuramente, foi utilizado um diagrama de fluxo de caixa. Este pode ser representado graficamente por um diagrama, conforme a figura 13, seguindo as seguintes convenções (HIRSCHFELD, 1998, p. 17-18):

- a) o eixo horizontal representa o tempo, a partir do instante considerado inicial, até o instante considerado final no prazo em questão;
- b) nos diversos pontos que representam instantes ao longo do eixo do tempo, são traçados,
 - segmentos positivos, isto é, do eixo horizontal para cima, representando dividendos, receitas ou economias realizadas;
 - segmentos negativos, isto é, do eixo horizontal para baixo, representando despesas, aplicações de dinheiro, custos de aplicações ou parcelas que foram deixadas de receber.

Figura 13 – Representação gráfica de um fluxo de caixa



(fonte: adaptado de HIRSCHFELD, 1998)

5.1 PAYBACK

Motta e Calôba (2011, p. 98) afirmam que o termo *payback* pode ser explicado como sendo o tempo de recuperação do investimento. Ainda, segundo Motta e Calôba (2011, p. 97), “O *payback*, ou *payout*, é utilizado como referência para julgar a atratividade relativa das opções de investimento.”. Pode-se encontrar o *payback* através da equação 8 (MOTTA; CALÔBA, 2011, p. 105):

$$FCC(t) = -I + \sum_{j=1}^t (R_j - C_j) / (1 + i)^j; 1 \leq t \leq n \quad (\text{equação 8})$$

Onde:

$FCC(t)$ é o valor atual do capital, ou seja, o fluxo de caixa descontado (para o valor presente) cumulativo, até o instante t ;

I é o investimento inicial (em módulo), ou seja, $-I$ é o valor algébrico do investimento, localizado no instante 0 (início do primeiro período);

R_j é a receita proveniente do ano j ;

C_j é o custo proveniente do ano j ;

i é a taxa de juros empregada;

j é um índice genérico, que representa os períodos $j = 1$ a t .

5.2 VALOR PRESENTE LÍQUIDO

Motta e Calôba (2011, p. 106), definem o método do Valor Presente Líquido como “[...] a soma algébrica de todos os fluxos de caixa [...] para o instante presente ($t = 0$), a uma taxa de juros i ”. Já para Hirschfeld (1998, p. 80), “O **Método do Valor Presente Líquido**, também chamado **Método do Valor Anual Líquido**, tem como finalidade determinar um valor no instante considerado inicial, a partir de um fluxo de caixa formado de uma série de receitas e dispêndios.”, sendo calculado através da equação 9:

$$VPL_j = \sum_0^n F_n (1+i)^{-n} \quad (\text{equação 9})$$

Onde:

VPL_j é o valor presente líquido de um fluxo de caixa da alternativa j ;

n é o número de períodos envolvidos em cada elemento da série de receitas e dispêndios do fluxo de caixa. Costuma-se denominar n ao número de períodos do horizonte;

F_n é cada um dos diversos valores envolvidos no fluxo de caixa e que ocorrem em n ;

i é a taxa de juros comparativa ou taxa mínima de atratividade, também chamada taxa de equivalência, taxa de expectativa, ou ainda, neste caso, taxa de desconto.

Sobre a comparação dos resultados encontrados, analisando duas ou mais situações de investimento, Casarotto Filho e Kopittke (2010, p. 105) indicam que “[...] se deve [...] calcular o Valor Presente dos demais termos do fluxo de caixa para somá-los ao investimento inicial de cada alternativa. Escolhe-se a alternativa que apresentar melhor Valor Presente Líquido.”. Já quando há apenas uma alternativa de investimento, para uma taxa de desconto (i), Motta e Calôba (2011, p. 107) afirmam que o VPL deve seguir uma das três alternativas para se determinar a viabilidade:

- a) se $VPL_C(i) > 0$, a alternativa é viável, economicamente;
- b) se $VPL_C(i) < 0$, a alternativa é inviável, economicamente;
- c) se $VPL_C(i) = 0$, é indiferente investir ou não nessa alternativa, mas ela ainda é viável economicamente.

5.3 TAXA INTERNA DE RETORNO

A rentabilidade do investimento no tempo, verificando receitas e investimentos, pode ser medida de maneira simples, através da Taxa Interna de Retorno (TIR). Motta e Calôba (2011, p. 116) afirmam que “[...] se a taxa de retorno [...] for maior que a taxa mínima de atratividade do mercado, a alternativa merece consideração. Caso contrário, a alternativa será rejeitada.”. Os mesmos autores tem a definição de que a TIR “[...] é o valor da taxa de desconto que anula o Valor Presente Líquido, obtido pela soma algébrica de todos os fluxos de caixa.” e é representado pela equação 10:

$$\sum_{j=0}^n FC_j \{1/(1+i)\}^j = 0 \quad (\text{equação 10})$$

Onde:

i é a taxa de retorno, ou TIR;

FC_j é um fluxo de caixa qualquer, genérico, para $j = [0; n]$.

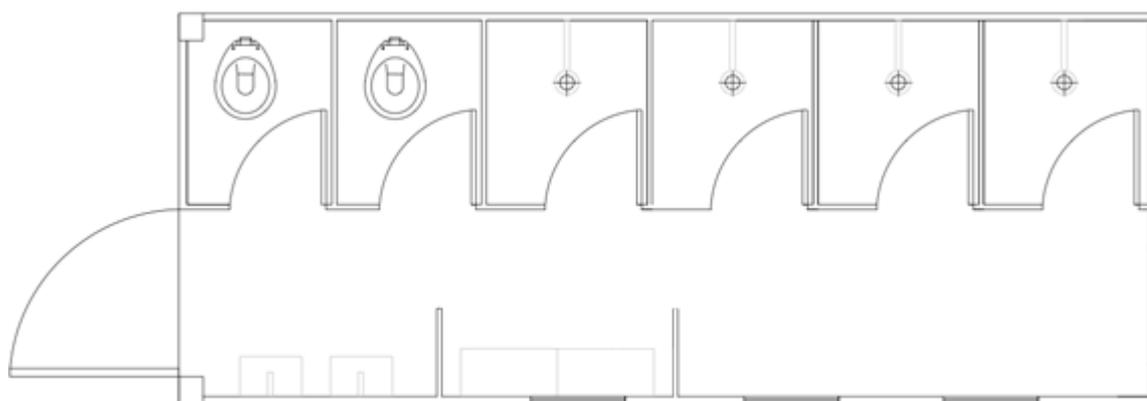
6 MERCADO DE CONTÊINER PARA CONSTRUÇÃO CIVIL

Os contêineres disponíveis para instalações provisórias na construção civil tem dimensões padronizadas de 6 metros de largura, por 2,30 metros de comprimento e 2,50 metros de altura. O seu fechamento superior é em compensado naval, com tratamento anti-água de 12 mm de espessura, o que garante uma aplicação de até 200 kgf/m², com peso distribuído. As estruturas do mesmo são em chapas de aço carbono galvanizado de 1,55 milímetros de espessura com dobra especial que garantem rigidez estrutural para sobreposição de módulos.

