

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA – UFSM  
UNIVERSIDADE ABERTA DO BRASIL – UAB  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA  
APLICADA AOS PROCESSOS PRODUTIVOS

Taciana Rodrigues de Oliveira

**ANÁLISE DA VIABILIDADE ECÔNOMICA DA IMPLANTAÇÃO DE UM  
SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR PARA BANHO EM VESTIÁRIO  
DE INSTITUIÇÃO PÚBLICA**

Novo Hamburgo, RS  
2019

Taciana Rodrigues de Oliveira

**ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA  
DE AQUECIMENTO SOLAR PARA BANHO EM VESTIÁRIO DE INSTITUIÇÃO  
PÚBLICA**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos (EaD), da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Especialista em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos**.

Orientador: Dr. Giane Grigoletti

Novo Hamburgo, RS  
2019

Taciana Rodrigues de Oliveira

**ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA  
DE AQUECIMENTO SOLAR PARA BANHO EM VESTIÁRIO DE INSTITUIÇÃO  
PÚBLICA**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Especialista em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos**.

**Aprovado em 17 de janeiro de 2019:**

---

**Giane Grigoletti, Dr. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)

---

**Geomar Machado Martins, Dr. (UFSM)**

---

**Isis Portland dos Santos, Dr. (UFSM)**

Novo Hamburgo, RS  
2019

## RESUMO

### ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR PARA BANHO EM VESTIÁRIO DE INSTITUIÇÃO PÚBLICA

AUTORA: Taciana Rodrigues de Oliveira

ORIENTADORA: Giane Grigoletti

O uso de soluções alternativas de geração de energia é necessário para desafogar o sistema de geração considerando o alto consumo relacionado a diferentes situações, como edificações residenciais e públicas. Este trabalho teve como objetivo verificar a viabilidade econômica de implantação de um sistema de aquecimento solar para água de banho em um vestiário, de uma instalação pública localizada na região sul do Brasil, em comparação ao uso de chuveiros elétricos convencionais. O método de dimensionamento utilizado foi *f-Chart*. O dimensionamento para 200 banhos diários resultou em 115 coletores solares do tipo plano fechado, com área coletora de 230m<sup>2</sup>, e dois reservatórios de 3m<sup>3</sup>, cada qual com uma resistência elétrica de 2kW, proporcionando uma fração solar anual de 114%, havendo a necessidade do uso de fonte auxiliar para complementar os 25%. As comparações dos custos resultaram em um tempo de retorno, por payback simples, de 08,23 anos, e, por payback descontado, de 10,96 anos. O valor presente líquido e a taxa interna de retorno indicaram a viabilidade de implantação do sistema, considerando a vida útil do mesmo para 20 anos. Frente a estes resultados, conclui-se que é viável a implantação do sistema, tendo em vista que a instituição é uma permanente e terá seu investimento no sétimo ano.

**Palavras-chave:** Aquecimento Solar. Água. Sustentabilidade. Economia.

## ABSTRACT

### ANALYSIS OF THE ECONOMIC VIABILITY OF THE IMPLEMENTATION OF A SOLAR HEATING SYSTEM FOR BATH IN A PUBLIC INSTITUTION DRESS

AUTHOR: Taciana Rodrigues de Oliveira

ADVISOR: Giane Grigoletti

The use of alternative power generation solutions is necessary to unleash the generation system considering the high consumption related to different situations, such as residential and public buildings. The objective of this work was to verify the economic feasibility of installing a solar heating system for bath water in a dressing room, of a public facility located in the southern region of Brazil, in comparison to the use of conventional electric showers. The sizing method used was f-Chart. The sizing for 200 daily baths resulted in 115 solar collectors of the closed-plan type, with a collecting area of 230 m<sup>2</sup>, and two 3m<sup>3</sup> reservoirs, each with an electric resistance of 2kW, providing an annual solar fraction of 114%. use auxiliary power supply to complement the 25%. Cost comparisons resulted in a payback time of 8.23 years, and a discounted payback of 10.96 years. The net present value and the internal rate of return indicated the feasibility of implementing the system, considering the useful life of the system for 20 years. In view of these results, it is concluded that it is feasible to implement the system, considering that the institution is permanent and will have its investment in the seventh year.

**Keywords:** Solar heating. Water. Sustainability. Economy.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	1
1.1 OBJETIVOS .....	2
<b>1.1.1 Objetivo Geral .....</b>	<b>2</b>
<b>1.1.2 Objetivos Específicos .....</b>	<b>2</b>
1.2 DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS .....	2
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	4
2.1 ENERGIA SOLAR .....	4
<b>2.1.1 Radiação solar no Brasil.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1.2 Fatores que influenciam na radiação solar .....</b>	<b>8</b>
2.2 SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR DA ÁGUA.....	10
<b>2.2.1 Componentes de um Sistema de Aquecimento Solar.....</b>	<b>10</b>
<b>2.2.2 Tipos de sistemas de aquecimento solar.....</b>	<b>11</b>
2.3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA .....	18
<b>2.3.1 Reservatório de Água .....</b>	<b>19</b>
<b>2.3.2 Área de Coleta .....</b>	<b>20</b>
<b>2.3.3 Demanda Energética Mensal .....</b>	<b>20</b>
<b>2.3.4 Produção Energética do Sistema Solar.....</b>	<b>21</b>
2.4 VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA .....	23
<b>2.4.1 Fluxo de Caixa e Valor Presente Líquido (VPL) .....</b>	<b>24</b>
<b>2.4.2 Taxa Interna de Retorno (TIR).....</b>	<b>25</b>
<b>2.4.3 Payback.....</b>	<b>25</b>
<b>2.4.4 Manutenção e controle da qualidade.....</b>	<b>26</b>
3 MATERIAIS E MÉTODOS .....	27
3.1 EDIFICAÇÃO PÚBLICA EM ESTUDO .....	27
3.2 DIMENSIONAMENTO .....	30
3.3 VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA .....	32
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	34
4.1 DIMENSIONAMENTO .....	34
<b>4.1.1 Reservatório de Água .....</b>	<b>34</b>
<b>4.1.2 Área de Coleta .....</b>	<b>34</b>
<b>4.1.3 Demanda Energética Mensal .....</b>	<b>34</b>

<b>4.1.4 Produção Energética do Sistema Solar.....</b>	<b>35</b>
4.2 VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA .....	39
<b>4.2.1 Consumo de Energia Elétrica.....</b>	<b>39</b>
<b>4.2.2 Consumo de Energia Elétrica com Energia Auxiliar .....</b>	<b>40</b>
<b>4.2.3 Viabilidade de implantação.....</b>	<b>40</b>
5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	44
5.1 CONCLUSÕES .....	44
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	45
REFERÊNCIAS .....	47
ANEXO A - ORÇAMENTO DE 2016 PARA UM SAS EM QUARTEL DE PORTO ALEGRE-RS.....	50

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Irradiação Solar Diária no Plano Inclinado .....	7
Figura 2 - Efeito da inclinação dos raios solares na radiação recebida por unidade de área. ....	9
Figura 3 - Esquema de um SAS .....	12
Figura 4 - Estrutura de um coletor solar .....	13
Figura 5 - Coletor plano fechado .....	14
Figura 6 - Coletor Plano Aberto .....	15
Figura 7 - Coletores Tubo de Vácuo.....	15
Figura 8- Componentes de um reservatório.....	17
Figura 9 - Configuração padrão para sistemas de aquecimento solar de água. ....	18
Figura 10 -Local de Instalação .....	27
Figura 11 - Dados Climáticos tela do RetScreen.....	29
Figura 12 - Radiação Solar versus Temperatura do ar em Porto Alegre .....	30
Figura 13 - Imagem do Coletor SM A20 (SOLAR MINAS, 2018) .....	32



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Demanda energética mensal para o banho .....	35
Tabela 2 - Energia incidente no coletor .....	35
Tabela 3 - Energia absorvida pelo coletor .....	36
Tabela 4 - Parâmetro adimensional $D_1$ .....	36
Tabela 5 - Parâmetro adimensional $D_2$ .....	37
Tabela 6 - Fração solar mensal .....	38
Tabela 7 - Energia útil mensal coletada.....	38
Tabela 8 – Custo do SAS Dimensionado.....	41
Tabela 9 – Payback Simples (PBS).....	41
Tabela 10 – Resultados da Análise de Viabilidade .....	42

## 1 INTRODUÇÃO

É cada vez mais frequente a busca mundial por fontes de energia que possam suprir o crescimento da demanda de forma economicamente viável e sustentável. O Brasil é um país privilegiado, pois tem à disposição uma diversidade de fontes energéticas consolidadas e outras consideradas como promissoras no cenário de médio e longo prazo (PANSANATO, 2016).

Quase todas as fontes de energia, dentre elas a hidráulica, biomassa, eólica, combustíveis fósseis e energia dos oceanos, são formas indiretas de energia solar. A energia solar é ofertada como uma das grandes soluções para a produção de energia sustentável (SME-RS, 2017).

A radiação solar pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica, para aquecimento de fluidos e ambientes e para geração de potência mecânica ou elétrica. Pode ainda ser convertida diretamente em energia elétrica, por meio de efeitos sobre determinados materiais, entre os quais se destacam o termoelétrico e o fotovoltaico (SME-RS, 2017).

A utilização dessa forma de energia, existente em abundância no Brasil, tem experimentado grande crescimento em função de uma maior conscientização mundial da necessidade de utilização de fontes renováveis de produção sustentável. Entre os vários processos de aproveitamento da energia solar, os mais usados atualmente são o aquecimento de água e a geração fotovoltaica de energia elétrica (SME-RS, 2017).

No Brasil, o aquecimento de água é mais comum nas regiões Sul e Sudeste, devido a características climáticas, por serem regiões mais frias, a água quente é desejável para o banho. Já a, geração fotovoltaica nas regiões Norte e Nordeste, é indicada em comunidades onde a distribuição de energia elétrica não as alcança (CHEN, 2011).

A conversão direta da energia solar em energia elétrica ocorre pelos efeitos da radiação (calor e luz) sobre determinados materiais, particularmente os semicondutores. Os coletores solares transferem a energia solar absorvida para o fluido a ser aquecido. A possibilidade de utilização da energia solar em edifícios residenciais permite ao consumidor o uso dessa alternativa energética de forma complementar a sistemas convencionais, além de contribuir para as questões ambientais (CHEN, 2011).

Segundo Lopo (2010), o aquecimento solar de água, a geração indireta de energia elétrica através do uso de coletores solares e a conversão direta da energia solar em energia elétrica através do uso das células fotovoltaicas representam aplicações viáveis e suas utilizações têm crescido exponencialmente em todo o mundo, principalmente nos países mais desenvolvidos.

A redução do consumo de eletricidade é a principal vantagem da utilização dos coletores solares térmicos, visto que parte da energia elétrica que seria disponibilizada para o aquecimento de água (geralmente do chuveiro) passa a ser substituída pelo aquecimento direto proporcionado pelos coletores. Além disso, ressalta-se que o nível de manutenção desses equipamentos é relativamente baixo, pois na maioria das vezes não há moto-bombas nem outras partes móveis, evitando gastos gerados por algum tipo de desgaste mecânico (ROSETTO, 2014).

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar a viabilidade econômica de implantação de um sistema de aquecimento solar para banho em vestiário de uma instituição pública, localizada no sul do país.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Apresentar as tecnologias e metodologias necessárias a composição de um projeto de aquecimento solar.
- Dimensionar um sistema de aquecimento solar para banho em vestiário de uma instituição pública, localizada no sul do país,
- Analisar a viabilidade de implantação de um sistema de aquecimento solar para banho em vestiário com apoio de um sistema de aquecimento elétrico no inverno.

## 1.2 DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS

No primeiro capítulo é apresentada uma contextualização da energia solar e sua utilização como fonte de energia. No segundo capítulo foi realizado um levantamento de literatura quanto sobre a energia solar, radiação solar e seus fatores de influência para o seu aproveitamento, tipos de sistemas de aquecimento solar e

seus componentes, normas de dimensionamento de viabilidade de implantação de um sistema de aquecimento solar. No terceiro capítulo é apresentada a metodologia de dimensionamento, dados de entrada, e a de viabilidade de implantação do sistema proposto. No quarto capítulo é aplicada a metodologia proposta no capítulo 4 e tem-se o resultado do dimensionamento e estudo de viabilidade do sistema. No quinto capítulo é apresentada a conclusão do trabalho, tendo por base os resultados encontrados. No sexto e último capítulo são feitas sugestões para elaboração de trabalhos futuros.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 ENERGIA SOLAR

Citando Pereira (2006), pode-se dizer que a energia proveniente do Sol, tem sido utilizada pelo homem ao longo de toda sua história, sendo possível suprir as suas necessidades básicas de aquecimento, iluminação e alimentação (via fotossíntese e cadeias alimentares).

De acordo com Tomalsquim (2016), ao fazer referência de uma forma de energia renovável e praticamente inesgotável, tem-se na energia solar essa fonte, que pode ser aproveitada pela sociedade para suprir suas necessidades energéticas. De toda energia solar que chega à Terra, aproximadamente metade atinge a superfície, totalizando cerca de 885 milhões de TWh/ano, mais de 8.000 vezes o consumo final total de energia mundial em 2013. Desta forma, se confere à fonte solar, considerando seus múltiplos usos, o maior potencial técnico de aproveitamento frente a outras fontes renováveis.

A história mostra que o aproveitamento energético do Sol não é novidade. No início do processo de civilização, a apropriação da energia pela humanidade se deu através da agricultura e da pecuária, as quais por meio do aproveitamento controlado da fotossíntese e da cadeia alimentar processam a energia direta do Sol). Além do citado, há diversas outras maneiras de aproveitamento da energia solar, sendo a iluminação e o calor, talvez, as mais evidentes para a população (SAUER; AMADO; MERCEDES, 2011).