Os contêineres podem ser adquiridos ou alugados, contudo, a maioria das construtoras opta por não os adquirir e paga mensalmente o seu aluguel às empresas detentoras das unidades. Este fato se deve pela versatilidade que o produto oferece, podendo ser utilizado em algumas etapas da obra e, posteriormente, ser removido, atendendo as necessidades momentâneas das obras.

As disposições internas oferecidas variam, desde contêineres unicamente com chuveiros e suas divisórias, a contêineres com chuveiros, divisórias, vestiário, lavatórios e vasos sanitários. Todas estas alternativas poderiam receber o sistema de aquecimento solar nas águas de banho.

Figura 14 – Modelo de disposição de contêiner para instalação provisória de obra



(fonte: adaptado de ECOBOX CONTAINERS LTDA., 2014)

Em pesquisa às empresas do mercado de contêiner para construção civil, na região metropolitana de Porto Alegre, se observou que não existem variações significativas entre os produtos oferecidos. Três empresas do setor foram consultadas e logo se constatou que os serviços e produtos oferecidos não divergem em nada na questão energética. Quando consultadas sobre contêiner sanitário ou chuveiro, todas as companhias oferecem contêineres que preveem aquecimento de água através de chuveiros ligados à rede pública de energia elétrica. Como solução alternativa a não disponibilidade de energia elétrica, se sugere apenas a ligação a geradores movidos a óleo diesel. Contudo, se sabe que este meio de produção energética se apresenta ainda mais oneroso e poluidor. Nenhuma das soluções oferecidas pelo mercado oferece qualquer fonte limpa de energia para aquecimento de água, tal como a energia solar. Desta forma, se observa uma lacuna na falta de utilização de energias renováveis que já se mostram rentáveis, porém são desconhecidas ou ignoradas por este mercado.

Pode-se afirmar que a simples utilização de contêineres marítimos na construção civil tem vocação ecológica, já que, além de evitar o descarte dos contêineres no meio ambiente, reduz a geração de resíduos que seriam oriundos das instalações provisórias de obra, uma vez que se elimina a necessidade da construção de instalações provisórias, as quais, geralmente, são construídas em madeira e, posteriormente, descartadas no meio ambiente.

7 DIMENSIONAMENTO E CUSTOS

Nos itens que seguem neste capítulo são apresentados os cálculos de dimensionamento do sistema de aquecimento solar e seus componentes. A seguir é apresentado o custo de energia elétrica que a obra possui com a utilização dos chuveiros elétricos e como este custo é reduzido com a utilização da solução proposta de aquecimento solar. Por fim, se analisa a viabilidade econômica da instalação do sistema através de fluxo de caixa com o método do Valor Presente Líquido.

7.1 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR

O sistema de aquecimento solar foi dimensionado para uma obra com instalações provisórias, que atendem, no seu pico, 50 funcionários. A obra está localizada na cidade de Porto Alegre. Para tanto, os dados de posicionamento geográfico, inclinação dos coletores, assim como temperatura média do ar foram obtidos para este local.

Para o dimensionamento do sistema, se fez uso dos dados técnicos fornecidos pelo Inmetro, através da tabela de consumo/eficiência energética dos sistemas e equipamentos para aquecimento solar de água em aplicações de banho. Na edição 07/14, haviam 244 modelos etiquetados e 45 marcas testadas. O coletor escolhido para o dimensionamento foi da marca Bosch, modelo FCC-1S. Este é qualificado com o conceito A em termos de eficiência energética e tem sua superfície absorvedora em cobre (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA, 2014). Fez-se a opção por este coletor, pois o mesmo apresenta bons coeficientes de absorção e perda de calor, além da fácil disponibilidade no mercado. As dimensões do mesmo são 1,32 metros de largura, 2,026 metros de altura e 0,66 metros de profundidade. Portanto, a área total de cada coletor é de 2,09 metros quadrados, sendo 1,92 metros quadrados de área absorvedora.

O dimensionamento foi realizado conforme as equações 1 a 7, descritas no capítulo 4, considerando que não há sombreamento sobre os coletores solares. A fração solar considerada foi de 70%, ou seja, o sistema de aquecimento solar é responsável por 70% do aquecimento de água. Os demais 30% são aquecidos pelos chuveiros elétricos, pois há dias muito frios, em

que o sistema precisaria ser superdimensionado para suprir integralmente a demanda de calor, o que também ocorre em dias de maior consumo. Portanto, para simplificar o desenvolvimento, se elaborou o quadro 2, o qual mostra os dados de entrada nas equações referidas.

Quadro 2 – Dados de entrada nas equações para dimensionamento do SAS

50 – Número de banhos diários	480 s – Tempo médio de banho
0,00005 m ³ /s – Vazão de cada chuveiro	40 °C – Temperatura de consumo da água
1.000 kg/m ³ – Massa específica da água	50 °C – Temperatura de armazenamento da água
4,18 Kj/Kg – Calor específico da água	19 °C – Temperatura ambiente média anual
0,749 – Coeficiente de ganho do coletor	40 ° – Inclinação do coletor, em relação ao plano horizontal
3,868 – Coeficiente de perdas do coletor	30° – Ângulo para orientação dos coletores solares em relação ao norte geográfico

(fonte: elaborado pelo autor)

Os coeficientes de ganho e perda do coletor solar são adimensionais e foram obtidos, para o modelo escolhido, na tabela de consumo/eficiência energética dos sistemas e equipamentos para aquecimento solar de água, em aplicações de banho (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA, 2014). O volume, temperatura e tempo de consumo, temperatura de armazenamento, temperatura média anual, assim como os ângulos de inclinação e orientação do coletor seguiram as recomendações da NBR 15.569, também descritas no item 4.2.3 deste trabalho. Portanto, os resultados obtidos das equações de dimensionamento, utilizando os dados do quadro 2, formam o quadro 3.