Indiretamente, o sol tem uma participação em quase todas outras fontes de energia, podendo ser considerada uma energia primária por excelência. A evaporação, por exemplo, acontece por causa do sol, a origem das águas para os represamentos também. A radiação solar também induz a circulação atmosférica em larga escala, causando os ventos. Petróleo, carvão e gás natural foram gerados a partir de resíduos de plantas e animais que, originalmente, necessitam da energia solar (PEREIRA, 2006).

O Brasil está situado numa região com incidência mais vertical dos raios solares, favorecendo elevados índices de irradiação em quase todo o seu território.

Adicionalmente, a proximidade à linha do equador faz com que haja pouca variação na incidência solar ao longo do ano. Dessa forma, mesmo no inverno pode haver bons níveis de irradiação (TOMALSQUIM, 2016).

Para fins de análise, a radiação solar que atinge a superfície terrestre pode ser decomposta em planos. No plano horizontal, a radiação global consiste na soma das componentes direta e difusa, enquanto que num plano inclinado, além das duas componentes citadas, é acrescida de uma parcela refletida pela superfície e pelos elementos do entorno (PEREIRA, 2016).

A Terra, ao realizar o movimento de translação determina um plano, denominado de plano da eclíptica, ou plano da órbita da Terra ao redor do Sol. O movimento de rotação, por sua vez, é realizado em torno de um eixo que possui uma inclinação fixa de  $23,45^\circ$  em relação à perpendicular do plano da eclíptica. Esta inclinação ocasiona a mudança das estações ao longo do ano, com dias mais longos e o sol mais alto no céu entre os equinócios, nos meses de setembro e março no hemisfério sul (TOMALSQUIM, 2016).

Dada a variação do recurso solar ao longo do dia, do ano, e da localidade, este não pode ser considerado como constante. Grande parte destas variações se deve à geografia terrestre e seus movimentos astronômicos de rotação e translação, os quais possibilitam certa previsibilidade do recurso. No entanto, a estas variações somam-se aquelas causadas por fenômenos climáticos, como a formação de nuvens e poluição do ar, os quais são mais difíceis de prever (AITA, 2006).

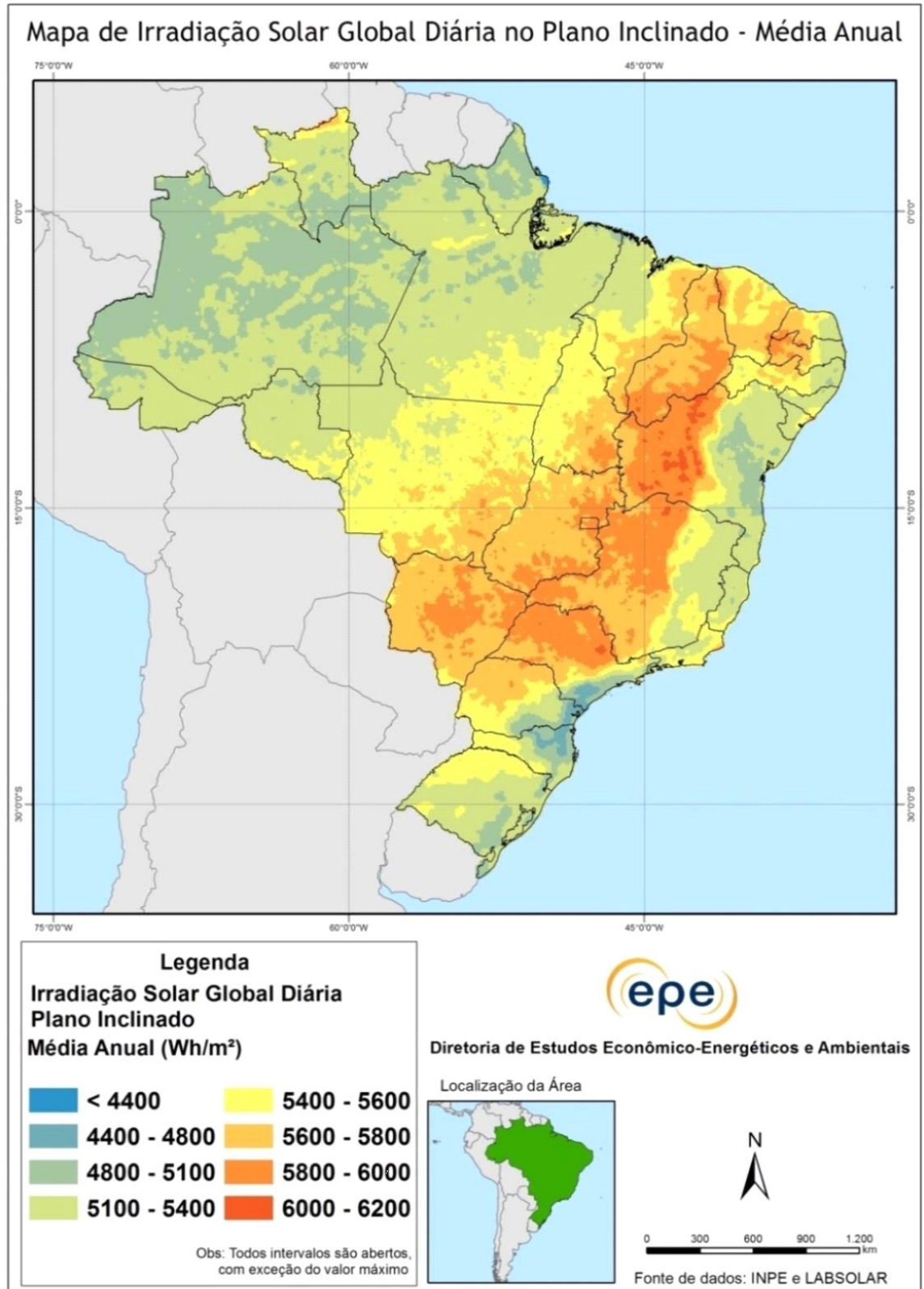
### **2.1.1 Radiação solar no Brasil**

O Brasil possui incidência mais vertical dos raios solares devido ao fato de estar situado quase que totalmente na região limitada pelos Trópicos de Câncer e de Capricórnio. Esta condição favorece elevados índices de incidência da radiação solar em quase todo o território nacional, inclusive durante o inverno, o que confere ao país condições vantajosas para o aproveitamento energético do recurso solar (TOMALSQUIM, 2016).

Além disso, a localização próxima à linha do Equador propicia uma baixa variabilidade anual. Em comparação à média de longo prazo, é menor do que a observada na geração eólica ou hidrelétrica (TOMALSQUIM, 2016).

A vantagem brasileira no que diz respeito à insolação decorre do fato de ser localizado na zona tropical e equatorial, possuindo cerca de oito horas de incidência direta de luz solar por dia. Motivo pelo qual, é um excelente mercado para o sistema solar fotovoltaico e para o aquecimento solar de água através da radiação solar (PEREIRA, 2006). A figura 1 apresenta os dados brasileiros de irradiação solar horizontal no plano inclinado, adequado às aplicações fotovoltaicas e de aquecimento.

Figura 1 - Irradiação Solar Diária no Plano Inclinado



Fonte: INPE e LABSOLAR apud Tomalsquim (2016)

Tomalsquim (2016) explica que o mapa apresentado na figura 1, ilustra as regiões onde a irradiação solar é maior no Brasil, indicando, inicialmente, as melhores áreas para o aproveitamento solar. Analisando-se exclusivamente este fator, observa-



se que o oeste da Bahia é dos lugares mais favoráveis, bem como o Vale do São Francisco, Piauí, Mato Grosso do Sul, leste de Goiás e oeste do Estado de São Paulo.

De maneira geral, percebe-se, na figura 1, que a irradiação global é relativamente bem distribuída pelas regiões do país. Mas, todo o litoral leste, do Rio Grande do Sul ao recôncavo baiano, área mais densamente povoada, apresenta os menores índices de irradiação verificados no país.

O Nordeste apresenta os maiores valores de irradiação solar global, com a maior média e a menor variabilidade anual entre as regiões geográficas, sendo que os valores máximos de irradiação solar no país são observados na região central do estado da Bahia (6,5 kWh/m<sup>2</sup>/dia), incluindo parcialmente o noroeste de Minas Gerais. Há, durante todo o ano, condições climáticas que conferem um regime estável de baixa nebulosidade e alta incidência de irradiação solar para essa região semiárida. (TOMALSQUIM, 2016).

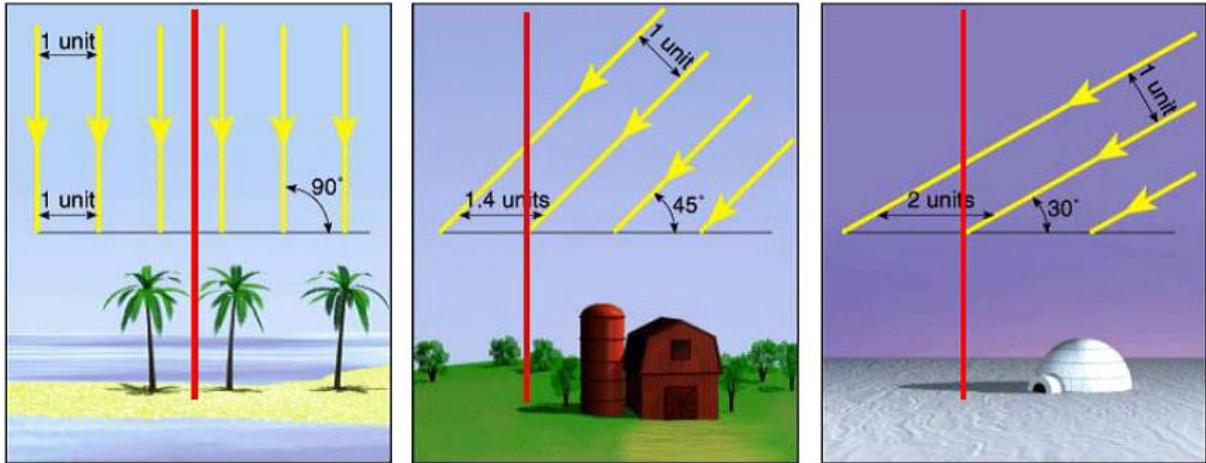
A região Sul apresenta os menores valores de irradiação global média no Brasil, em especial, a costa norte do estado de Santa Catarina (4,25 kWh/m<sup>2</sup>/dia), litoral do Paraná e litoral sul de São Paulo. Além disso, apresenta também a maior variabilidade média anual. As características de clima temperado e a influência de massas de ar polares contribuem para o aumento da nebulosidade nessa região, principalmente durante os meses de inverno, fatores de influência da disponibilidade da radiação solar (TOMALSQUIM, 2016).

### **2.1.2 Fatores que influenciam na radiação solar**

A disponibilidade de radiação solar, e energia total incidente, depende das condições atmosféricas (nebulosidade, umidade relativa do ar etc.), da latitude local e da posição no tempo (hora do dia e dia do ano) (SME -RS, 2017).

Dadas as proporções entre o Sol e a Terra, pode-se afirmar que os raios solares atingem a Terra paralelamente, e com uma intensidade constante numa superfície imaginária perpendicular aos raios, na borda da atmosfera terrestre. Porém, nem toda superfície na Terra é perpendicular aos raios solares, o que diminui a insolação num plano horizontal (PEREIRA, 2006). A irradiância solar varia de acordo com a posição terrestre e o conseqüente o ângulo de incidência dos raios solares (Figura 2).

Figura 2 - Efeito da inclinação dos raios solares na radiação recebida por unidade de área.



Fonte: Pereira (2006)

Assim sendo, regiões próximas à linha do Equador apresentam menor variação da irradiação ao longo do ano, enquanto localidades em grandes latitudes apresentam os maiores valores de irradiação em meses do verão, mas durante o inverno apresentam os menores, de modo que a energia anual total recebida seja menor nas maiores latitudes (PEREIRA, 2006).

O resultado da radiação solar incidente na superfície terrestre sofre o efeito da atmosfera. Durante a passagem da radiação pela atmosfera, a luz solar interage com moléculas do ar (principalmente vapor de água, dióxido de carbono e ozônio), fazendo com que parte da luz seja absorvida ou refletida na direção contrária a superfície terrestre. Dessa forma, a irradiância espectral que atinge a terra é menor (TOMALSQUIM, 2016).

Esse processo também depende de quão espessa é a camada de atmosfera que a luz solar precisa atravessar. Quanto mais baixo estiver o Sol no céu, maior a atenuação da atmosfera sobre a radiação. Adicionalmente, soma-se a esse efeito a absorção e dispersão causada por nuvens (TOMALSQUIM, 2016).

O aproveitamento do recurso pode ser otimizado através da orientação dos painéis solares. O resultado do efeito da inclinação dos coletores é mais significativo quanto maior a latitude. (TOMALSQUIM, 2016).

Segundo Galdino (2014) *apud* Tomalsquim (2016), mesmo considerado como ideal, o posicionamento em ângulo igual à latitude do local não é regra absoluta. Se for desejado maximizar a irradiação em determinada estação ou mês, é possível orientar os coletores ao ângulo que favoreça a aplicação. Em aplicações de aquecimento, por exemplo, pode ser desejado maximizar a irradiação sobre os

coletores nos meses de inverno, isso é possível com a alteração dos painéis para um ângulo maior que a latitude do local. Mesmo em regiões próximas à linha do Equador, é desejável que se empregue um ângulo mínimo de 10° nos projetos, de forma a evitar o acúmulo de sujeira sobre módulos e facilitar a limpeza natural por meio da chuva.