Quadro 3 – Resultados do dimensionamento do SAS

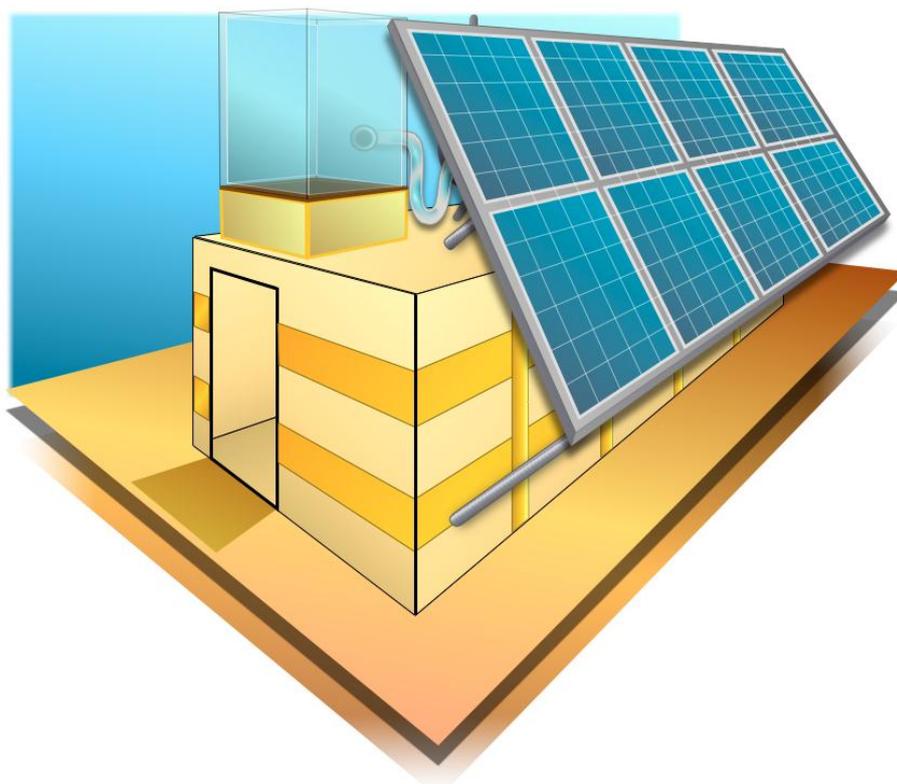
1,2 m ³ – Volume de consumo diário	0,9 m ³ – Volume mínimo de armazenamento do SAS
32,4 kWh/dia – Energia útil	4,86 kWh/dia – Somatório das perdas térmicas dos circuitos primário e secundário
3,2 kWh/m ² – PMDEE	1,0325 – Fator de correção para inclinação e orientação do coletor solar
12,5 m ² – Área coletora	

(fonte: elaborado pelo autor)

Os coletores solares podem ser instalados sobre o contêiner, evitando o uso de outra área anexa. Considerando que as dimensões de um contêiner são 2,3 x 6 m, a área de superfície do mesmo é de 13,8 m². A instalação dos coletores solares é feita no ângulo β de inclinação que otimiza a absorção de energia, conforme a latitude do local de instalação mais 10°. Portanto, como os cálculos mostram que se tem 12,5 m² de área absorvedora, é possível dispor de todos os coletores solares e o reservatório térmico sobre o contêiner. Como a área absorvedora de cada coletor, conforme especificações do fabricante, é de 1,92 m², se faz necessário 7 coletores em linha para atender a demanda de consumo. Desta forma, a área absorvedora dos coletores somados resulta em 13,44 m².

Fez-se uma apresentação esquemática do sistema solar térmico em contêineres para instalações provisórias de obra na figura 15. Tem-se um reservatório de água fria em um nível superior ao reservatório térmico. Deste último a água circula para os coletores térmicos que aquecem-a e esta retorna ao reservatório térmico, para então, aquecida, ser distribuída aos chuveiros do contêiner, a uma pressão mínima de 0,5 m.c.a. O direcionamento dos coletores é na orientação norte.

Figura 15 – Esquema da solução proposta



(fonte: CASSOL, 2014)

7.2 ECONOMIA EM ENERGIA ELÉTRICA

A instalação do sistema de aquecimento solar para chuveiros em canteiros de obra é economicamente viável, desde que gere economias na conta de energia elétrica suficientes para pagar o investimento na tecnologia. Portanto, é de fundamental importância encontrar o quanto a instalação economizaria em um prazo razoável de tempo com a utilização do sistema de aquecimento solar.

A obra estudada possui chuveiros elétricos da marca Forusi, modelo Stilo. Conforme informações disponibilizadas pelo fabricante, este chuveiro tem vazão de 3 l/min e potência regulada a 4400W ou 5500W, em tensão de 220V.

O custo da utilização da energia elétrica da rede pública, fornecida pela Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE), para consumidores trifásicos em Porto Alegre, é de R\$ 0,4451436¹¹, por cada kWh consumido.

Para efeitos dos custos da energia elétrica demandada pelos chuveiros, se assumiu que os mesmos têm rendimento de 95% de sua potência. Desta forma, o consumo mensal de 50 banhos diários, de 8 minutos cada, 6 vezes por semana, ligados em 5500W, é de 926 kWh. Multiplicando este consumo pelo valor do kWh, apresentado anteriormente, se tem um custo mensal de R\$411,58. Já quando ligados em potência de 4400W, os mesmos hábitos de banho consomem mensalmente 741 kWh, os quais custam R\$329,87. Estes custos foram estudados no próximo item deste capítulo.

As obras terão ainda mais economia na conta de energia elétrica se as mesmas adotarem o novo modelo tarifário de tarifa branca, o qual foi aprovado pela Aneel para entrar em vigor ainda em 2014, mas que está em atraso em sua aplicação pelas companhias de distribuição. Este modelo tarifário tem menores custos por kWh em períodos fora de ponta, ou seja, durante o dia, até as 17 horas, o qual representa o período em que, geralmente, os equipamentos elétricos de toda obra estão ligados. Como o banho dos funcionários ocorre, de maneira geral, a partir das 17 horas, a utilização do sistema de aquecimento solar de água para banho dos funcionários reduz significativamente o consumo elétrico em hora de tarifa

¹¹ Preço do kWh referente ao mês de fevereiro de 2014.

intermediária ou de ponta, quando os valores cobrados por kWh aumentam. Desta forma, a obra que optar pela tarifa branca e utilizar o sistema de aquecimento solar para banho terá reduções ainda maiores nos custos globais de energia elétrica da obra. Neste trabalho não foi possível simular a adoção da tarifa branca para verificar a maior redução dos custos em energia, já que os preços por kWh desta modalidade ainda não foram disponibilizados pelas distribuidoras de energia elétrica.

7.3 VIABILIDADE ECONÔMICA

O estudo de viabilidade econômica é de fundamental importância, pois a utilização da energia solar como fonte de aquecimento da água dos chuveiros de um canteiro de obra faz sentido se a instalação do sistema for economicamente viável. Para isto, se fez um comparativo de fluxo de caixa entre os gastos em energia elétrica sem o sistema de aquecimento solar, assim como os gastos com a instalação do mesmo e a redução na conta de energia elétrica. Os métodos aplicados para calcular o retorno do investimento foram o *Payback*, Valor Presente Líquido e a Taxa Interna de Retorno. Já o tempo de análise do retorno econômico foi o tempo de vida útil dos equipamentos do SAS, que corresponde a 20 anos.