## 2.2 SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR DA ÁGUA

### 2.2.1 Componentes de um Sistema de Aquecimento Solar

Os sistemas de aquecimento de água (SAS) utilizando a energia solar são compostos por coletores solares, reservatórios térmicos, fonte auxiliar de energia e tubulações isoladas termicamente, que interligados aquecem a água (MESQUITA,2011).

De forma geral, o sistema solar de energia térmica é composto pelos seguintes itens (MESQUITA, 2011):

- a) coletor solar: pode ser um ou mais, possui a função de transformar a radiação solar incidente em energia térmica;
- b) reservatório térmico: acumulador solar – depósito de água quente; seu tamanho do tanque deve ser compatível com o uso a que se destina;
- c) circuito hidráulico: composto por tubulação, bombas circuladoras, válvulas e grupo de circulação;
- d) central de controle: elementos de controle e regulação que asseguram o correto funcionamento do sistema; e
- e) apoio energético: sistemas complementares de aquecimento que são acionados apenas em momentos em que a radiação incidida sobre os painéis não foi suficiente para o pleno aquecimento da água.

### **2.2.2 Tipos de sistemas de aquecimento solar**

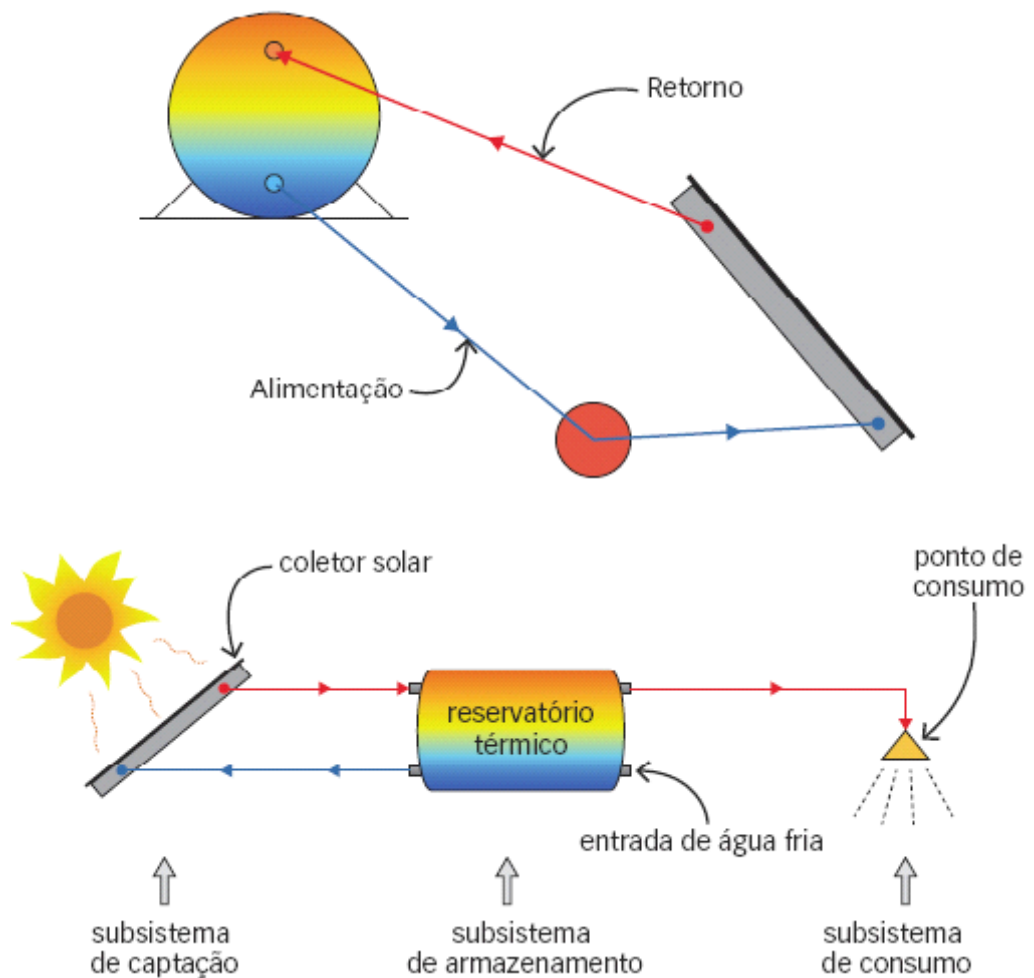
Existem dois tipos de sistemas solares térmicos, que se diferenciam pela forma como a água circula dentro do sistema: o sistema de circulação em termossifão e o sistema com circulação forçada (MESQUITA, 2011).

O sistema de circulação em termossifão fundamenta-se na termodinâmica e na força da gravidade. Com a variação da temperatura da água há uma mudança na sua densidade, que faz com que a água aquecida, com menor densidade, suba naturalmente para o reservatório e que a água fria desça para o painel solar. Esse sistema dispensa a utilização de bombas elétricas, sendo mais econômico e mais simples de instalar. Para alguns casos, pode ser menos eficiente que o de circulação forçada, além de exigir que o reservatório esteja, necessariamente, posicionado acima dos painéis (MESQUITA, 2011).

O sistema de circulação forçada geralmente apresenta o reservatório de água separado dos coletores, permitindo então o posicionamento do reservatório abaixo dos coletores, podendo ser instalado em qualquer compartimento da edificação, enquanto os coletores geralmente são instalados na cobertura. Ao contrário do sistema de circulação em termossifão, o de circulação forçada precisa de bombas de água que são controladas eletronicamente (CHEN, 2011).

Em geral, o funcionamento de um SAS (Figura 3) ocorre da seguinte maneira: a água fria entra pela parte inferior do reservatório térmico, que alimenta o coletor solar e onde a água é aquecida. Na medida em que ocorre o aquecimento da água, por diferença de densidade, a água quente (mais leve) retorna para a parte superior do reservatório térmico. Da parte superior do reservatório sai a tubulação para abastecer os pontos de consumo (MESQUITA, 2011).

Figura 3 - Esquema de um SAS



Fonte: Mesquita (2011)

Para as regiões em que a irradiação solar não é constante, se faz necessário um sistema auxiliar de aquecimento, geralmente elétrico ou a gás, que atua garantindo que haja água quente mesmo nos momentos em que a radiação solar não é suficiente para aquecê-la completamente (CHEN, 2011).

Nos itens que seguem são apresentados a constituição dos sistemas de aquecimento solar e seus componentes.

### 2.2.1.1 – Coletores

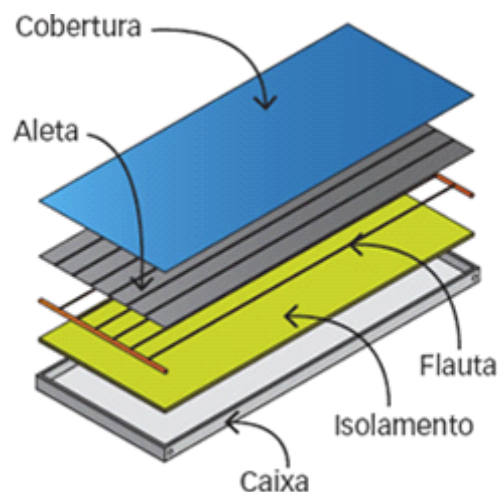
O coletor solar é um trocador de calor que transforma a energia solar radiante em calor, um dispositivo feito para absorver a maior quantidade possível de radiação solar, e transferir a maior parte desta radiação para um determinado fluido. Os mesmos são vendidos em módulos que podem ser acoplados entre si conforme a

necessidade de energia de aquecimento. No mercado encontram-se disponíveis no mercado diversos tipos e modelos de sistemas de aquecimento solar, com características específicas para aplicações prediais (MESQUITA, 2011).

Os modelos de coletores utilizados no Brasil se dividem em dois principais tipos: coletor aberto, para piscina (de material plástico sem fechamento de vidro) e coletor fechado, para banho (de material metálico e fechado com vidro). Ainda existem os coletores tubulares a vácuo (MUND, 2014).

Quanto à composição dos coletores, sua superfície possui aletas feitas de cobre ou alumínio (Figura 4), comumente pintadas de uma cor escura para maior absorção da radiação solar. Assim, estas aletas captam essa radiação para então transformá-la em calor. O calor é então absorvido pelo líquido presente no interior dos painéis, que é em seguida transportado por bombeamento através de tubos isolados, até que chegue ao depósito de água quente (reservatório térmico ou boiler) (MESQUITA, 2011).

Figura 4 - Estrutura de um coletor solar



Fonte: Mesquita (2011)

#### a. *Coletores Planos fechados*

Nos coletores planos o fluxo da irradiância é uniforme para toda a sua superfície coletora. São equipamentos destinados a aquecer a água a temperaturas compatíveis ao uso sanitário e outras aplicações. Segundo Chen (2011), os principais componentes de um coletor plano fechado (Figura 5), utilizado para banho, são:

- a) caixa externa: geralmente feita de alumínio, sua função é suportar os demais componentes;

- b) isolamento térmico – feito de materiais de baixo coeficiente de condutividade térmica (lã de vidro ou de rocha, ou espuma de poliuretano, por exemplo), tem por objetivo reduzir as perdas de calor entre a placa absorvedora e a estrutura do coletor (caixa) para o meio;
- c) tubos (chamados de flauta e calhas superior e inferior) - são tubos conectados entre si, sendo geralmente feitos de cobre (bom condutor de calor), tem a finalidade de conduzir o fluido a ser aquecido e transferir a energia absorvida da placa absorvedora para o fluido;
- d) aletas (placa absorvedora) – responsáveis pela absorção e transferência da energia solar para a água, são feitas de alumínio ou cobre e são pintadas de preto fosco para aumentar a absorção da radiação; e
- e) cobertura transparente – proteção contra a ação meteorológica, permite a passagem de grande parte da radiação solar (vidro) e retém grande parte da radiação emitida pela placa absorvedora, reduz as perdas de calor por convecção entre a placa absorvedora e o ambiente, pode ser dispensado (quando não se deseja altas temperaturas).

Figura 5 - Coletor plano fechado



Fonte: Dasol (2009)

#### *b. Coletor Plano Aberto*

O coletor aberto não apresenta caixa externa, cobertura e isolamento térmico, sendo menos eficiente no aquecimento da água a temperaturas mais elevadas do que o coletor fechado.

De acordo com Mesquita (2011), o coletor aberto (Figura 6), utilizado para aquecimento de piscinas, é fabricado com material plástico, mais resistente aos agentes químicos utilizados no tratamento da água da piscina, e não possui vidro, pois a temperatura ideal (entre 26°C e 27°C) é inferior à temperatura de banho (próxima a 40°C).

O coletor solar sem cobertura (Figura 6) permite a incidência da radiação solar diretamente na placa absorvedora. Pela inexistência de cobertura, não retém a radiação emitida pela placa absorvedora e produz aquecimento a temperaturas menores que a dos coletores com cobertura, tornando-os mais adequados para aplicações que exigem temperaturas mais baixas, como por exemplo, o aquecimento de piscina (DASOL, 2009).

Figura 6 - Coletor Plano Aberto



Fonte: Dasol (2009)

### *c. Coletores tubulares à vácuo*

Coletores tubulares a vácuo aplicam-se a usos em que é necessária água a temperaturas mais elevadas, ou até mesmo vapor, como pode acontecer em hospitais (Figura 7). Temperaturas mais elevadas podem ser obtidas através da redução da perda térmica no coletor solar (DASOL, 2009).

Figura 7 - Coletores Tubo de Vácuo



Fonte: Dasol (2009)



A eficiência dos coletores varia em função das condições climáticas do local, possuindo um comportamento característico para cada coletor, principalmente em função da diferença de temperatura entre a água na entrada e na saída do coletor. A definição da melhor placa para determinadas aplicações deve ser feita em função das curvas de eficiência, que podem ser obtidas com os dados fornecidos pela Tabela de Eficiência dos coletores solares do INMETRO (CHEN, 2011).

A inclinação em relação ao plano horizontal e a direção de instalação dos coletores solares são elementos que influenciam o dimensionamento do sistema de aquecimento solar. Os coletores devem estar expostos ao sol de maneira que a incidência da radiação solar atinja o coletor perpendicularmente. Em decorrência da variação da inclinação do sol, conforme a época do ano, os coletores são instalados com uma inclinação que maximiza e uniformiza, mês a mês, a incidência da radiação solar durante o período de um ano. Como regra básica, identificada em diversas metodologias internacionais, é recomendada que a instalação possua uma inclinação equivalente à latitude da região, onde será instalado o sistema solar, somando-se  $10^\circ$  (CHEN, 2011).

Além da inclinação, os coletores devem estar direcionados ao ponto de culminação do sol (ou meio dia solar ou Norte geográfico), posição que permite o maior tempo de incidência do sol ao longo do dia (DASOL, 2009).

#### 2.2.1.1 – Reservatórios térmicos e trocadores de calor

Os reservatórios térmicos servem para armazenamento e conservação da água quente produzida, permitindo sua disponibilização em função da real necessidade dos usuários. Os reservatórios possuem diversas configurações que devem ser analisadas e selecionadas em função das características do sistema de aquecimento e do local da instalação (CHEN, 2011).

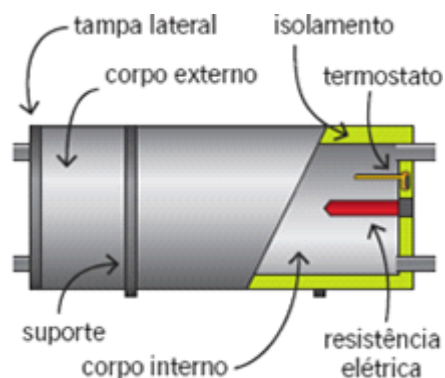
O volume dos reservatórios é uma das principais configurações a serem determinadas. Normalmente deve ser calculado em função da necessidade de água quente. Como os reservatórios armazenam água quente por longos períodos, devem possuir isolamento térmico para reduzir a troca de calor entre a água quente armazenada e o ambiente. Em geral, o isolamento térmico é maior quando os reservatórios ficam expostos ao ambiente.