Para a análise econômica, se utilizou a taxa do Sistema Especial de Liquidação e de Custódia – Selic, definida como a taxa de juros, assim como o índice de inflação do País. Os mesmos foram 10,75%¹² (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2014) e 5,68%¹³ (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2014) ao ano, respectivamente, e são de fundamental importância para definir o tempo de retorno do investimento. Verificou-se, contudo, que estes percentuais não são habituais, pois eram menores em um passado recente, o que seria ainda melhor para viabilizar o investimento na instalação.

O custo do sistema de aquecimento solar, suas tubulações e instalação, foi orçado em 3 diferentes empresas do segmento no Rio Grande do Sul. Desta forma, o custo adotado neste trabalho foi um custo praticado pelo mercado. O gasto em energia elétrica e possível manutenção dos equipamentos sofreram aumentos anuais, conforme a inflação.

¹² Valor estabelecido na reunião do Comitê de Política Monetária (Copom) nº 181, no mês de fevereiro de 2014.

¹³ Valor da variação do índice oficial de inflação, o Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), nos últimos 12 meses, no mês de fevereiro de 2014.

Para aplicar os métodos a seguir, se utilizou o *software Excel* para a elaboração de tabelas e gráficos. A primeira planilha gerada foi o fluxo de caixa da tabela 1. Este é o fluxo com a utilização do SAS. Fez-se ano a ano, durante o tempo de vida útil divulgado pelos fabricantes para o sistema, ou seja, 20 anos. A coluna de entradas é composta pelas economias financeiras em energia, já as colunas de saídas é composta pelo investimento inicial e os custos de possível manutenção, considerando os mesmos hábitos de banho e custo de energia descritos no item 7.2.

Tabela 1 – Fluxo de caixa financeiro com a utilização do SAS

Ano	Entradas	Saídas
1	R\$ 3.302,07	-R\$ 9.100,00
2	R\$ 3.489,62	-R\$ 105,68
3	R\$ 3.687,83	-R\$ 111,68
4	R\$ 3.897,30	-R\$ 118,03
5	R\$ 4.118,67	-R\$ 124,73
6	R\$ 4.352,61	-R\$ 131,81
7	R\$ 4.599,84	-R\$ 139,30
8	R\$ 4.861,11	-R\$ 147,21
9	R\$ 5.137,22	-R\$ 155,58
10	R\$ 5.429,01	-R\$ 164,41
11	R\$ 5.737,38	-R\$ 173,75
12	R\$ 6.063,27	-R\$ 183,62
13	R\$ 6.407,66	-R\$ 194,05
14	R\$ 6.771,61	-R\$ 205,07
15	R\$ 7.156,24	-R\$ 216,72
16	R\$ 7.562,72	-R\$ 229,03
17	R\$ 7.992,28	-R\$ 242,04
18	R\$ 8.446,24	-R\$ 255,79
19	R\$ 8.925,99	-R\$ 270,32
20	R\$ 9.432,98	-R\$ 285,67

(fonte: elaborado pelo autor)

Na tabela 2, se aplicou os métodos de engenharia econômica. Esta apresenta os valores de investimento inicial, manutenção dos equipamentos, despendido em energia elétrica sem a utilização do sistema de aquecimento solar, despendido em energia elétrica com a utilização do sistema de aquecimento solar, o valor poupado, o VPL e a TIR. O valor poupado é a redução na conta de energia devido a utilização do SAS, menos os possíveis gastos de manutenção do mesmo.

Tabela 2 – Custos e retornos financeiros da utilização do SAS

Ano	Investimento	Manutenção	Energia sem SAS	Energia com SAS	Poupado	VPL	TIR
1	-R\$ 9.000,00	R\$ 100,00	R\$ 4.618,27	R\$ 1.316,21	R\$ 3.202,07	-R\$ 6.108,74	-67%
2	R\$ -	R\$ 105,68	R\$ 4.880,59	R\$ 1.390,97	R\$ 3.383,94	-R\$ 3.349,85	-22%
3	R\$ -	R\$ 111,68	R\$ 5.157,81	R\$ 1.469,98	R\$ 3.576,15	-R\$ 717,25	2%
4	R\$ -	R\$ 118,03	R\$ 5.450,77	R\$ 1.553,47	R\$ 3.779,28	R\$ 1.794,83	16%
5	R\$ -	R\$ 124,73	R\$ 5.760,38	R\$ 1.641,71	R\$ 3.993,94	R\$ 4.191,91	24%
6	R\$ -	R\$ 131,81	R\$ 6.087,57	R\$ 1.734,96	R\$ 4.220,80	R\$ 6.479,26	29%
7	R\$ -	R\$ 139,30	R\$ 6.433,34	R\$ 1.833,50	R\$ 4.460,54	R\$ 8.661,89	32%
8	R\$ -	R\$ 147,21	R\$ 6.798,75	R\$ 1.937,64	R\$ 4.713,89	R\$ 10.744,61	34%
9	R\$ -	R\$ 155,58	R\$ 7.184,92	R\$ 2.047,70	R\$ 4.981,64	R\$ 12.731,98	35%
10	R\$ -	R\$ 164,41	R\$ 7.593,03	R\$ 2.164,01	R\$ 5.264,60	R\$ 14.628,37	36%
11	R\$ -	R\$ 173,75	R\$ 8.024,31	R\$ 2.286,93	R\$ 5.563,63	R\$ 16.437,95	37%
12	R\$ -	R\$ 183,62	R\$ 8.480,09	R\$ 2.416,83	R\$ 5.879,64	R\$ 18.164,69	38%
13	R\$ -	R\$ 194,05	R\$ 8.961,76	R\$ 2.554,10	R\$ 6.213,61	R\$ 19.812,38	38%
14	R\$ -	R\$ 205,07	R\$ 9.470,79	R\$ 2.699,17	R\$ 6.566,54	R\$ 21.384,64	38%
15	R\$ -	R\$ 216,72	R\$ 10.008,73	R\$ 2.852,49	R\$ 6.939,52	R\$ 22.884,92	38%
16	R\$ -	R\$ 229,03	R\$ 10.577,22	R\$ 3.014,51	R\$ 7.333,69	R\$ 24.316,52	39%
17	R\$ -	R\$ 242,04	R\$ 11.178,01	R\$ 3.185,73	R\$ 7.750,24	R\$ 25.682,59	39%
18	R\$ -	R\$ 255,79	R\$ 11.812,92	R\$ 3.366,68	R\$ 8.190,45	R\$ 26.986,12	39%
19	R\$ -	R\$ 270,32	R\$ 12.483,90	R\$ 3.557,91	R\$ 8.655,67	R\$ 28.229,97	39%
20	R\$ -	R\$ 285,67	R\$ 13.192,98	R\$ 3.760,00	R\$ 9.147,31	R\$ 29.416,89	39%

(fonte: elaborado pelo autor)

O Valor Presente Líquido foi calculado para um investimento de R\$9.000,00. Todos os VPL foram calculados, conforme o item 5.2, para a taxa de juros ou de atratividade de 10,75%.

Desta forma, através da equação 9, do capítulo 5, se determinou que, para o 4º ano, o Valor Presente Líquido é de R\$1.794,83, ou seja, o investimento se torna rentável antes do 4º ano, pois, neste ano, $VPL > 0$. Isto significa que, se todas as entradas do fluxo de caixa forem descapitalizadas para a data inicial, a 10,75% ao ano, elas cobrem o investimento de R\$9.000,00 e geram um adicional de R\$1.794,83, tornando, assim, a instalação economicamente viável. Quando se considera o período de vida útil dos equipamentos do SAS, 20 anos, se tem um VPL de R\$29.416,89.

Ainda se calculou em qual mês do 3º ano se teve o retorno do investimento. Pelo método de Payback, apresentado no item 5.1, se conclui que o retorno do investimento acontece dentro do terceiro mês do terceiro ano. Portanto, se estima que a partir de 3 anos e 3 meses até o fim de sua vida útil, o SAS traz ganhos financeiros ao usuário, além dos benefícios gerados ao meio ambiente e ao sistema elétrico nacional.

Após definido o VPL de cada ano da utilização do sistema de aquecimento solar, se complementou o estudo com o cálculo da TIR – Taxa Interna de Retorno. Sempre que a TIR

for maior do que a taxa de juros utilizada, neste caso 10,75%, o projeto é viável. Desta forma, se confirmou a viabilidade do projeto entre o terceiro e o quarto ano.

Fez-se, ainda, um estudo de sensibilidade econômica para avaliar a utilização do sistema em condições econômicas diferentes das atuais. O Governo já anunciou que o custo da energia elétrica deve aumentar cerca de 12% em um curto prazo. Portanto, a tabela 3 revela os custos e retornos financeiros com este cenário. Neste caso, o tempo de retorno do investimento deve acontecer no último mês do segundo ano de utilização e se tem Taxas Internas de Retorno ainda mais elevadas. No entanto, com a elevação do custo da energia elétrica teremos aumento na inflação.

Tabela 3 – Custos e retornos financeiros com aumento de 12% no custo da energia elétrica

Ano	Investimento	Manutenção	Energia sem SAS	Energia com SAS	Poupado	VPL	TIR
1	-R\$ 9.000,00	R\$ 100,00	R\$ 5.172,47	R\$ 1.551,74	R\$ 3.520,73	-R\$ 5.821,01	-61%
2	R\$ -	R\$ 105,56	R\$ 5.460,06	R\$ 1.638,02	R\$ 3.716,48	-R\$ 2.791,00	-13%
3	R\$ -	R\$ 111,43	R\$ 5.763,63	R\$ 1.729,09	R\$ 3.923,12	R\$ 97,01	11%
4	R\$ -	R\$ 117,62	R\$ 6.084,09	R\$ 1.825,23	R\$ 4.141,24	R\$ 2.849,69	24%
5	R\$ -	R\$ 124,16	R\$ 6.422,37	R\$ 1.926,71	R\$ 4.371,49	R\$ 5.473,37	32%
6	R\$ -	R\$ 131,07	R\$ 6.779,45	R\$ 2.033,84	R\$ 4.614,55	R\$ 7.974,10	36%
7	R\$ -	R\$ 138,36	R\$ 7.156,39	R\$ 2.146,92	R\$ 4.871,12	R\$ 10.357,64	39%
8	R\$ -	R\$ 146,05	R\$ 7.554,28	R\$ 2.266,29	R\$ 5.141,95	R\$ 12.629,49	41%
9	R\$ -	R\$ 154,17	R\$ 7.974,30	R\$ 2.392,29	R\$ 5.427,84	R\$ 14.794,86	42%
10	R\$ -	R\$ 162,74	R\$ 8.417,67	R\$ 2.525,30	R\$ 5.729,63	R\$ 16.858,77	43%
11	R\$ -	R\$ 171,79	R\$ 8.885,70	R\$ 2.665,71	R\$ 6.048,20	R\$ 18.825,95	43%
12	R\$ -	R\$ 181,34	R\$ 9.379,74	R\$ 2.813,92	R\$ 6.384,48	R\$ 20.700,95	44%
13	R\$ -	R\$ 191,42	R\$ 9.901,26	R\$ 2.970,38	R\$ 6.739,46	R\$ 22.488,08	44%
14	R\$ -	R\$ 202,07	R\$ 10.451,77	R\$ 3.135,53	R\$ 7.114,17	R\$ 24.191,46	44%
15	R\$ -	R\$ 213,30	R\$ 11.032,88	R\$ 3.309,87	R\$ 7.509,72	R\$ 25.815,02	44%
16	R\$ -	R\$ 225,16	R\$ 11.646,31	R\$ 3.493,89	R\$ 7.927,26	R\$ 27.362,49	45%
17	R\$ -	R\$ 237,68	R\$ 12.293,85	R\$ 3.688,15	R\$ 8.368,01	R\$ 28.837,45	45%
18	R\$ -	R\$ 250,89	R\$ 12.977,38	R\$ 3.893,22	R\$ 8.833,28	R\$ 30.243,28	45%
19	R\$ -	R\$ 264,84	R\$ 13.698,93	R\$ 4.109,68	R\$ 9.324,41	R\$ 31.583,24	45%
20	R\$ -	R\$ 279,57	R\$ 14.460,59	R\$ 4.338,18	R\$ 9.842,84	R\$ 32.860,40	45%

(fonte: elaborado pelo autor)

Outra possibilidade verificada foi a de uma situação econômica mais favorável para a economia do País, com inflação anual de 4% e taxa de juros de 8%. A tarifa de energia elétrica considerada foi a mesma do cenário anterior. Assim, se obteve a tabela 4 com um *payback* de 2 anos e 10 meses.