Os reservatórios podem ser do tipo “sem trocador”, com trocador do tipo serpentina interna e com trocador do tipo “camisa”. No reservatório sem trocador, a água de consumo é a mesma que passa pelo sistema de aquecimento, exceto quando utilizado trocadores externos aos reservatórios. O reservatório com serpentina e o reservatório com camisa são sistemas de troca de calor do tipo indireto, onde a água quente que circula pela serpentina, ou pela camisa externa, troca calor por condução com a água destinada ao consumo (CHEN, 2011).

De acordo com Mesquita (2011), o reservatório térmico é constituído de (Figura 8):

- a) corpo interno – fica em contato direto com a água, deve ser feito de materiais resistentes à corrosão, como cobre e aço inoxidável;
- b) isolamento térmico – minimiza a perda de calor para o meio, fica instalado entre o corpo externo e interno, constituído por lã de vidro ou espuma de poliuretano;
- c) corpo externo – protege o isolamento térmico de intempéries, feito de alumínio, aço galvanizado ou aço carbono pintado;
- d) termostato – aciona a resistência elétrica, quando necessário;
- e) resistência elétrica – responsável pelo aquecimento auxiliar nos dias de baixa irradiância;
- f) suportes – apoio para fixação e instalação do reservatório; e
- g) tampa lateral – vedação do reservatório.

Figura 8- Componentes de um reservatório



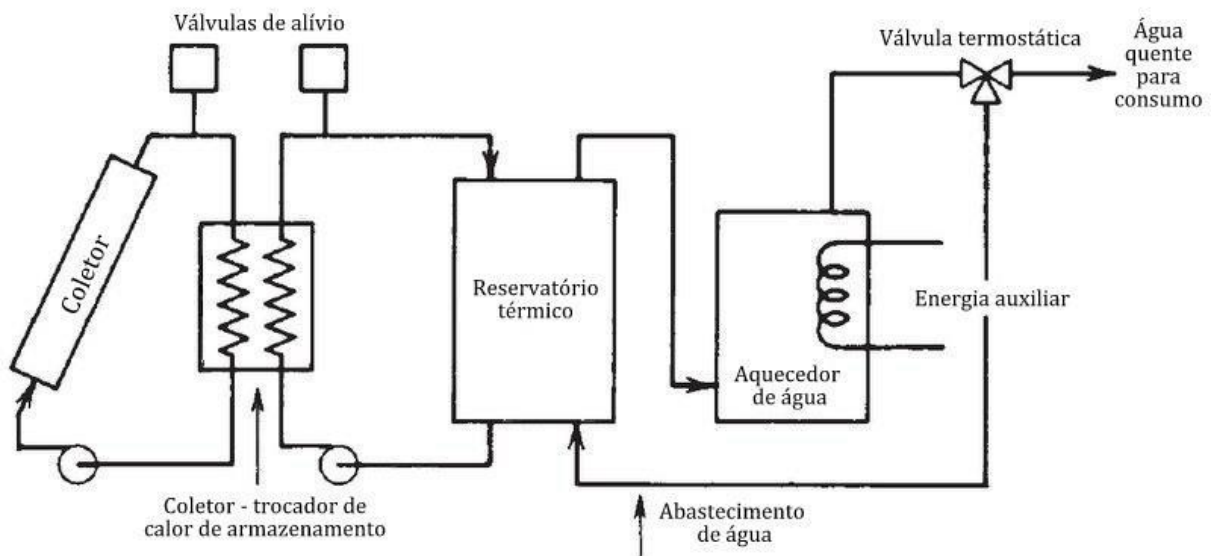
Fonte: Mesquita (2011)

Os trocadores de calor são equipamentos que promovem a troca de calor entre dois fluídos sem que estes se misturem. Para isto existem diversos modelos, podendo

ser do tipo serpentina, placa, aletas, dentre outros. São geralmente utilizados com o intuito de aumentar a vida útil dos coletores solares (MESQUITA, 2011).

Dal Magro (2016) apresenta uma configuração padrão para um sistema de aquecimento solar de água doméstico é mostrado na figura 9, onde o coletor solar pode aquecer ar ou água. A energia solar é transferida através de um trocador de calor para o reservatório térmico, o qual fornece água aquecida pelo sol para o aquecedor auxiliar quando necessário. A válvula termostática deve ser usada para garantir que a água seja entregue a uma temperatura adequada ao usuário.

Figura 9 - Configuração padrão para sistemas de aquecimento solar de água.



Fonte: Dal Magro (2016) adaptado de Duffie e Beckman (2013).

### 2.3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA

O dimensionamento do sistema de aquecimento solar é normalmente baseado na metodologia *f-Chart*, conforme descrito por Chen (2011). Segundo o autor ainda existe a possibilidade de adoção de simplificações encontradas em manuais de fabricantes.

A Norma ABNT NBR 15569 prevê duas metodologias a serem utilizadas, sendo uma delas a *f-Chart* e um segundo método indicado para residências, constante do Anexo B da norma (ABNT, 2008).

O Método *f-Chart* é uma ferramenta utilizada para estimar o desempenho de médio a longo prazo de um sistema solar térmico, usada também para avaliar o comportamento de coletores solares (DAL MAGRO, 2016).

Segundo Dal Magro (2016), este método foi desenvolvido por Klein et al. nos anos 1976 e 1977 e por Beckman et al. em 1977, como resultado de seus estudos acerca da correlação de diversas simulações de sistemas solares térmicos em variáveis dimensionais facilmente calculáveis. Obaco e Jaramillo (2010) *apud* Dal Magro (2016), analisaram a precisão do método comparando o desempenho real de um sistema solar térmico com o desempenho previsto pelo método, obtendo-se um desvio máximo equivalente a 5%, classificando-o como de alto grau de confiabilidade.

Este método tem como principal objetivo a obtenção da *curva f*, a qual representa a fração de carga calorífica mensal transformada a partir da energia solar, e está definida em função dos seguintes parâmetros: a energia absorvida e a energia perdida por reflexão no coletor solar. Nos itens seguintes são detalhados os procedimentos para cálculo do sistema de aquecimento solar com base nas premissas estabelecidas no método *f-Chart* extraído da publicação de Chen (2011).

### 2.3.1 Reservatório de Água

O reservatório tem por finalidade armazenar a água quente gerada através dos coletores solares, que será consumida diariamente pela edificação. Além disso, a acumulação adequada de água quente permite reduzir a temperatura de água na entrada dos coletores solares, evitando uma redução da sua eficiência, lembrando que a eficiência alcançada pelas placas coletoras é maior quanto maior for a diferença entre a entrada de água fria e a saída de água quente na placa.

Segundo recomendações de métodos de dimensionamento, como o *f-Chart*, os reservatórios térmicos devem ter um volume entre 50 e 100 litros por m<sup>2</sup> de coletor solar. Para atender a todas as unidades de consumo, o dimensionamento dos reservatórios é feito através da equação 1 (CHEN, 2011):

$$V_{armaz} = (V_{consumo} \times (T_{consumo} - T_{af})) / ((T_{armaz} - T_{af})) \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

- a) *V consumo*: volume total de água quente consumido diariamente, expresso em litros/dia;

- b)  $V_{armaz}$ : volume de armazenamento do sistema de aquecimento solar (l);
- c)  $T_{consumo}$ : temperatura de consumo de utilização (°C) (sugere-se que seja adotado 40°C);
- d)  $T_{armaz}$ : temperatura de armazenamento da água (°C) ( $T_{armaz} \geq T_{consumo}$ );
- e)  $T_{af}$ : é a temperatura da água fria do local de instalação (°C);

### 2.3.2 Área de Coleta

A área superficial de coleta ( $S_c$ ), área coletora é calculada em função da energia necessária para promover o aquecimento do volume de armazenamento de água quente e atendimento do consumo previsto. Em alguns casos, em função da restrição de área disponível, determina-se a área coletora e em seguida se verifica a disponibilidade de energia para o atendimento da demanda de consumo. Em determinadas regiões existe a obrigatoriedade de atendimento de uma determinada porcentagem da demanda através do uso da energia solar, estabelecendo-se critérios para determinação da área coletora mínima (SINIGAGLIA, 2014).

### 2.3.3 Demanda Energética Mensal

O cálculo da produção de energia solar considera os valores de radiação solar mês a mês, o que permite uma análise mais precisa do aproveitamento térmico solar ao longo do ano, permitindo uma programação de oscilação de energia conforme as diferentes estações climáticas. Para o cálculo da demanda energética mensal deve aplicar a equação 2.

$$DE_{mês} = Q_{dia} \times N \times (T_{consumo} - T_{af}) \times 1,16 \times 10^3 \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde:

- a)  $DE_{mês}$ : demanda energética (kWh/mês) ( $m^3$ );
- b)  $Q_{dia}$ : consumo diário de água quente a temperatura de referência (litros/dia);
- c)  $N$ : número de dias do mês considerado, dias/mês;
- d)  $T_{consumo}$ : temperatura utilizada para a quantificação do consumo de água quente, expressa em graus Celsius (°C) (sugere-se que seja adotado 40°C); e
- e)  $T_{af}$ : temperatura da água fria da rede (°C).

### 2.3.4 Produção Energética do Sistema Solar

De acordo com Duffie e Backman (2013) *apud* Dal Magro (2016) sugere-se utilizar uma fração solar de 75%. Já Aita (2006) recomenda que o valor esteja na faixa de 50 a 70% e a norma ABNT NBR 15569:2008 considera uma fração solar de 70%.

O cálculo da produção energética de uma instalação solar é realizado através do modelo *F-Chart*. Este procedimento prevê a realização dos seguintes passos:

- Cálculo da radiação solar mensal incidente ( $ELmês$ ) sobre a superfície inclinada dos coletores, Equação 4;
- Cálculo do parâmetro  $D_1$ , equação 5;
- Cálculo do parâmetro  $D_2$ , equação 8;
- Determinação da fração energética mensal  $f$ , fornecidas pelo sistema de captação solar, equação 3;
- Grau de cobertura solar ou fração solar anual  $F$ , equação 14;
- Determinação da superfície de coletor solar  $Sc$ , em metros quadrados;
- Cálculo da produção solar mensal e anual

$$f = 1,029D_1 - 0,065D_2 - 0,245D_1^2 + 0,0215D_1^3 \quad (\text{Eq.3})$$

Onde:

- a)  $f$ : fração energética mensal;
- b)  $D_1$ : parâmetro adimensional; e
- c)  $D_2$ : parâmetro adimensional.

Para chegar até o cálculo da produção energética  $f$ , um deles é definir a radiação solar mensal incidente ( $ELmês$ ) sobre a superfície dos coletores (Equação 4).

$$ELmês = Hdia \times N \quad (\text{Eq.4})$$

Onde:

- a)  $Hdia$ : radiação solar incidente no coletor kWh/(m<sup>2</sup>xdia);
- b)  $N$ : número de dias do mês;
- c)  $ELmês$ : radiação solar mensal incidente (kWh/m<sup>2</sup>).

A radiação solar incidente é obtida através de mapas solarimétricos, sendo que os valores variam de região para região.

O parâmetro  $D_1$ , previsto na equação 5, expressa a energia absorvida pelo coletor ( $EA$  mês) e a demanda energética mensal ( $DE$  mês), calculados respectivamente nas equações 6 e 7.

$$D_1 = (EA \text{ mês}) / (DE \text{ mês}) \quad (\text{Eq.5})$$

Pela qual a energia absorvida pelo coletor  $EAmês$  é dada pela Equação 6.

$$EAmês = Sc \times F'r (\pi\alpha) \times EImês \quad (\text{Eq.6})$$

Onde:

- a)  $Sc$ : superfície do coletor ( $m^2$ );
- b)  $F'R (\tau\alpha)$ : fator adimensional fornecido pelo fabricante

$$F'r (\pi\alpha) = F'r (\pi\alpha)n \times \left[ \frac{(\pi\alpha)}{(\pi\alpha)n} \right] \times \frac{F'r}{FR} \quad (\text{Eq.7})$$

Onde:

- a)  $F'r (\pi\alpha)n$ : fator de eficiência óptica do coletor, disponível na tabela de eficiência do coletor do INMETRO;
- b)  $\left[ \frac{(\pi\alpha)}{(\pi\alpha)n} \right]$ : modificador do ângulo de incidência, na ausência desta informação pode-se adotar 0,96 para coletores; e
- c)  $\frac{F'r}{FR}$ : fator de correção do conjunto coletor – trocador, na ausência desta informação pode-se adotar 0,95.

E para o parâmetro que expressa a relação entre  $EPmês$  e  $DEmês$  é utilizada a seguinte Equação 8:

$$D_2 = (EPmês) / (DEmês) \quad (\text{Eq.8})$$

sendo,

$$EPmês = Sc \times F'rUl \times (100 - Tamb) \times \Delta T \times K_1 \times K_2 \quad (\text{Eq.9})$$

Onde:

- a)  $EPmês$ : energia solar mensal não aproveitada pelo coletor (kwh/mês);
- b)  $Sc$ : área total do coletor ( $m^2$ );

- c)  $T_{amb}$ : temperatura média mensal do ambiente ( $^{\circ}\text{C}$ );
- d)  $\Delta T$  = período de tempo (h); e
- e)  $F'rUl$ : fator calculado pela Equação 10.

$$F'r Ul = FrUl \times (F'R/FR) \times 10^{-3} \quad (\text{Eq.10})$$

Onde:

- a)  $F'r Ul$ : coeficiente global de perdas do coletor ( $\text{w/m}^2 \times \text{k}$ ); e
- b)  $(F'R/FR)$ : fator de correção coletor-trocador, recomendado utilizar 0,95.