Tabela 4 – Custos e retornos financeiros com aumento no custo da energia elétrica, redução da inflação e taxa de juros

Ano	Investimento	Manutenção	Energia sem SAS	Energia com SAS	Poupado	VPL	TIR
1	-R\$ 9.000,00	R\$ 100,00	R\$ 5.172,47	R\$ 1.551,74	R\$ 3.520,73	-R\$ 5.740,07	-61%
2	R\$ -	R\$ 104,00	R\$ 5.379,37	R\$ 1.613,81	R\$ 3.661,56	-R\$ 2.600,87	-14%
3	R\$ -	R\$ 108,16	R\$ 5.594,54	R\$ 1.678,36	R\$ 3.808,02	R\$ 422,05	11%
4	R\$ -	R\$ 112,49	R\$ 5.818,32	R\$ 1.745,50	R\$ 3.960,34	R\$ 3.333,02	23%
5	R\$ -	R\$ 116,99	R\$ 6.051,05	R\$ 1.815,32	R\$ 4.118,75	R\$ 6.136,17	31%
6	R\$ -	R\$ 121,67	R\$ 6.293,10	R\$ 1.887,93	R\$ 4.283,50	R\$ 8.835,51	35%
7	R\$ -	R\$ 126,53	R\$ 6.544,82	R\$ 1.963,45	R\$ 4.454,84	R\$ 11.434,86	38%
8	R\$ -	R\$ 131,59	R\$ 6.806,61	R\$ 2.041,98	R\$ 4.633,04	R\$ 13.937,95	39%
9	R\$ -	R\$ 136,86	R\$ 7.078,88	R\$ 2.123,66	R\$ 4.818,36	R\$ 16.348,33	41%
10	R\$ -	R\$ 142,33	R\$ 7.362,03	R\$ 2.208,61	R\$ 5.011,09	R\$ 18.669,43	41%
11	R\$ -	R\$ 148,02	R\$ 7.656,51	R\$ 2.296,95	R\$ 5.211,54	R\$ 20.904,57	42%
12	R\$ -	R\$ 153,95	R\$ 7.962,77	R\$ 2.388,83	R\$ 5.420,00	R\$ 23.056,93	42%
13	R\$ -	R\$ 160,10	R\$ 8.281,29	R\$ 2.484,39	R\$ 5.636,80	R\$ 25.129,56	42%
14	R\$ -	R\$ 166,51	R\$ 8.612,54	R\$ 2.583,76	R\$ 5.862,27	R\$ 27.125,44	43%
15	R\$ -	R\$ 173,17	R\$ 8.957,04	R\$ 2.687,11	R\$ 6.096,76	R\$ 29.047,39	43%
16	R\$ -	R\$ 180,09	R\$ 9.315,32	R\$ 2.794,60	R\$ 6.340,63	R\$ 30.898,16	43%
17	R\$ -	R\$ 187,30	R\$ 9.687,93	R\$ 2.906,38	R\$ 6.594,25	R\$ 32.680,38	43%
18	R\$ -	R\$ 194,79	R\$ 10.075,45	R\$ 3.022,64	R\$ 6.858,03	R\$ 34.396,60	43%
19	R\$ -	R\$ 202,58	R\$ 10.478,47	R\$ 3.143,54	R\$ 7.132,35	R\$ 36.049,25	43%
20	R\$ -	R\$ 210,68	R\$ 10.897,61	R\$ 3.269,28	R\$ 7.417,64	R\$ 37.640,69	43%

(fonte: elaborado pelo autor)

Neste caso, notou-se o maior e mais rápido retorno financeiro, assim como maior Valor Presente Líquido e Taxa Interna de Retorno. Portanto, a utilização do sistema de aquecimento solar de água em contêineres é mais viável a medida que temos menores juros, para facilitar o investimento, mas principalmente, maior custo da energia elétrica. Prevê-se que o custo da energia elétrica da rede pública tenha um crescimento contínuo no País. Portanto, os retornos financeiros trazem ainda mais incentivos à utilização do sistema.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme estabelecido inicialmente, este trabalho teve como objetivos apresentar um dimensionamento de um sistema solar térmico para banho em contêineres de instalações provisórias de obra, apresentando o período de retorno do investimento e as diretrizes para isto. Verificou-se que é possível inovar fazendo a instalação do sistema em contêineres, sendo esta com sistemas compostos de coletores planos ou evacuados, conforme definição de dimensionamento.

O dimensionamento, para as instalações provisórias da obra estudada, com os materiais sugeridos no trabalho, propôs uma área absorvedora de 12,5 m², portanto factível a área de um contêiner. A análise da viabilidade econômica da utilização do sistema teve um bom resultado, já que se encontrou, através dos métodos de *Payback*, VPL e TIR, que **o investimento inicial é coberto pelas suas economias futuras em energia elétrica, em um período de tempo bastante inferior ao seu tempo de vida útil.** Os valores de retorno financeiro se mostram ainda melhores com o aumento do custo da energia elétrica, assim como com a redução das taxas de juros e inflação do País. Desta forma, as empresas que atuam no mercado de aluguel e venda de contêineres para canteiros de obra, bem como as empreiteiras e construtoras, podem ter um produto diferenciado e rentável, que agrega valor à obra. De maneira análoga ao que se desenvolveu, a economia de energia global da obra será ainda maior e mais rápida a medida que for permitida a adoção do novo modelo tarifário – tarifa branca – com diferenciação dos custos por hora de consumo.

Da mesma forma que foi adotado um dimensionamento com coletores planos, pode-se propor um sistema de aquecimento solar com coletores evacuados, assim como determinar sua o retorno do investimento. Os coletores evacuados são sistemas mais recentes que os planos. Percebe-se que estes estão entrando com forte aceitabilidade no mercado da região sul do Brasil, portanto se prevê que o dimensionamento com esta tecnologia também obtenha resultados viáveis técnico e economicamente.

Verificou-se, ainda, que há benefícios ao sistema elétrico nacional, que tem seu gargalo de demanda de energia no horário coincidente ao de banho de funcionários do setor de construção civil. Também se comprovou os ganhos ambientais do aproveitamento energético

gerado pelo sistema solar térmico. Este pode ser determinado comparando dados de estudo em que se obteve a proporção de 77 gramas de CO₂ emitidos, para cada kWh gerado no Brasil (ASEA BROWN BOVERI S.A, 2013). Mesmo que o nosso País tenha uma produção energética baseada em fontes hídricas, de menor impacto ambiental frente a outros países do Planeta, se concluiu que a utilização do sistema solar térmico evita a emissão de 780 kg de CO₂ a cada ano.

A medida que engenheiros e investidores se sensibilizarem com a utilização de sistemas de aquecimento solar também em canteiros de obra, a solução proposta neste trabalho passa a ser um exemplo a ser seguido ou parametrizado. A sua utilização é ainda mais viável em obras ferroviárias e rodoviárias, ou em locais onde não se tem facilidade de se obter energia da rede pública. Por isto, a solução apresentada pode ser adquirida por empresas de alugueis de contêineres, assim como as próprias construtoras. Além disso, certamente há cada vez mais empreendimentos imobiliários que adotam projetos e práticas sustentáveis, para um cliente cada vez mais preocupado com o meio ambiente e atento a inovações, como o aquecimento de água por sistema solar térmico.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3. ed. Brasília, 2008

ASEA BROWN BOVERI S.A. **Brazil**: energy efficiency report. Zürich, 2013. Disponível em:

<<http://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK105713A8595&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>>. Acesso em: 26 maio 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.284**: áreas de vivência em canteiros de obra – procedimento. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 7.198**: projeto e execução de instalações prediais de água quente – procedimento. Rio de Janeiro, 1993.