O  $K_1$  é fator de correção para o armazenamento, dado pela Equação 11.

$$K_1 = [Varmaz / (75 \times Sc)]^{-0,25} \quad (\text{Eq.11})$$

Onde:  $Varmaz$  é o volume de acumulação solar (litros).

O  $K_2$  é o fator de correção para o sistema de aquecimento solar () é dado pela Equação 12.

$$K_2 = (11,6 + 1,18T_{consumo} + 3,86T_{af} - 2,32T_{amb}) / (100 - T_{amb}) \quad (\text{Eq.12})$$

Sendo  $T_{consumo}$  a temperatura mínima admissível da água quente ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Por fim, para calcular a fração solar anual  $F$  é necessário encontrar a energia absorvida pelo sistema de aquecimento ( $\text{kWh/mês}$ ), com a Equação 13:

$$EUmês = f \times DEmês \quad (\text{Eq.13})$$

Com isso a fração solar anual  $F$  que a superfície dos coletores ( $Sc$ ) proporciona e calculada com a Equação 14.

$$F = (\sum_1^{12} EUmês) / (\sum_1^{12} DEmês) \quad (\text{Eq.14})$$

Chen (2011), afirma que caso a fração solar anual obtida não seja satisfatória, os cálculos deverão ser repetidos até obter uma superfície de captação  $Sc$  que satisfaça a condição estabelecida.

## 2.4 VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA



A fim de tornar a instalação deste sistema de aquecimento solar atrativa, é de fundamental importância estimar o ganho esperado e o tempo de retorno do investimento inicialmente feito.

De acordo com Chen (2011), o tempo de retorno do investimento em energia solar térmica tende a variar, acontecendo geralmente em um intervalo que vai de 18 a 36 meses. A vida útil de um aquecedor solar é estimada por volta de 240 meses (20 anos), fazendo com que o sistema seja bastante vantajoso e econômico.

Por utilizar pouca ou muitas vezes dispensar a utilização da energia elétrica para o aquecimento da água, o sistema é econômico, além de não gerar resíduos e não causar danos significativos ao meio ambiente. Além disso, com o uso do sistema, é possível reduzir a pegada de carbono dos consumidores, que estarão minimizando suas emissões ao optar por uma forma de obtenção de água quente a partir da redução do consumo de energia elétrica (ROSSETTO, 2014).

O RETScreen®, um programa computacional de análise para projetos de energia de baixo impacto ambiental, dá suporte à tomada de decisão no setor de energia renovável e eficiência energética. O programa permite estudos de pré-viabilidade para implantação de um sistema de aquecimento solar (RETSCREEN, 2017).

Para avaliar a viabilidade econômica, pode-se fazer uma análise de fluxo de caixa, utilizando os métodos de *Payback*, VPL (Valor Presente Líquido) e TIR (Taxa Interna de Retorno), conforme descrito a seguir (DAL MAGRO, 2016).

#### **2.4.1 Fluxo de Caixa e Valor Presente Líquido (VPL)**

O Fluxo de Caixa é a representação das receitas e despesas no decorrer do tempo, que pode ser expresso em dias, meses ou anos (BLASQUES, 2005).

O Valor Presente Líquido (VPL) é a técnica de análise de fluxos de caixa que consiste em calcular o valor presente de uma série de pagamentos (ou recebimentos) iguais ou diferentes a uma taxa mínima de atratividade. O VPL é calculado pela equação 15 que segue (DAL MAGRO, 2016).

$$VPL_j = \sum_0^n F_n (1 + i)^{-n} \quad (\text{Eq.15})$$

Onde:

- a)  $VPL_j$ : é o valor presente líquido de um fluxo de caixa da alternativa j;

- b)  $n$ : 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;
- c)  $F_n$ : é cada um dos diversos valores envolvidos no fluxo de caixa e que ocorrem em  $n$ ; e
- d)  $i$ : 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.

Geralmente o VPL é utilizado para estimar se certa compra ou investimento vale mais a longo prazo do que investir uma quantidade equivalente de dinheiro no banco. Segundo Dal Magro (2016), o VPL de um projeto de investimento possui as seguintes possibilidades:

- a)  $VPL > 0$  indica que o investimento é economicamente atrativo, pois o valor presente das entradas de caixa é maior que o valor presente das saídas;
- b)  $VPL = 0$  indica que o investimento é indiferente, pois o valor presente das entradas de caixa é igual ao valor presente das saídas; e
- c)  $VPL < 0$  indica que o investimento não é economicamente atrativo.

#### 2.4.2 Taxa Interna de Retorno (TIR)

O conceito de TIR é a taxa de desconto que faz seu VPL ser igual a zero. A TIR em um projeto significa a taxa de retorno esperada pelo investidor, portanto, a aceitação do projeto ocorrerá quando TIR for maior que a taxa mínima de atratividade (TMA) (DAL MAGRO, 2016), calculado pela equação 16 que segue.

$$0 = \sum_{n=0}^N \frac{FC_n}{(1+TIR)^n} \quad (\text{Eq.16})$$

Onde:

- a) TIR é a taxa interno de retorno; e
- b) FC é um fluxo de caixa qualquer, genérico.

#### 2.4.3 Payback

Payback é definido como o tempo necessário para que os benefícios resultantes do negócio retornem o investimento realizado. É um bom indicador de risco, visto que à medida que o *payback* se aproxima do final do horizonte de planejamento, mais arriscado é o investimento (DAL MAGRO, 2016). Pode ser calculado pela equação 17 que segue.

$$FCC_{(t)} = -1 + \sum_{j=1}^t \frac{R_j - C_j}{(1-i)^j}; 1 \leq t \leq n \quad (\text{Eq.17})$$

Onde:

- a)  $FCC(t)$  é o valor atual do capital, ou seja, o fluxo de caixa descontado (para o valor presente) cumulativo, até o instante  $t$ ;
- b)  $I$  é o investimento inicial (em módulo), ou seja,  $-I$  é o valor algébrico do investimento, localizado no instante 0 (início do primeiro período);
- c)  $R_j$  é a receita proveniente do ano  $j$ ;
- d)  $C_j$  é o custo proveniente do ano  $j$ ;
- e)  $i$  é a taxa de juros empregada;
- f)  $j$  é um índice genérico, que representa os períodos  $j = 1$  a  $t$ .

#### 2.4.4 Manutenção e controle da qualidade

A instalação de sistemas de aquecimento solar está normatizada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) através da NBR 15569 (ABNT, 2008). As empresas integrantes do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) participam de forma voluntária e assumem compromissos que possibilitam o oferecimento de produtos testados e aprovados pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) (CHEN, 2011).

De acordo com Mesquita (2011), a manutenção dos sistemas de aquecimento solar é simples, bastando manter as placas limpas para absorção máxima dos raios do sol, e verificação da parte hidráulica como em qualquer outro sistema. A vida útil de um aquecedor solar é aproximadamente 20 anos.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

O sistema de aquecimento solar foi dimensionado para uma instalação militar, considerando 200 banhos por dia, com consumo de 40 litros por banho, considerando um banho com consumo de 10 litros/min por 4 min. A quartel militar está localizada na cidade de Porto Alegre, no estado do Rio Grande do Sul. Para tanto, os dados de posicionamento geográfico, inclinação dos coletores, assim como temperatura média do ar foram obtidos para este local. Foram aplicadas as equações de dimensionamento constantes do item 2.3 e calculada a viabilidade de implantação utilizando as equações constantes do item 2.4 deste trabalho. Para aplicar os métodos, se utilizou o programa Excel para a elaboração de tabelas e gráficos.

#### 3.1 EDIFICAÇÃO PÚBLICA EM ESTUDO

A edificação em estudo refere-se a uma instituição pública militar. Uma das atividades para desempenho da função militar é a realização de atividade física diariamente. Para tanto, as instalações militares dispõem de alojamentos com chuveiros para banho após a atividade física. Na região sul do país existe a necessidade de banho quente devido as temperaturas mais amenas em boa parte do ano. Na edificação em estudo, localizada em Porto Alegre, no estado do Rio Grande do Sul (Figura 10).

Figura 10 -Local de Instalação



Fonte: RetScreen (2017)

Os dados climáticos referentes ao local de instalação do sistema de aquecimento solar foram extraídos do programa RetScreen®, conforme figura 11. Nos meses de maio a setembro, as temperaturas não ultrapassam 17°C, fazendo com que

sejam necessários banhos quentes, após prática da atividade física. A temperatura média anual em Porto Alegre é de 19°C e o índice de radiação solar média anual é de 4,44kWh/m<sup>2</sup>/dia. A edificação possui área com cobertura de 2.160m<sup>2</sup>.

Figura 11 - Dados Climáticos tela do RetScreen

	Unidade	Localização dos dados climáticos	Local das instalações	Fonte
Latitude		-30,0	-30,0	
Longitude		-51,2	-51,2	
Zona climática		3A - Quente - Úmido		Solo+NASA
Elevação	m	47	0	Solo - Solo
Temperatura para projeto de aquecimento	°C	5,1		Solo
Temperatura para projeto de refrigeração	°C	33,5		Solo
Amplitude da Temperatura do Solo	°C	13,4		NASA

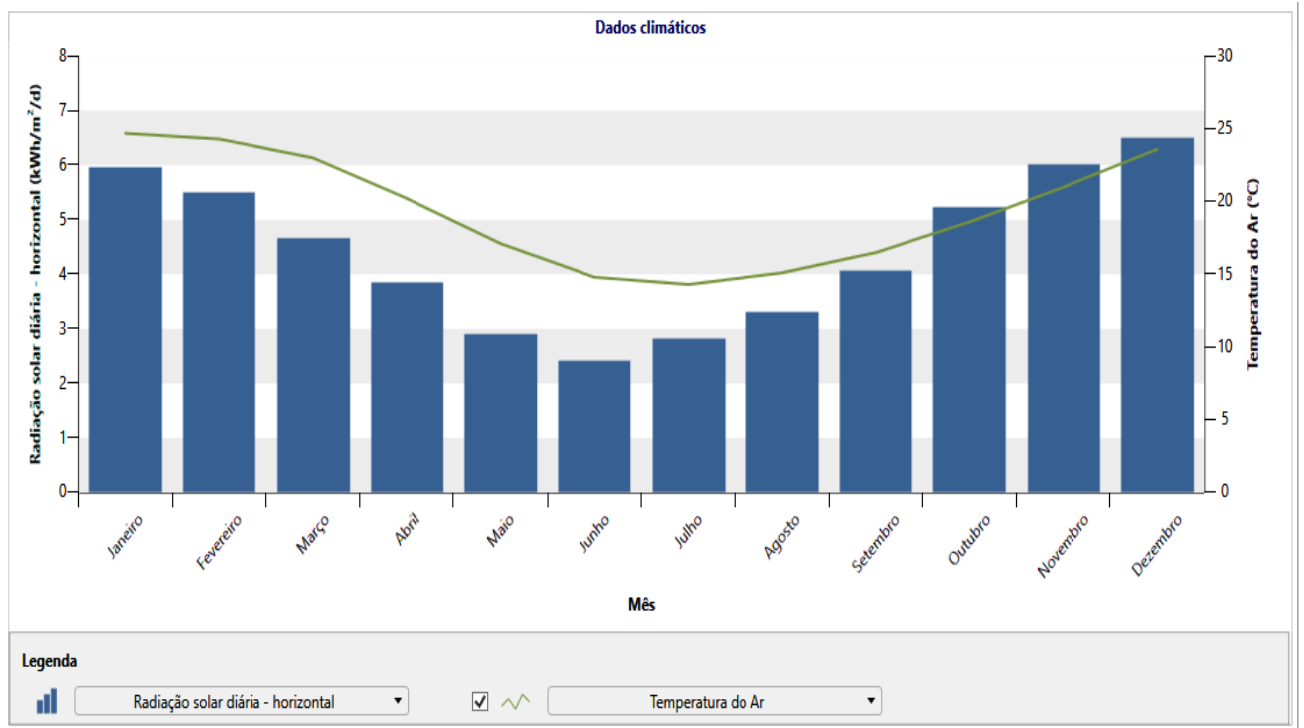
  

Mês	Temperatura do Ar		Precipitação mm	Radiação solar diária - horizontal kWh/m²/d	Pressão Atmosférica kPa	Velocidade do Vento m/s	Temperatura do Solo °C	Graus-dia	
	°C	Humidade relativa %						para aquecimento 18 °C °C-d	Refrigeração 10 °C °C-d
Janeiro	24,7	77,0%	129,93	5,97	101,1	1,3	25,1	0	456
Fevereiro	24,3	70,0%	141,17	5,50	101,2	1,1	24,5	0	400
Março	23,0	72,0%	107,79	4,67	101,3	1,0	23,3	0	403
Abril	20,2	76,0%	139,91	3,86	101,5	0,8	20,2	0	306
Mai	17,1	78,0%	150,19	2,92	101,6	0,9	16,3	28	220
Junho	14,8	79,0%	150,01	2,42	101,8	0,6	14,2	96	144
Julho	14,3	79,0%	166,74	2,83	101,9	0,8	13,8	115	133
Agosto	15,1	79,0%	136,61	3,33	101,8	1,1	16,1	90	158
Setembro	16,5	76,0%	167,50	4,08	101,8	1,3	17,8	45	195
Outubro	18,6	72,0%	204,27	5,25	101,5	1,5	20,2	0	267
Novembro	21,0	67,0%	137,57	6,03	101,3	1,4	22,3	0	330
Dezembro	23,6	66,0%	131,15	6,50	101,1	1,4	24,3	0	422
<b>Anual</b>	<b>19,4</b>	<b>74,3%</b>	<b>1.762,83</b>	<b>4,44</b>	<b>101,5</b>	<b>1,1</b>	<b>19,8</b>	<b>374</b>	<b>3.434</b>
Fonte	Solo	Solo	NASA	Solo	Solo	Solo	NASA	Solo	Solo
Medido a						10	0		

Fonte: RetScreen (2017)

De acordo com o gráfico da figura 12, gerado pelo programa RetScreen®, é possível observar a queda na radiação solar e temperatura nos meses de maio a julho, em Porto Alegre. A radiação no mesmo de junho chega a ser menos da metade da do mês de dezembro. Ou seja, nestes meses o sistema de aquecimento solar para esta localidade é menos eficiente, o que faz com que seja necessário o sistema auxiliar para aquecimento da água, além do solar. Neste estudo optou-se pela energia elétrica, por ser a alternativa já presente nas instalações.

Figura 12 - Radiação Solar versus Temperatura do ar em Porto Alegre



Fonte: RetScreen (2017)

### 3.2 DIMENSIONAMENTO

O Dimensionamento do sistema foi realizado conforme a metodologia *f-Chart*. Os dados de entrada para dimensionamento do SAS são apresentados na sequência.

Considerou-se as seguintes características:

- consumo de água por banho = 40 l (8 min de banho x 5 litros/min);
- quantidade de banhos diária = 200 banhos;
- temperatura de consumo no banho ( $T_{consumo}$ ) = 40°C;
- temperatura de armazenamento ( $T_{armaz}$ ) = 50°C;
- temperatura ambiente ( $T_{amb}$ ) = temperatura do ar da Figura 11 (variável);
- temperatura ambiente média anual = 19 °C

- g) temperatura de água fria ( $T_{af}$ ) = temperatura ambiente;
- h) radiação solar incidente ( $H_{dia}$ ) = radiação solar diária da Figura 11;
- i) área da superfície do coletor utilizado = 2 m<sup>2</sup>;
- j) área da superfície total coletora ( $S_c$ ) = 230 m<sup>2</sup> (115 coletores);
- k) fator de eficiência óptica do coletor adotado  $F' r (\pi\alpha) = 0,764$ ; e
- l) coeficiente global de perdas do coletor adotado ( $w/m^2 \times k$ ) ( $F' r U_l$ ) = 1,29.

Para escolha do coletor solar a ser utilizado para o dimensionamento do sistema, usou-se dados técnicos fornecidos pelo INMETRO, através da tabela de consumo e eficiência energética dos sistemas e equipamentos para aquecimento solar de água em aplicações de banho. Na edição de 11 de maio de 2018, haviam 417 modelos etiquetados e 61 marcas testadas. O coletor escolhido para o dimensionamento foi da marca Solar Minas SM A20 (Figura 13), qualificado com etiqueta A em termos de eficiência energética, sua superfície absorvedora é em alumínio (INMETRO, 2018). O mesmo apresenta bons coeficientes de absorção, eficiência energética média de 58% e tem disponibilidade no mercado. A área superficial de cada coletor é de 2 m<sup>2</sup>.

A determinação da área de coleta foi baseada na área disponível, que é de 2.160 m<sup>2</sup> e a fração solar que se pretende atingir, neste estudo, foi adotada a fração 114%, determinada pela definição da área de coleta de 230 m<sup>2</sup>.

As telhas da cobertura da edificação são de fibrocimento. Para instalação dos coletores, o ângulo para orientação dos coletores solares em relação ao norte geográfico é de 30°, devendo a inclinação do coletor, em relação ao plano horizontal ser de 40°.



Figura 13 - Imagem do Coletor SM A20



Fonte: SOLAR MINAS (2018)

Constam no Quadro 1 as especificações técnicas do coletor solar adotado.

Quadro 1 - Especificações Técnicas do coletor solar.

Fabricante	SOLAR MINAS	
Modelo	SM 20A	
Pressão de Funcionamento (kPa)	392	
Pressão de Funcionamento (mca)	40	
Área externa do coletor (m <sup>2</sup> )	2,00	
Produção média mensal de energia	Por coletor (kWh/mês)	162,8
	Por m <sup>2</sup> (KWh/Mês.m <sup>2</sup> )	81,4
Eficiência energética média (%)	58,8	
Classificação INMETRO (2018)	A	
Material Superfície Absorvedora	ALUMINIO	
Fator de eficiência óptica	0,764	
Coeficiente global de perdas	1,29	

Fonte: INMETRO (2018)

### 3.3 VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA

Para avaliar a viabilidade econômica, foi realizada uma análise de fluxo de caixa, utilizando os métodos de *Payback*, VPL (Valor Presente Líquido) e TIR (Taxa Interna de Retorno), conforme metodologia apresentada nos itens 2.4.1, 2.4.2 e 2.4.3.

Foram considerados como gastos os valores da implantação do sistema, tais como: preço de coletores, reservatório, custo de instalação e materiais

complementares. Para os custos com a instalação considerou foi 10% do valor total de gastos com materiais. Ainda foi considerado os gastos anuais com a manutenção do sistema e com o sistema auxiliar de energia.

As receitas consideraram a economia de energia elétrica com a instalação do sistema de aquecimento solar, considerando a substituição de um sistema de uso de chuveiros elétricos com potência de 5.500 W durante seis meses mais frios e 2.500 W durante os 6 meses mais quentes, e 200 banhos diários, durante o horário fora de ponta, que é realizado de 9h às 10 h. Foi considerado o custo médio da utilização da energia elétrica da rede pública em 2017, fornecida pela Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE), para serviço público, bandeira verde em Porto Alegre é de R\$ 0,60 por cada kWh consumido, fora do horário do horário de ponta (CEEE, 2017).

A fonte auxiliar proposta foi a energia elétrica, que é atualmente utilizada, na instalação em estudo. O uso de Gás Liquefeito de Petróleo, Gás natural necessitariam de readequação das instalações, que atualmente não dispõe de espaço adequado para os cilindros de gases, não existindo também na região de estudo, o gás encanado. O uso de caldeiras com o uso de lenha também não foi considerado, por questões de inexistência de instalação adequada para tal sistema, o que poderia implicar em riscos à segurança das instalações. Para os cálculos de gastos com a energia auxiliar, foi realizado um cálculo estimado, considerando o percentual da fração solar anual que falta para suprir a totalidade da demanda de energia (100%), multiplicado pelo consumo de energia elétrica atualmente utilizado.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 DIMENSIONAMENTO

O Dimensionamento do Sistema foi realizado conforme a metodologia *f-Chart*, dados dos coletores, e do local de instalação. Os cálculos foram realizados conforme as equações 1 a 14, descritas o item 2.3, considerando que não há sombreamento sobre os coletores solares.

#### 4.1.1 Reservatório de Água

O volume de consumo para a instalação em estudo resultou em 8000 litros, sendo o que o volume de armazenamento calculado através da equação 1 resultou em 5,42 m<sup>3</sup>, necessitando de um reservatório com no mínimo essa capacidade. Foi proposto o uso de 2 reservatórios, com capacidade de 3.000 litros cada, e resistência elétrica de 2 kW como fonte auxiliar de energia.

#### 4.1.2 Área de Coleta

A área disponível é de 2.160 m<sup>2</sup>, considerando a fração solar anual pretendida de pelo menos 100%, se fez necessária uma área de coleta de 230m<sup>2</sup>. O coletor solar SM 20A da Solar Minas possui 2 m<sup>2</sup> de área por coletor, sendo necessário utilizar 100 coletores para totalizar uma área absorvedora de 230m<sup>2</sup>, sendo possível dispor de todos os coletores solares e o reservatório térmico sobre a cobertura.

#### 4.1.3 Demanda Energética Mensal

Para o cálculo da demanda energética mensal (*DEmês*) foi utilizada a Equação 1, com os resultados apresentados na tabela 1, destaca-se que a maior demanda energética ocorre em junho, julho, meses com a menor radiação incidente. O mês com menor demanda é fevereiro com necessidade de 5.627 kWh/mês.

Tabela 1 - Demanda energética mensal para o banho

Mês	N dias no mês	T <sub>AF</sub> (°C)	DE mês kWh/mês
Jan	31	24,7	6.071,04
Fev	28	24,3	5.626,88
Mar	31	23,0	6.745,60
Abr	30	20,2	7.603,20
Mai	31	17,1	9.086,72
Jun	30	14,8	9.676,80
Jul	31	14,3	10.197,76
Ago	31	15,1	9.880,32
Set	30	16,5	9.024,00
Out	31	18,6	8.491,52
Nov	30	21,0	7.296,00
Dez	31	23,6	6.507,52

#### 4.1.4 Produção Energética do Sistema Solar

Uma série de cálculos foi necessária para obter a produção energética do sistema solar em estudo. A começar pelo cálculo da energia incidente no coletor (*Elmês*), através da equação 4, que resultou na tabela 2. Os meses com maior radiação incidente nos coletores para o local de estudo são dezembro, janeiro e novembro e os meses com menor radiação incidente são junho, julho e maio.

Tabela 2 - Energia incidente no coletor

Mês	N dias no mês	H dia (kWh/(m <sup>2</sup> x dia))	El mês kWh/(m <sup>2</sup> *mês)
Jan	31	5,97	185,07
Fev	28	5,50	154,00
Mar	31	4,67	144,77
Abr	30	3,86	115,80
Mai	31	2,92	90,52
Jun	30	2,42	72,60
Jul	31	2,83	87,73
Ago	31	3,33	103,23
Set	30	4,08	122,40
Out	31	5,25	162,75
Nov	30	6,03	180,90
Dez	31	6,50	201,50

Na sequência foi calculada, através da equação 6, a quantidade de energia solar mensal que é absorvida pelos coletores (*EAmês*), com seu resultado apresentado na tabela 3. A energia absorvida pelos coletores de uma área de 230 m<sup>2</sup> chega a

32.038,30 kWh em dezembro, mês com maior quantidade de energia absorvida e em junho é de 11.543,33 kWh, que é o mês que menos absorve energia.

Tabela 3 - Energia absorvida pelo coletor

Mês	Sc (m <sup>2</sup> )	El mês kWh/(m <sup>2</sup> *mês)	F'R(τα)	EA mês kWh/mês
Jan	230	185,07	0,69312	29.425,94
Fev	230	154	0,69312	24.485,85
Mar	230	144,77	0,69312	23.018,29
Abr	230	115,8	0,69312	18.412,08
Mai	230	90,52	0,69312	14.392,59
Jun	230	72,6	0,69312	11.543,33
Jul	230	87,73	0,69312	13.948,98
Ago	230	103,23	0,69312	16.413,47
Set	230	122,4	0,69312	19.461,48
Out	230	162,75	0,69312	25.877,09
Nov	230	180,9	0,69312	28.762,92
Dez	230	201,5	0,69312	32.038,30

Para se determinar a energia útil mensal, que é a energia que será aproveitada, descontadas as perdas, se faz necessário previamente determinar os parâmetros  $D_1$  e  $D_2$ , os quais foram calculados através das equações 4 e 5, respectivamente. Além disso, também se faz necessária a determinação da fração solar mensal  $f$ .

O parâmetro  $D_1$ , que é a relação entre a energia absorvida ( $E_{amês}$ ) e a demanda energética mensal ( $DE_{mês}$ ), foi calculado e resultou na Tabela 4.

Tabela 4 - Parâmetro adimensional  $D_1$

Mês	DE mês kWh/mês	El mês kWh/(m <sup>2</sup> *mês)	EA mês kWh/mês	$D_1$
Jan	6.071,04	185,07	29.425,94	4,85
Fev	5.626,88	154,00	24.485,85	4,35
Mar	6.745,60	144,77	23.018,29	3,41
Abr	7.603,20	115,80	18.412,08	2,42
Mai	9.086,72	90,52	14.392,59	1,58
Jun	9.676,80	72,60	11.543,33	1,19
Jul	10.197,76	87,73	13.948,98	1,37
Ago	9.880,32	103,23	16.413,47	1,66
Set	9.024,00	122,40	19.461,48	2,16
Out	8.491,52	162,75	25.877,09	3,05
Nov	7.296,00	180,90	28.762,92	3,94
Dez	6.507,52	201,50	32.038,30	4,92

Para o cálculo do parâmetro  $D_2$ , foi utilizada a equação 8, que está relacionada com energia mensal não aproveitada pelos coletores ( $EP_{mês}$ ). Para este último foi

empregada a equação 9, tendo sido adotado coeficiente global de perdas do coletor adotado foi de 1,29, e após aplicado na equação 10 para gerar o fator  $F' r_{Ul}$  resultou em 0,0012255. Ainda, para atender a equação 9, foi calculado o fator de correção para o armazenamento,  $K_1$ , calculado com a equação 11, resultando em 1,289, e, o fator de correção para o sistema de aquecimento solar,  $K_2$ , calculado na equação 12. Os resultados dos cálculos são apresentados na tabela 5. O mês com a maior quantidade de energia não aproveitada é janeiro e junho o mês com a menor quantidade.