_____. **NBR 15.569**: sistema de aquecimento solar de água em circuito direto – projeto e instalações. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO. **Manual de capacitação em projetos de sistemas de aquecimento solar**. São Paulo, 2008.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Histórico das taxas de juros**. Brasília, DF, 2014. Disponível em: <<http://www.bcb.gov.br/?COPOMJUROS>>. Acesso em: 26 maio 2014.

BENVENUTI, P. Tarifa branca: “negócio da China” para as distribuidoras. **Brasil de Fato**, São Paulo, não paginado, 10 ago. 2013. Disponível em: <<http://www.brasildefato.com.br/node/25849>>. Acesso em: 15 set. 2013.

BEZERRA, A. M. **Pluralismo Energético**. João Pessoa: Sal da Terra, 2010

CASAROTTO FILHO, N.; KOPITCKE, B. H. **Análise de investimentos**: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão, estratégia empresarial. 11. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

CASSOL, G. Publicação eletrônica [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <rossetto.r@gmail.com.br> em 17 jun. 2014.

DUARTE, P. N. A. **Colectores Solares Térmicos**: análise de desempenho térmico de soluções tecnológicas no mercado. 2012. 164 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2012.

ECOBIX CONTAINERS LTDA. Publicação eletrônica [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <rossetto.r@gmail.com.br> em 31 mar. 2014.

HIRSCHFELD, H. **Engenharia econômica e análise de custos**: aplicações práticas para economistas, engenheiros, analistas de investimentos e administradores. 6. ed. rev. atual. e ampl. São Paulo: Atlas, 1998.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Índices de preços ao consumidor: IPCA e INPC**. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/precos/inpc/ipca-inpc_201404_1.shtm>. Acesso em: 26 maio 2014.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Sistemas e equipamentos para aquecimento solar de água – coletores solares**: edição 07/14. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/ColetoresSolares-banho.pdf>>. Acesso em: 26 maio 2014.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Solar (PV and CSP)**. [S. l.], 2013a. Não paginado. Disponível em: <<http://www.iea.org/topics/solarpvandcsp/>>. Acesso em: 15 set. 2013.

_____. **Solar Heat**. [S. l.], 2013b. Não paginado. Disponível em: <<http://www.iea.org/topics/solarheat/>>. Acesso em: 15 set. 2013.

KESSLER, E. Our food and fuel future. In: PIMENTEL, D. (Ed.). **Biofuels, solar and wind as renewable energy systems: benefits and risks**. Ithaca, USA: Springer, 2008. p. 259-294.

MOTTA, R. R. da; CALÔBA, G. M. **Análise de investimentos**: tomada de decisão em projetos industriais. 1. ed. 7 reimpr. São Paulo: Atlas, 2011.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; ABREU, S. L. de; RÚTHER, R. **Atlas brasileiro de energia solar**. 1 ed. São José dos Campos: INPE, 2006.

ROSA, F. N. da. **Aplicabilidade de coletores solares com tubo evacuado no Brasil**. 2012. 51f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

SAMSON, R.; LEM, C. H.; STAMLET, S. B.; DOOPER, J. Developing energy crops for thermal applications: optimizing fuel quality, energy security and GHG mitigation. In: PIMENTEL, D. (Ed.). **Biofuels, solar and wind as renewable energy systems: benefits and risks**. Ithaca, USA: Springer, 2008. p. 395-423.

VASCONCELLOS, L. E. M. de; LIMBERGER, M. A. C. (Org.) **Energia solar para aquecimento de água no Brasil**: contribuições da Eletrobras, Procel e parceiros. Rio de Janeiro: Eletrobras, 2012.

ANEXO A – Valores sugeridos para consumo diário de água quente
(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008)

Proveniente do Anexo C da NBR 15.569/2008, a tabela A.1, abaixo, é referência para dimensionamento de instalações de água quente quando se necessita de informações do consumo racional de água. A mesma Norma salienta que cada instalação é dotada de especificações distintas. Portanto, os valores extraídos desta tabela devem ser compatíveis com a utilização da instalação (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 33).

Tabela A.1 – Consumo de pontos de utilização de água quente

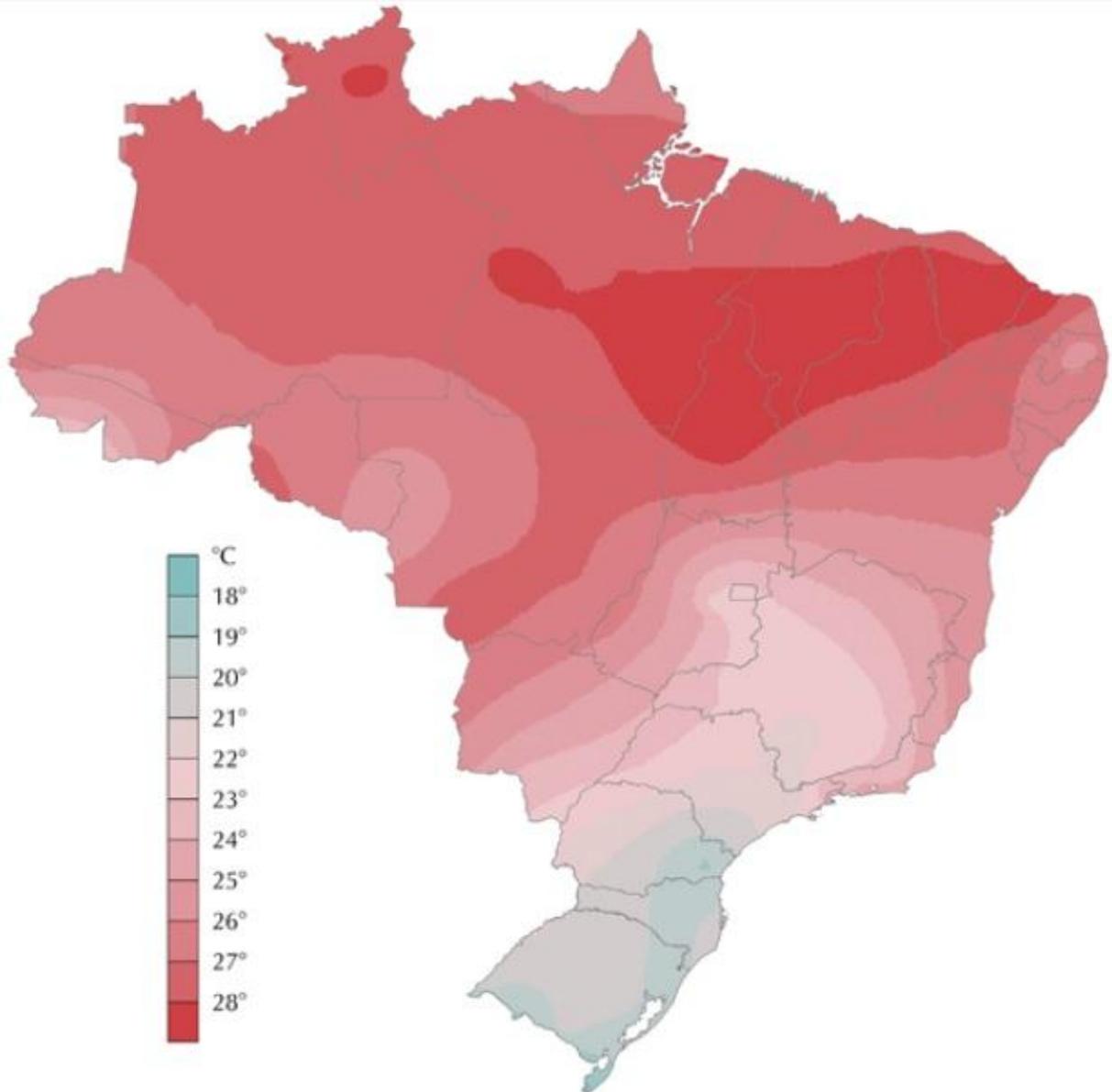
Peças	Consumo mínimo	Consumo máximo	Ciclo diário (minuto/pessoa)	Temperatura de consumo °C
Ducha de banho	3,0 L/min	15,0 L/min	10	39 – 40
Lavatório	3,0 L/min	4,8 L/min	2	39 – 40
Ducha higiênica	3,0 L/min	4,8 L/min	2	39 – 40
Banheira	80 L	440 L	banho	39 – 40
Pia de cozinha	2,4 L/min	7,2 L/min	3	39 – 40
Lava-louças (12 pessoas)	20 L	20 L	ciclo de lavagem	39 – 50
Máquina de lavar roupa	90 L	200 L	ciclo de lavagem	39 – 40