Tabela 5 - Parâmetro adimensional  $D_2$ 

Mês	DE mês kWh/mês	T <sub>AMB</sub> (°C)	T <sub>AF</sub> (°C)	T Horas	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	EP mês kWh	D <sub>2</sub>
Jan	6.071,04	24,7	24,7	744	1,289	1,286	26.176,57	4,31
Fev	5.626,88	24,3	24,3	672	1,289	1,271	23.492,96	4,18
Mar	6.745,60	23,0	23,0	744	1,289	1,224	25.468,90	3,78
Abr	7.603,20	20,2	20,2	720	1,289	1,127	23.519,33	3,09
Mai	9.086,72	17,1	17,1	744	1,289	1,027	23.012,83	2,53
Jun	9.676,80	14,8	14,8	720	1,289	0,958	21.343,92	2,21
Jul	10.197,76	14,3	14,3	744	1,289	0,943	21.847,24	2,14
Ago	9.880,32	15,1	15,1	744	1,289	0,966	22.180,27	2,24
Set	9.024,00	16,5	16,5	720	1,289	1,009	22.028,77	2,44
Out	8.491,52	18,6	18,6	744	1,289	1,074	23.637,25	2,78
Nov	7.296,00	21,0	21,0	720	1,289	1,154	23.841,61	3,27
Dez	6.507,52	23,6	23,6	744	1,289	1,245	25.718,66	3,95

Com os valores de  $D_1$  e  $D_2$  calculados, foi obtido o valor da fração solar mensal  $f$  utilizando a equação 3, conforme o tabela 6. O sistema solar proposta consegue atender um fração acima de 100% nos meses janeiro, fevereiro, março, abril, setembro, outubro, novembro e dezembro, os meses restantes possui uma fração solar abaixo de 100%, sendo que junho é o mês que possui a menor fração solar que é de apenas 78%.

Tabela 6 - Fração solar mensal

Mês	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	<i>f</i>
Jan	4,85	4,31	1,433
Fev	4,35	4,18	1,370
Mar	3,41	3,78	1,293
Abr	2,42	3,09	1,177
Mai	1,58	2,53	0,948
Jun	1,19	2,21	0,781
Jul	1,37	2,14	0,873
Ago	1,66	2,24	0,995
Set	2,16	2,44	1,147
Out	3,05	2,78	1,302
Nov	3,94	3,27	1,373
Dez	4,92	3,95	1,464

Por fim, para calcular determinar a fração solar anual  $F$ , se fez necessário calcular a energia útil mensal coletada ( $EU_{mês}$ ), que é aquela que será aproveitada, calculada a partir da equação 13, resultou na tabela 7. Ao longo do ano de todo o ano, a demanda de energia total é de 96.207,36 kWh, e a energia útil produzida é de 109.935,66 kWh, sendo possível observar uma diferença de 13.728,3 kWh.

Tabela 7 - Energia útil mensal coletada

Mês	$DE_{mês}$ kWh/mês	<i>f</i>	$EU_{mês}$ kWh
Jan	6.071,04	1,433	8.700,58
Fev	5.626,88	1,370	7.709,08
Mar	6.745,60	1,293	8.722,17
Abr	7.603,20	1,177	8.945,81
Mai	9.086,72	0,948	8.610,19
Jun	9.676,80	0,781	7.555,01
Jul	10.197,76	0,873	8.904,18
Ago	9.880,32	0,995	9.830,93
Set	9.024,00	1,147	10.353,93
Out	8.491,52	1,302	11.056,05
Nov	7.296,00	1,373	10.017,60
Dez	6.507,52	1,464	9.530,13
Total	96.207,36		109.935,66

Com isso a fração solar anual  $F$  que a superfície dos coletores propicia é calculada com a equação 14, resultou em um valor de 1,14, ou seja, 114 % da demanda anual é atendida, porém mesmo com a fração solar anual de mais de 100%, não necessariamente todos os meses são 100% atendidos com a fração solar, como é o caso dos meses de maio, junho, julho e agosto. Isto se deve ao fato, de que soma

anual de energia solar absorvida supera os 100%, pois a maior parte dos meses produzem fração solar acima da necessária, no entanto, essa energia, que sobra nos meses como maior produção, não pode ser armazenada para utilização nos meses em que a fração solar não é totalmente atendida, que são os meses com menor radiação solar e maior demanda energética (maio a agosto), motivo pelo qual se faz necessária uma fonte de energia auxiliar, para apoio nestes quatro meses.

## 4.2 VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA

### 4.2.1 Consumo de Energia Elétrica

A instalação do sistema de aquecimento solar para chuveiros no quartel só é economicamente viável se gerar 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.

Para fins de comparação entre as fontes de energia, considerou-se que o quartel em estudo possui chuveiros elétricos com vazão de 5 l/min e potência regulada a 5500W, em tensão de 220V.

O custo médio da utilização da energia elétrica da rede pública em 2017, fornecida pela Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE), para serviço público, bandeira verde em Porto Alegre é de R\$ 0,60 por cada kWh consumido, fora do horário de ponta.

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 200 banhos diários, de 8 minutos cada, 25 dias por mês, equivalem 666 horas, ligados em 5500W nos 6 meses mais frios, é de 3.666 kWh, 95% equivalem a 3.483 kWh/mês, e, e ligados em 2.500 W nos 6 meses mais quentes, é de 1.665 kWh, 95% equivalem a 1.582 kWh. A média dos seis meses mais frios e seis meses mais quentes resultou num consumo de 2.532 kWh/mês. Multiplicando este consumo pelo valor do kWh, apresentado anteriormente, se tem um custo mensal de R\$ 1.519,00 ou R\$ 18.233,00 por ano.



#### 4.2.2 Consumo de Energia Elétrica com Energia Auxiliar

Como o sistema solar não fornece 100% da energia utilizada para aquecer a água, nos meses de maio a agosto, é fundamental analisar os custos mensais com a energia auxiliar. Optou-se por utilizar a energia elétrica como energia auxiliar, neste caso, uma resistência elétrica de 2 kW integrada em cada reservatório de 3.000 litros. Para estimar os gastos com energia elétrica, foi considerado como a quantidade de horas não atendidas como sendo a fração não atendida pela energia solar de cada mês multiplicada pelos dias de uso do sistema naquele mês. Foi considerada a fração não atendida de 5%, 22%, 13% e 1% para os meses de maio, junho, julho e agosto, respectivamente, multiplicadas por 25 dias, que multiplicados por 24 horas, resultou em 322 horas não atendidas, acrescentou-se mais 3 horas por dia não atendido, como sendo um tempo extra para aquecer a água do reservatório, totalizando 41 horas de uso das resistências de cada reservatório. O tempo de uso da resistência em um ano seria de 363 horas multiplicados pela potência de cada reservatório de 2 kW, resultou num consumo anual de 1.450 kWh, que multiplicado pela tarifa de R\$ 0,60, resulta num custo anual de R\$ 870,00 ou R\$ 72,5 por mês.

#### 4.2.3 Viabilidade de implantação

O estudo de viabilidade econômica é de fundamental importância, pois a utilização da energia solar como fonte de aquecimento da água para banho em quartéis é uma demanda constante, todos os militares da ativa, necessitam realizar a prática a atividade física 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, de 6,5% (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2018), de fundamental importância para definir o tempo de retorno do investimento.

O custo do sistema de aquecimento solar, suas tubulações e instalação, foi orçado em uma empresa do segmento no Rio Grande do Sul e em orçamento do ano de 2016, de implantação de sistema similar em outra instalação similar, também localizado em Porto Alegre - RS (Anexo A). Desta forma, o custo adotado neste trabalho foi um custo praticado pelo mercado.

O custo do SAS apresentado na tabela 8, foi baseado no orçamento fornecido por empresa local. Não foi solicitado orçamento para itens complementares tais como tubulação, isolamento e válvulas. Tendo por base orçamento de implantação de SAS similar constante do Anexo A, estimou-se estes custos em mais 10% do valor total orçado pela empresa.

Tabela 8 – Custo do SAS Dimensionado

Item	Qtd	Preço	Total
Reservatório 3000 l com resistência de 2kW	2	R\$ 12.500,00	R\$ 25.000,00
Coletor Solar Minas SM A20	115	R\$ 700,00	R\$ 80.500,00
Instalação	1	R\$ 25.000,00	R\$ 25.000,00
Custos com materiais complementares	-	R\$ 13.050,00	R\$ 13.050,00
<b>Custo Total</b>		-	<b>R\$ 143.550,00</b>

Foi considerado 5% do valor do investimento para a manutenção para os 20 anos, resultando em R\$ 7.177,50, equivalente a R\$ 359,00 anuais.

A primeira planilha gerada foi o cálculo de payback simples da tabela 9. 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. O investimento é o valor gasto para implementar o sistema, a entrada é composta pelas economias financeiras em energia e a saídas é composta pelos custos de possível manutenção. O payback simples considera o valor investido sobre o valor de economia com a implantação do sistema.

Tabela 9 – Payback Simples (PBS)

<b>Investimento(I)</b>	<b>Entradas</b>	<b>Saídas</b>	<b>Economia(A)</b>	<b>PBS(I/A)</b>
<b>-R\$ 143.550,00</b>	R\$ 17.363,00	<b>-R\$ 359,00</b>	R\$ 17.004,00	8,45

Foi calculado o *Payback* simples, que resultou em um tempo de retorno de 8,45 anos, ou seja, após o oitavo ano que se obtêm o retorno do investimento.

Na tabela 10, apresentam-se os resultados da aplicação dos 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 10 – Resultados da Análise de Viabilidade

Ano	Investimento	Manutenção	Energia sem SAS	Energia com SAS	Poupado	Valor Futuro
0	-R\$ 143.550,00				-R\$ 143.550,00	-R\$ 143.550,00
1	-R\$ 143.550,00	R\$ 359,00	R\$ 18.233,00	R\$ 870,00	R\$ 17.004,00	-R\$ 127.583,80
2		R\$ 359,00	R\$ 18.233,00	R\$ 870,00	R\$ 17.004,00	-R\$ 112.592,07
3		R\$ 359,00	R\$ 18.233,00	R\$ 870,00	R\$ 17.004,00	-R\$ 98.515,32
4		R\$ 359,00	R\$ 18.233,00	R\$ 870,00	R\$ 17.004,00	-R\$ 85.297,72
5		R\$ 359,00	R\$ 18.233,00	R\$ 870,00	R\$ 17.004,00	-R\$ 72.886,83
6		R\$ 359,00	R\$ 18.233,00	R\$ 870,00	R\$ 17.004,00	-R\$ 61.233,41
7		R\$ 359,00	R\$ 18.233,00	R\$ 870,00	R\$ 17.004,00	-R\$ 50.291,23
8		R\$ 359,00	R\$ 18.233,00	R\$ 870,00	R\$ 17.004,00	-R\$ 40.016,88
9		R\$ 359,00	R\$ 18.233,00	R\$ 870,00	R\$ 17.004,00	-R\$ 30.369,60
10		R\$ 359,00	R\$ 18.233,00	R\$ 870,00	R\$ 17.004,00	-R\$ 21.311,13
11		R\$ 359,00	R\$ 18.233,00	R\$ 870,00	R\$ 17.004,00	-R\$ 12.805,52
12		R\$ 359,00	R\$ 18.233,00	R\$ 870,00	R\$ 17.004,00	-R\$ 4.819,03
13		R\$ 359,00	R\$ 18.233,00	R\$ 870,00	R\$ 17.004,00	R\$ 2.680,01
14		R\$ 359,00	R\$ 18.233,00	R\$ 870,00	R\$ 17.004,00	R\$ 9.721,37
15		R\$ 359,00	R\$ 18.233,00	R\$ 870,00	R\$ 17.004,00	R\$ 16.332,98
16		R\$ 359,00	R\$ 18.233,00	R\$ 870,00	R\$ 17.004,00	R\$ 22.541,06
17		R\$ 359,00	R\$ 18.233,00	R\$ 870,00	R\$ 17.004,00	R\$ 28.370,25
18		R\$ 359,00	R\$ 18.233,00	R\$ 870,00	R\$ 17.004,00	R\$ 33.843,66
19		R\$ 359,00	R\$ 18.233,00	R\$ 870,00	R\$ 17.004,00	R\$ 38.983,01
20		R\$ 359,00	R\$ 18.233,00	R\$ 870,00	R\$ 17.004,00	R\$ 43.808,70
				<b>TMA</b>	6,5%	
				<b>VPL</b>	R\$ 41.134,93	
				<b>TIR</b>	10,1%	
				<b>PayBack descontado</b>	10,96	

O Valor Presente Líquido foi calculado para um investimento de R\$ 143.550,00, resultando em R\$ 41.134,93, conforme o item 2.4, para a taxa de juros ou de atratividade de 6,5%, portanto  $> 0$ , o que viabiliza o investimento.

Desta forma, através da equação 15, do item 2.4, se determinou que, para o 11º ano, o valor futuro em caixa será de R\$ 2.680,01. Isto significa que, se todas as entradas do fluxo de caixa forem descapitalizadas para a data inicial, a 6,5% ao ano,

elas cobrem o investimento de R\$ 143.550,00 e geram um adicional de R\$ 2.680,01, 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\$ 41.134,93.

Pelo método de *Payback* descontado se conclui que o retorno do investimento acontece no final do décimo ano. Portanto, se estima que a partir de 11 anos até o fim de sua vida útil, o SAS traz ganhos financeiro, 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, resultando em um TIR de 10,1%, maior que os 6,5% estipulados, o que viabiliza o projeto.

Apesar da viabilidade do projeto, o tempo de retorno do investimento está acima dos usuais projetos de aquecimento solar, que geralmente, tem o seu tempo de retorno previstos para terceiro ano, assim como previsto por Chen (2011). Ressalta-se ainda, que não foram levados em consideração os gastos com manutenção de um sistema com energia elétrica para o sistema comparado.

## 5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Conforme estabelecido inicialmente, este trabalho teve como objetivos apresentar a viabilidade econômica de implantação de um sistema solar térmico para banho em instalação pública, no caso, um quartel militar, apresentando o período de retorno do investimento e as diretrizes para isto. Verificou-se que é possível implementar o sistema em substituição a opção convencional, por sistema solar compostos de coletores planos fechados, conforme definição de dimensionamento.

### 5.1 CONCLUSÕES

Dos vários tipos de sistemas de aquecimento solar existente no mercado, optou-se pelo uso de coletores solares planos fechados, ideais para o aquecimento de banho, no entanto, devido a redução dos índices de radiação no período de inverno na região sul do país, se fez necessário o uso de um sistema de aquecimento solar, sendo utilizado a energia elétrica. O consumo com chuveiros elétricos para banho sem o sistema de aquecimento solar, resultou num consumo energético médio de 2.532 kWh/mês, o que representa 5% do consumo com energia elétrica para a instalação em questão, que, consome em média 50.000 kWh/mês.

O dimensionamento, para as instalações de quartel, com os materiais sugeridos no trabalho, corresponde a uma área absorvedora de 230 m<sup>2</sup>, portanto compatível a área de 2.160 m<sup>2</sup> existentes na cobertura do quartel. Em geral, os quartéis são edificações construídas no térreo, possuindo grandes áreas de cobertura, além disso, as edificações não recuadas das edificações urbanas, minimizando o sombreamento. Com a área absorvedora e com o coletor proposto, através do método *f-Chart* foi possível mensurar uma fração solar anual que atenda 114% da demanda de energia. Devido a localidade da instalação em questão, que é na região sul do país, possuindo menos radiação solar incidente que as demais regiões, a demanda de energia só é totalmente suprida pelo sistema de aquecimento solar nos meses de janeiro, fevereiro, março, abril, setembro, outubro, novembro e dezembro. Os meses de maio e agosto atendem quase a totalidade da demanda, já os meses de junho e julho, meses com maior demanda energia, nos quais o SAS consegue suprir 78% e 87% respectivamente, para estes meses, se fez necessário a implantação de um sistema auxiliar, para suprir a demanda energética, neste caso, adotado como a energia elétrica, através de reservatórios com resistência.

A análise da viabilidade econômica por meio dos métodos de *Payback*, VPL e TIR resultou na viabilidade de implantação do sistema, em que o investimento inicial é coberto pelas suas economias futuras em energia elétrica, em um período de tempo inferior ao seu tempo de vida útil. O tempo de retorno por *payback* simples resultou em 08,45 anos, e, por *payback* descontado, de 10,96 anos, tempo um pouco superior aos 3 anos geralmente proporcionados pelos sistemas de aquecimento solar. No entanto, ainda assim viável, pois representa pouco mais de 1/2 do tempo de vida útil do sistema de 20 anos, tendo em vista que um quartel militar é uma instituição permanente, e em que pelos próximos 20 anos ainda se fará necessário o banho quente para a prática diária da atividade física.

Outrossim, a demanda por energia elétrica cresce exponencialmente, e se não adotados os usos de energia proveniente de fontes renováveis, o seu custo será cada vez maior, o que viabiliza ainda mais o sistema.

Em geral, todos os anos, as instalações militares têm adotado a prática de encurtar o expediente de trabalho, nos meses de dezembro e janeiro, devido aos elevados custos de energia elétrica. Mesmo o gasto com energia elétrica para banho representando 5% de todo o consumo de energia elétrica da instalação, ao adotar um sistema de aquecimento solar para banho, os quartéis passam a ser menos dependentes das oscilações de mercado, economizando recursos públicos e contribuindo com a conservação do meio ambiente. Portanto, conclui-se que a adoção do sistema proposta para a instalação em estudo é viável economicamente.

Ainda, a instalação destes sistemas pode ser estimulada em outras instalações militares, da região sul e sudeste, e, eventualmente centro-oeste, que são as regiões com necessidade de banho quente no país.

## 5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Da mesma forma que foi adotado um dimensionamento para um sistema de aquecimento solar, pode-se propor o dimensionamento e análise da viabilidade de um sistema de energia solar fotovoltaica, tendo em vista que, em geral, os quartéis dispõem de área na cobertura para instalação das placas solares, e não só para banho, mas como fonte de energia elétrica, que anualmente, tendo sido motivo de redução do expediente de trabalho, para contenção de recursos, tornando-se menos dependentes das concessionárias de energia elétrica.

Além disso, podem ser realizados estudos de viabilidade de implantação de aquecimento solar para banho, com outras energias auxiliares, tais como o Gás natural e o Gás Liquefeito de Petróleo, tendo em vista, que em geral, são mais baratos que a energia elétrica, devendo considerar os custos para a adequação com segurança das instalações para receber estes sistemas, atualmente necessárias.

## REFERÊNCIAS

AITA, Fernando. **Estudo do desempenho de um sistema de aquecimento de água por energia solar e gás**. Dissertação para obtenção do Título de Mestre em Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul Programa De Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Porto Alegre. 2006.111 p.

ARAÚJO, Tamara Ingrid Marques de. **Análise da viabilidade técnico-econômica da implantação de geração solar fotovoltaica associada ao retrofit de iluminação no centro de tecnologia da UFRN**. - 2017. 59 p.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas, **NBR 15569**, Sistema de Aquecimento Solar de Água em Circuito Direto – Projeto e Instalação. Rio de Janeiro, 2008.

AVELAR, Aline Bento Ambrósio. **Viabilidade Econômica de Sistemas de Aquecimento Solar para Hospitais**. XV SEMEAD Seminários em Administração outubro de 2012. ISSN 2177-3866

BLASQUES, L. C. M.; **Estudo da Viabilidade Técnico-Econômica de Sistemas Híbridos para Geração de Eletricidade**, 2005, 215. Dissertação de Mestrado, PPGEE, UFPA, Belém, 2005.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Histórico das taxas de juros**. Brasília, DF, 2018. Disponível em: <<http://www.bcb.gov.br/?COPOMJUROS>>. Acesso em 23 novembro 2018.

CHEN, Bete. **Manual técnico para projeto e construção de sistemas de aquecimento solar & gás natural**. Sistemas de Aquecimento de Água para Edifícios através da associação Solar & Gás Natural. Março, 2011. 61 p.

CEEE. **Custos e tarifas**. Disponível em: <<http://www.ceee.com.br/pportal/ceee/Component/Controller.aspx?CC=1782>>. Acesso em: 15 novembro 2017.

DAL MAGRO, P. S. **Design and Economic Analysis of Solar Water Heating System for a Student Residence in Southern Brazil**. Monografia – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016. 22 p.

DASOL. **Qualidade em Instalações de Aquecimento Solar**. Boas práticas. São Paulo. 2009. 44 p.

FLOOR, K. **Weerkunde meteorologie voor iedereen**. Rijswijk: Uitgeverij Elmar, 2004.

ICERI, Daiane Mieko. **Análise da relação desempenho/custo de alguns coletores solares comerciais**. 2014. 93 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia, 2014. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/115973>>.



INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Sistemas e equipamentos para aquecimento solar de água – coletores solares**: edição 07/17. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/Coletor-Solar-Banho-PBE-2018.pdf>>. Acesso em: 15 novembro 2018.

LAFAY, J. M. S.; “**Análise Energética de Sistemas de Aquecimento de Água com Energia Solar e Gás**”, 2005, 173. Tese de Doutorado, PROMEC, UFRGS, Porto Alegre, 2005.

MESQUITA, Marcelo. **Sistemas de aquecimento solar de água**. Théchne. Edição 177 - Dezembro/2011. Disponível em: < <http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/177/sistemas-de-aquecimento-solar-de-agua-286882-1.aspx>> Acesso em: 15 NOV 2017.

MUND, Lucas Francisco. **Análise da viabilidade técnica e econômica de coletores solares para aquecimento de água em residências**. Trabalho Final de Curso de Engenharia Mecânica. Faculdade Horizontina. Horizontina. 2014. 54 p.

PANSANATO, C. **Análise Experimental do Desempenho Térmico e um Sistema Acoplado de Coletores Solares Planos**. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia de Bauru, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista, Bauru. 2016. 76 p.

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. 64 p.

RETSCREEN. **Clean Energy Project Analysis Software**. Canada: RETScreen International, 2017. Disponível em: <<http://www.nrcan.gc.ca/energy/software-tools/7465>> . Acesso em: 26 NOV 2017.

ROSSETTO, Rafael R. **Dimensionamento De Sistema De Aquecimento Solar Para Banho Em Contêiner De Instalações Provisórias De Obra**. Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, junho de 2014. 69 p.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno. **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica** / Mauricio Tiomno Tolmasquim (coord.). – EPE: Rio de Janeiro, 2016. 452 p.

SAUER, I. L.; AMADO, N.; MERCEDES, S. S. **Energia, Recursos Minerais e Desenvolvimento**. Caderno de Teses. Anais... In: 9o CONSENGE: ENERGIA E MEIO AMBIENTE. 2011

SME-RS – Secretaria de Minas e Energia do Estado do Rio Grande do Sul. **Fontes Renováveis**. Disponível em: <https://minasenergia.rs.gov.br/fontes-renovaveis>. Acesso em 20 nov. 2017.

SINIGAGLIA, Tiago. **Dimensionamento de um aquecedor solar de baixo custo: reservatório térmico alternativo.** Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica. Faculdade Horizontina. Horizontina. 2014.

SOLAR MINAS. **Especificações dos coletores solares para aquecimento – banho.** Disponível em: <http://www.solarminas.com.br/coletor-solar-para-banho/>. Acesso em 20 nov. 2018.

ANEXO A - ORÇAMENTO DE 2016 PARA UM SAS EM QUARTEL DE PORTO ALEGRE-RS

Planilha Descritiva de Materiais e Serviços									
Item	Descrição	Un.	Qtde	Unit (R\$)			Total (R\$)		
				Mat.	M.O.		Mat.	M.O.	Total (C/BDI)
1	Reservatório de 2000 litros. Interior em aço Inox 304, com poliuretano como isolante térmico mínimo de 5 cm. Acabamento em chapa metálica, diâmetro de 1.0m com NR 13 e proteção para água agressiva aplicada no interior do reservatório, 10 MCA. Tampa de Tampa de inspeção no reservatório. Poço para sensor. 03 Resistências elétricas 15 kw em Inox. 300V	Un.	2	R\$ 14.410,96	R\$ 823,48		R\$ 28.821,97	R\$ 1.646,97	R\$ 30.468,94
2	Quadro de comando elétrico digital para comandos e apoio do reservatório.	Un.	1	R\$ 3.705,68	R\$ 823,48		R\$ 3.705,68	R\$ 823,48	R\$ 4.529,17
3	Coletor solar com dimensões de (2000 x 1000mm) com certificação Inmetro "A" mínimo de rendimento 4.760kw/mês/sistema com vidro temperado, sistema de anti - embacamento, proteção contra congelamento das placas sem necessidade de energia elétrica ou desperdício de água.	Un.	28	R\$ 1.922,84	R\$ 294,10		R\$ 53.839,43	R\$ 8.234,85	R\$ 62.074,28
4	02 Vigas metálicas de 8,50m em viga "I" 200 X 22,3kg/m, mais 4 vigas de união na mesma bitola de 1,50m. Pintada, postas e instaladas na obra.	Un.	1	R\$ 2.470,45	R\$ 411,74		R\$ 2.470,45	R\$ 411,74	R\$ 2.882,20
5	42 Triângulos para sustentação de placas, com quadros em cantoneira 3/16x1 1/4", parafusos, elementos de fixação e mão de obra de instalação (matéria galvanizado a fogo)	Un.	42	R\$ 851,33	R\$ 98,03		R\$ 35.755,71	R\$ 4.117,42	R\$ 39.873,13
6	Rede hidráulica em tubulação PPR dimensionado para atender os 44 pontos simultaneos com vazão de 8L misturados a temperatura de 60°C/minuto com isolante térmico e anel de recirculação comandados por timer e termostato, duchas e registros.	Un.	1	R\$ 54.185,30	R\$ 13.599,24		R\$ 54.185,30	R\$ 13.599,24	R\$ 67.784,54
7	Rede hidráulica em material PPR ou material comparativo com o sistema proposto de água quente entre reservatório e coletores solares com isolante .	Un.	1	R\$ 9.223,03	R\$ 1.646,97		R\$ 9.223,03	R\$ 1.646,97	R\$ 10.870,00

8	Serviços de guincho	Un.	1	R\$ 6.734,45	R\$ 823,48	R\$ 6.734,45	R\$ 823,48	R\$ 7.557,93
9	Serviços elétricos	Un.	1	R\$ 1.500,00	R\$ 400,00	R\$ 1.500,00	R\$ 400,00	R\$ 1.900,00
10	Engenheiro de Obras 40hrs/mês	Mês	2	R\$ 0,00	R\$ 2.373,20	R\$ 0,00	R\$ 4.746,40	R\$ 4.746,40
11	Válvula mescladora termostática. Vazão para atender a necessidade do sistema, regulador 30/65°C. Temperatura máxima de até 90°C.	Un.	1	R\$ 3.170,42	R\$ 938,77	R\$ 3.170,42	R\$ 938,77	R\$ 4.109,19
12	Projetos Hidráulico	Un.	1	R\$ 0,00	R\$ 5.270,30	R\$ 0,00	R\$ 5.270,30	R\$ 5.270,30
13	Projeto Solar	Un.	1	R\$ 0,00	R\$ 2.058,71	R\$ 0,00	R\$ 2.058,71	R\$ 2.058,71
14	Sistema de segurança contra super aquecimento, (02) Fancoil de 9000 kcal, (01) Bomba 220w/BR, (01) Rede PPR	Un.	2	R\$ 10.590,01	R\$ 1.235,23	R\$ 21.180,03	R\$ 2.470,45	R\$ 23.650,48
								<b>R\$ 267.775,27</b>