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008)

ANEXO B – Temperatura média anual nas regiões brasileiras
(fonte: PEREIRA et al., 2006)

Proveniente do Anexo D da NBR 15.569/2008, para melhor visualização, em cores, a figura B.1, foi extraída da fonte a qual a Norma utiliza como referência.

Figura B.1 – Mapa da média anual de temperatura

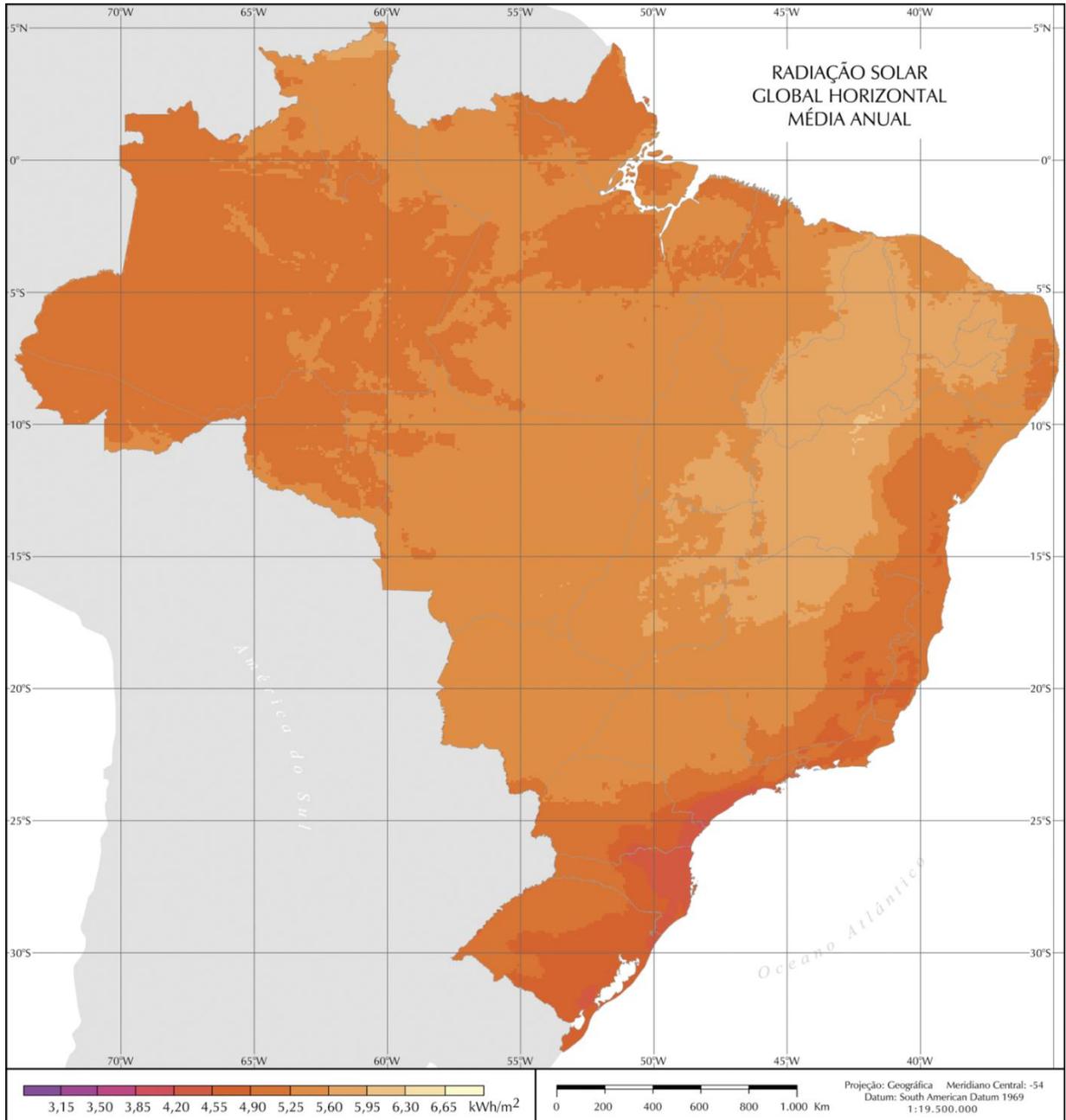


(fonte: PEREIRA et al., 2006)

**ANEXO C – Radiação solar global diária em
média anual nas regiões brasileiras
(fonte: PEREIRA et al., 2006)**

Proveniente do Anexo E da NBR 15.569/2008, para melhor visualização, em cores, a figura C.1, foi extraída da fonte a qual a Norma utiliza como referência.

Figura C.1 – Mapa da radiação solar global horizontal média anual



(fonte: PEREIRA et al., 2006)